

고강도 Al합금의 CO₂ 레이저 용접시, 용입특성과 용접결함에 미치는 용접조건의 영향

Effect of Welding Conditions on the melting characteristics and defects
of 7N01 alloy by CO₂

부산대학교 금속공학과 김장량, 윤재정, 하용수, 강정윤

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, Al이 레이저에 대해서 반사율이 높고 열확산율이 크기 때문에 충분한 용입깊이를 얻기가 힘들뿐만 아니라, 기공 및 균열과 같은 결함이 발생하기 쉽다는 것으로 보고되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 A7N01합금에 CO₂ 레이저빔 용접을 행하여, 빔의 조사조건에 따라 용접부에 발생하는 기공 및 균열 등의 용접부에 발생하는 결함들을 조사하여 보았다.

II. 실험방법

본 연구에서는 경량화 재료로서 A7N01 열처리합금을 사용하였다. 이 용접에 사용한 시험편은 120(L)×100(W)×4(T)mm 크기로 절단하여, 에머리 페이퍼 400번까지 연마하고 아세톤 세척을 한 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-plate용접을 실시하였다. 각 빔 조사 조건(출력,속도)에 따른 용접부의 형상은 실제현미경으로 관찰하고 용입깊이는 micro-polishing한 후 Keller's etchant(distilled water 50ml + HF 10ml + HNO₃ 25ml + HCL 15ml)를 사용하여 부식시켜 O.M, SEM, EDX등으로 관찰하였다. 용접결함을 파악하기 위해 용접시편을 액체질소에 담근 후, 강제적으로 파단하여 그 파면을 SEM을 이용하여 용접부 결함을 관찰하였다.

III. 실험결과 및 고찰

1. 용입특성

A7N01합금의 CO₂ 레이저빔 용접시 초점위치와 실드가스 유량을 변화시켜 초기용접조건을 설정한 다음 용입깊이에 영향을 미치는 인자중에서 가장 영향이 큰 것은 용접출력과 속도라 생각되어 용접출력을 4~7kW범위에서, 용접속도를 1~4m/min로 변화시켜 용접한 후, 비드형상 및 용입깊이의 상관관계를 검토하여 보았다.

Fig 1은 용접속도를 4m/min로 고정하고 출력을 변화시켜 용접한 경우의 비드형상으로서 출력이 증가할수록 용입깊이가 깊어짐을 알 수 있다. Fig 2는 용접출력을 4kW로 고정하고 속도를 변화시켜 용접한 경우의 비드형상으로 속도가 빨라짐으로써 용입깊이와 비드폭이 좁아짐을 알 수 있다. 그리고 Fig. 3에서 보면 용접속도가 1m/min일 때, 출력이 4, 5, 6, 7kW, 그리고 용접속도가 2m/min일 때, 출력이 7kW인 경우에는 관통용입이 관찰되었으며 그 이외의 조건에서는 비관통용입이 관찰되었다.

비드외형의 관찰결과 속도 1m/min일 때 출력이 2, 3kW, 속도가 2m/min일 때 출력이 7kW일 경우에는 양호한 비드 외형이 관찰되었다.

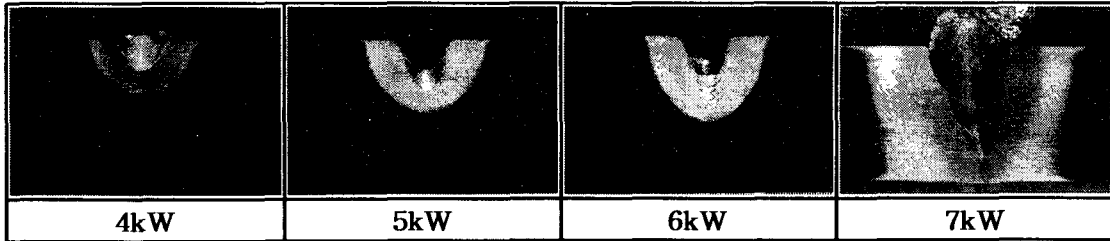


Fig. 1 bead shape of A7N01 alloy with various laser power (welding speed: 4m/min)

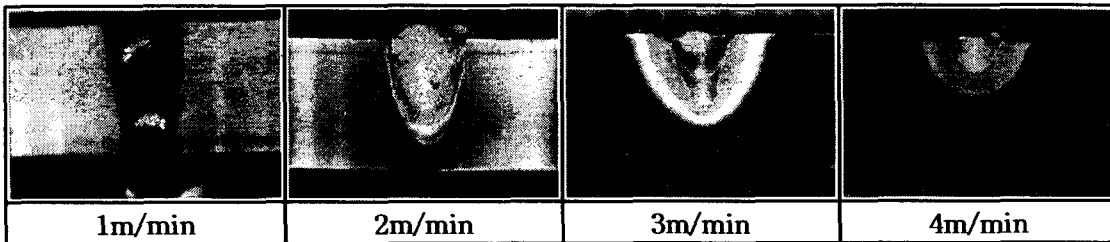


Fig. 2 bead shape of A7N01 alloy with various welding speed (laser power: 4kW)

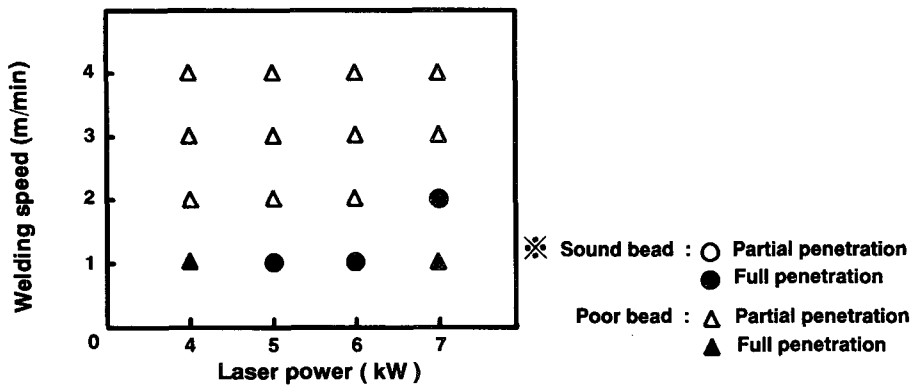


Fig. 3 Classification of bead shapes

2. 기공의 발생현상

기공은 그 크기와 발생위치에 따라서 다양하게 발생하는데 여기서는 직경(mm)별로 $d \leq 0.4$, $0.4 < d < 0.8$, $0.8 \leq d$ 으로 그 크기를 나누어 보았다. 아래의 Fig 4에서 보면 (a)의 경우에는 출력의 변화에 따른 기공발생은 주로 작은 기공에 의해서 좌우되고 있다. (b), (c), (d)의 경우에는 출력의 증가에 따라서 기공의 발생은 6kW까지 증가하다가 감소하는 추세를 보이고 있으며 주로 직경가 $0.4 < d < 0.8$, $0.8 \leq d$ 정도인 기공들에 의해서 좌우됨을 알 수 있다.

기공의 발생을 관통 용입과 비관통 용입으로 나누어서 그 발생분포를 조사하여 정리한 결과를 Fig.5에 나타낸다. (a)의 관통 용입의 경우에는 큰 기공이나 중간크기 정도의 기공은 적게 발생하고, 주로 작은 크기의 기공들이 상, 중, 하부에 널리 분산 분포되어 있는 것을 알 수 있으며, (b)의 비관통 용입의 경우에는 세 종류의 기공들이 상, 중, 하부에 널리 분산 분포되어있음을 알 수 있다.

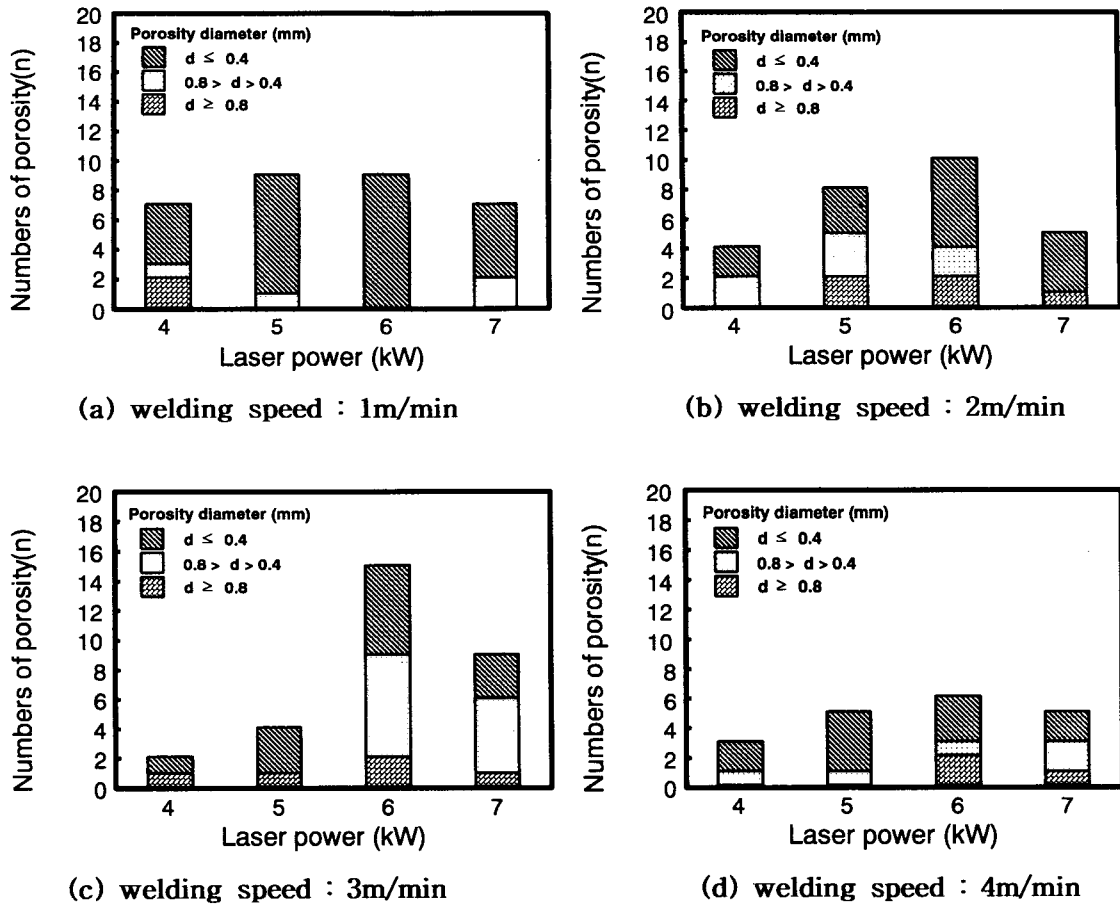


Fig. 4 Susceptibility of porosity according to welding speed
 ((a):1m/min, (b): 2m/min, (c): 3/min, (d): 4m/min)

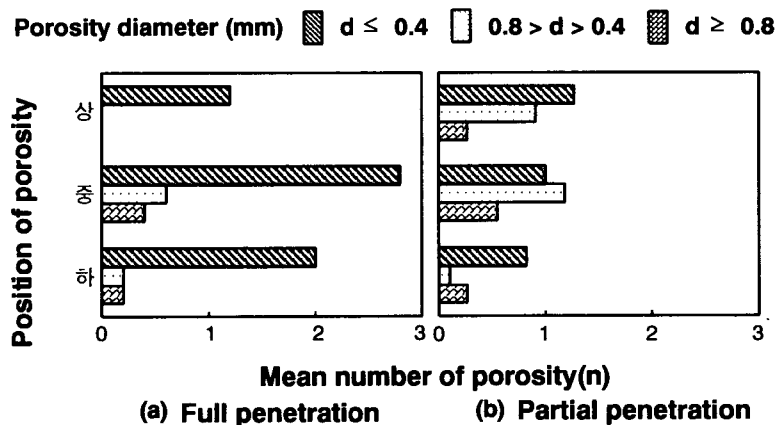


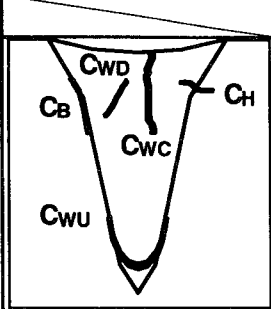
Fig.5 Classification of porosity according to occurred region

3. 용접균열의 발생현상

일반적인 Al합금의 레이저 용접시에는 다양한 균열들이 발생한다. 먼저 균열을 그 발생위치에 따라 분류해보면 Table 1과 같다. 발생된 균열은 center line을 따라 난 균열(Cwc), 수지상정간 균열(Cwd), HAZ에서 weld metal로 발생한 균열, 본드라인을 따라난 균열, 용접부 하부에 U자 형태의 ripple line을 따라 나타난 균열들이 관찰되었다. 균열감수성을 나타낸 아래의 Fig.6을 보면 용접속도가 1m/min일 때 레이저 출력이 4, 5, 6, 7 kW, 용접속도가 2m/min일 때 레이저 출력이 6, 7kW

그리고 용접속도가 3m/min일 때 레이저 출력이 7kW인 경우에는 crack이 관찰되지 않았으며 그 이외의 조건에서만 crack이 관찰되었다. 균열도 기공과 마찬가지로 관통용입과 비관통용입으로 나누어서 비교하여 보면 Fig.6에서도 알 수 있듯이 관통의 경우에는 크랙이 관찰되지 않았고, 비관통의 경우에만 주로 관찰되었다.

Table 1 Classification of crack

	Type	Position	Shape
	C _{WC}	WM	Vertical
	C _{WD}	WM	Diagonal
	C _H	WM / HAZ	Horizontal
	C _{WU}	WM	U-shape curve
	C _B	Fusion line	Line

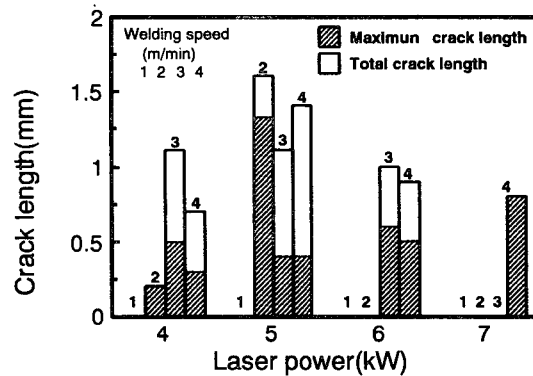


Fig. 6 Susceptibility of crack according to welding speed and laser power

IV. 결론

- 용입특성은 같은 용접속도일 경우, 레이저 출력이 증가할 수 록 용입깊이는 깊어짐을 알 수 있었으며 같은 출력일 경우에 용접속도가 빨라지면 용입깊이는 얇아짐을 알 수 있었다.
- 기공은 diameter(mm)에 따라 $d \leq 0.4$, $0.4 < d < 0.8$, $0.8 \leq d$ 으로 나누었으며. 기공발생은 출력증가에 따라 6kW까지 증가하다가 감소하는 경향성을 보이고 있다. 그리고 관통 용입의 경우에는 $d \leq 0.4$ 의 기공들이 주로 많이 관찰되며 그 외의 기공들은 부분적으로 관찰되었다. 그러나 비관통 용입의 경우에는 세 가지 크기의 기공들이 용접부 전반에 걸쳐서 두루 관찰되어지며 중앙부에서 큰 기공들이 많이 관찰되었다.
- 균열은 용접속도가 1m/min일 때 레이저 출력이 4, 5, 6, 7 kW, 용접속도가 2m/min일 때 레이저 출력이 6, 7kW 그리고 용접속도가 3m/min일 때 레이저 출력이 7kW인 경우에는 crack이 관찰되지 않았으며 그 이외의 조건에서만 crack이 관찰되었다. 관통의 경우에는 크랙이 관찰되지 않았고, 비관통의 경우에만 주로 관찰되었다.

V. 참고문헌

- 容接學會全國大會講演概要 第 56 集 ('95-4)
- 容接學會全國大會講演概要 第 61 集 ('97-6)
- 容接學會全國大會講演概要 第 62 集 ('98-4)
- 容接學會全國大會講演概要 第 64 集 ('99-4)
- 한국레이저 가공학회지 제1권 제 1호