

## Nd:YAG 레이저를 이용한 6K21-T4 알루미늄 합금의 겹치기 용접 특성

### Overlap Welding Characteristics of 6K21-T4 aluminum alloy by Nd:YAG Laser

양현석\*, 김 용\*, 박기영\*, 이경돈\*, 최원호\*\*

\* 고등기술연구원 로봇/생산기술센터

\*\* (주) 신영금속 기술연구소

## 1. 서 론

최근 자동차 급증에 따른 환경문제가 대두되면서 차량 경량화를 통한 배출가스 감소를 위해 알루미늄 적용 기술개발이 이루어지고 있다. 특히 알루미늄 레이저 겹치기 용접에 대해서는 맞대기 용접과 달리 국내에서의 기초연구가 부족한 실정이다. 본 연구에서는 차체 적용 알루미늄 합금에 대해 Nd:YAG 레이저 겹치기 용접을 적용하여 그 특성을 알아보고자 하였다. 6K21 알루미늄 모재에 AA4043, AA5183 용접 와이어를 공급하여 레이저 겹치기 용접을 시행하였고, 용접부 조직 관찰 및 경도, 인장-전단강도 테스트를 진행하여 이를 각각 비교하였다.

## 2. 실험방법

### 2.1 시편 준비

150 × 60mm 크기의 각각 1.0mm(상판), 1.4mm(하판) 두께를 갖는 두 종류의 6K21-T4 합금에 대해 상판 아래로 40mm를 겹친 후 20mm 겹침 중앙부위에 대해 용접을 실시하였다. 판재 사이의 간격은 0.1mm 이하로 유지하였다.

용접 와이어는 AA4043, AA5183 을 사용하였고 표 1에 6K21-T4 알루미늄 합금 및 각각 용접 와이어의 화학적 조성을 나타내었다.

표 1. 6K21-T4 알루미늄 합금 및 용접 와이어의 화학적 조성(wt.%)

	Al	Mg	Si	Fe	Zn	Mn	Ti
Base metal							
6K21-T4	Bal.	0.60	1.05	0.11	0.01	0.01	0.02
Filler wire							
AA4043	Bal.	0.05	5.0	0.8	0.1	0.05	0.2
AA5183	Bal.	4.5	0.5	0.4	0.25	0.75	0.15

### 2.2 레이저 용접

최대출력 3KW를 갖는 Trumpf HASS HL3006D Nd:YAG 모델을 사용하여 초점거리 200mm 렌즈를 가진 레이저 헤드부분을 Yaskawa 6축 로봇에 장착하여 용접을 진행하였다. 또한 용접 와이어공급과 함께 보호가스는 Ar 을 사용하였다. 본 연구에 사용된 레이저 용접조건을 표 2에 나타내었다.

표 2. 용접조건

Beam condition	CW Laser-Full penetration
Beam power	3KW
Welding speed(m/min)	2.2~2.8
Filler wire feeding rate(m/min)	3.0
Ar flow rate(l/min)	10
Defocusing(mm)	0~-1
Gap(mm)	< 0.1

## 3. 결 과

### 3.1 미세조직

#### 3.1.1 제살 용접(Autogenous welding)

그림 1은 제살 용접 후 단면 형상 및 미세조직을 나타내었다. 용접 단면의 밝은 부분은 주로 모재의 Al 성분이 많이 존재하는 지역이며 어두운 부분은 Mg, Si 등이 많이 분포한다. 일반적으로 알루미늄 6xxx 계열 용접부에서는 등축정(equiaxed grain)이 존재하게 되는데, 용융 후 냉각 과정 중 발생하는  $Mg_2Si$  가 주 성분이다(그림 1(d)). 이러한 등축정은 그 크기와 양, 분포 정도에 따라서 용접부의 응고균열감수성, 크랙 저항성이 달라지며, 그림에서 보이는 응고균열과 HAZ 액화 균열, 기공의 존재는 알루미늄 용접부 결합으로 남게 되어 기계적 강도를 떨어뜨리는 주요인으로 작용하게 된다.

### 3.1.2 AA4043(Al-5Si) 용접

제살 용접부와는 달리 불룩한 상부 비드가 형성되며, 상·하판 경계지역에는 마찬가지로 크랙 또는 기공이 존재한다. 또한 Si 함유량이 많은 어두운 지역이 더욱 많고 상·하부에 골고루 분포하고 있음을 관찰할 수 있었다.

알루미늄 모재의 강도를 유지하기 위해 첨가되는 Si 가 용접 중 기화 등의 이유로 그 양이 줄어들게 되면 강도저하는 당연한 결과이다. 따라서 용접 중 Si이 다량 함유되어 있는 4043 용접이어를 같이 공급하면 Hot tearing 발생을 방지할 수 있으며, interdendrite arm space를 감소시켜 dendrite bridge 를 생성함으로써 전체적으로 결정립 미세화를 일으킨다. 또한 Si의 첨가로 인해서 응고 시 변태온도를 변화시켜 응고 방향이 바뀌게 한다. 따라서 용접부 중앙에서 발생될 수 있는 응고균열을 방지할 수 있고 결국 기계적 강도를 상승시키게 된다. 하지만 Al- $Mg_2Si$ 의 응고 균열감수성을 고려하여 적정량의 Si 첨가가 필요하다.

### 3.1.3 AA5183(Al-4.5Mg0.75Mn) 용접

AA5183 용접 와이어는 용접성이 뛰어나며 기계적 성질과 내식성이 양호하다. 특히 Mn, Ti가 첨가되어서 결정립을 미세화 한다. 그림 3에서와 같이 AA4043 와이어를 사용한 것보다 결정립의 크기가 더 작고, 보호가스로 Ar을 사용하였을 때 더 작아진다. 이는 앞서 설명한 것과 마찬가지로 결정립 미세화는 기계적 강도를 상승시

키는데 그 이유는 결정립이 미세화 될 수록 입계의 면적이 작아져 크랙의 전파 등이 쉽지 않고 높은 표면에너지로 인해 쉽게 끊어지지 않기 때문이다.

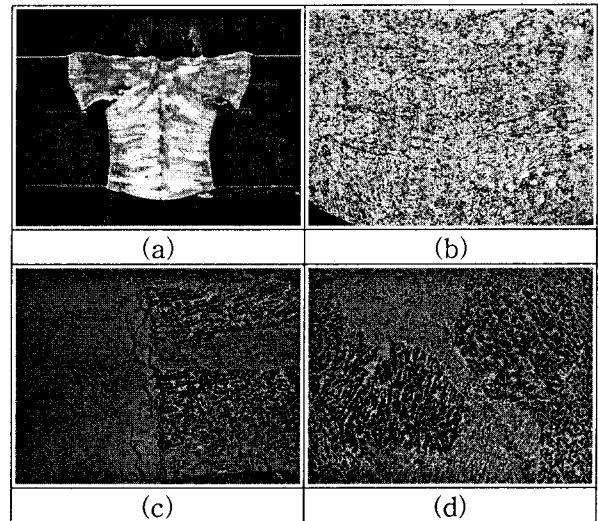


그림 1. Autogeneous 용접 단면:(a) 매크로 단면, (b) 응고균열, (c) HAZ 액화균열, (d)  $Mg_2Si$  공정 상

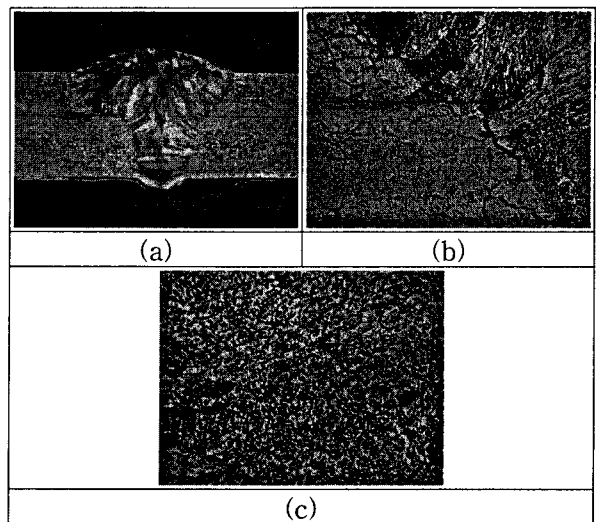


그림 2. AA4043 용접 단면:(a)매크로 단면, (b) HAZ 액화균열, (c)중앙 미세조직

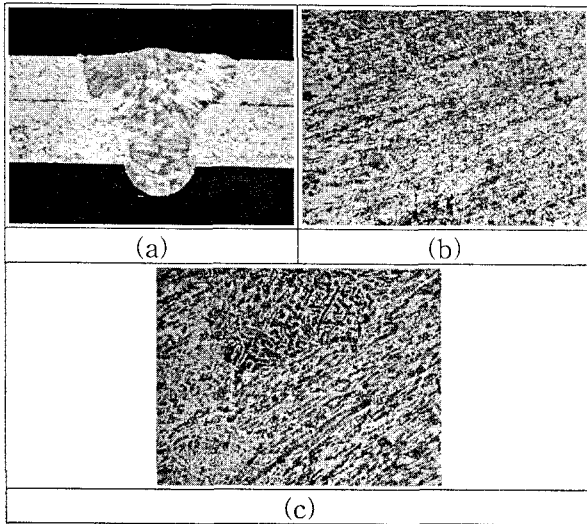


그림 3. AA5183 용접 단면: (a) 매크로 단면, (b) 용접부 미세조직, (c) 보호가스를 사용하지 않은 용접부 미세조직

3.2 기계적 특성평가

3.2.1 비커스 마이크로 경도

각각의 용접부에 대해 경도 측정 결과는 그림 4와 같으며 전체적으로는 제살 용접이 용접 와이어를 공급한 용접 보다 더욱 우수하며, 모든 용접 조건에서 모재 대비 90% 이상의 경도값을 보인다. 또한 용접 와이어의 용착량에 따른 경도 분포는 오차 범위 내에서 모두 비슷하게 나타났다.

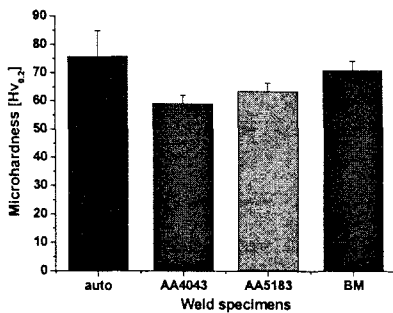


그림 4. 용접부 경도 분포

3.3.2 인장-전단강도

인장-전단 강도 테스트는 각 용접 조건 당 3 set 씩 진행되었으며, 결과 값은 단위길이 당 하중(N/mm)으로 계산하여 정량적으로 비교되었다. 그림 5에서 AA5183 용접 와이어를 사용한 용접

부의 강도는 AA4043 용접부보다 더 높게 나타났다. 앞서 이야기했다시피, AA5183의 용접 와이어는 Mg, Mn 성분의 영향으로 연신율, 전단강도가 뛰어나기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 인장-전단 특성으로 인해 본 연구에서 사용된 알루미늄 합금의 겹치기 용접부에서는 AA5183 용접와이어를 사용해야 하는 것으로 판단할 수 있다. 특히 Ar을 보호가스로 공급하였을 때, 전체적으로 인장-전단강도 값이 10~35% 정도 더 상승하였다. 이는 보호가스 공급으로 인한 grain 미세화에 따른 강도 상승으로 판단할 수 있다.

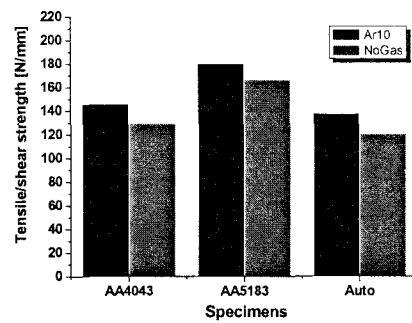


그림 5. 용접부 인장-전단강도 특성

4. 결 론

1) Al 미세조직 관찰결과, 용접공정에 관계없이 등축정, 응고균열, HAZ 경계부 액화균열이 관찰되었으며 이는 기계적 특성에 영향을 미친다.

3) 레이저 용접 시, AA 5183 용접 와이어를 사용했을 때, AA 4043 을 사용한 것 보다 기계적 특성이 더 향상되었다.

4) 보호가스를 사용했을 때 용접부의 인장-전단강도가 더 상승한다. 이는 보호가스로 인한 grain의 미세화에 의한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Sindo Kou, Welding Metallurgy, 1987
2. Frank Armao, Aluminum welding article, [www.thefabricator.com](http://www.thefabricator.com)
3. Reinhold Braun, Nd:YAG laser butt welding of AA6013 using silicon and magnesium containing filler powders, Material Science & Engineering A