

6061 알루미늄 합금 레이저 용접부 성질에 미치는 보호가스의 영향

Effect of shielding gas on the laser weld properties of 6061 aluminum alloy

동의대학교 재료금속공학과 윤종원, 이윤상
고등기술연구원 로봇/생산기술센터 이경돈, 박기영

I. 서 론

고강도 알루미늄 합금 중 열처리형 합금인 6061(Al-Mg-Si) 알루미늄 합금의 경우, 레이저 용접시 용접부에 고온균열이 발생하며, 용접부의 기계적 성질 저하에 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다.¹⁾ T6 처리된 6061 알루미늄 합금의 경우 용접금속의 경도는 모재에 비해 낮으므로 용접비드의 형상에도 많은 영향을 받는다. 본 실험에서는 He 또는 Ar 보호가스를 사용하여 레이저 용접하였고, 각각의 보호가스가 용접부 결합의 요소인 기공의 수와 크기 및 균열발생거동에 어떠한 영향을 끼치며 이러한 결과가 인장 성질 및 액압성형성과 어떤 연관성이 있는지 살펴보았다.

II. 실험방법

1. 실험재료 및 시편준비

실험에 사용된 6061 알루미늄 합금의 조성은 표 1과 같고 T6(용체화 처리 후 인공시효)처리 되었으며 두께는 2mm이다.

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0.65	0.46	0.22	0.06	0.87	0.17	0.03	0.06	Bal.

Table 1. Chemical composition of 6061 aluminum alloy(wt.%)

2. 레이저 용접

레이저 용접을 하기 위하여 아래 그림 1과 같이 각 판재를 압연방향이 접합면에 수직하도록 하여 100mm×300mm의 크기로 절단하였으며, 이음부는 기계 가공 없이 I-square butt로 준비하였다.

레이저 용접은 최대출력 3kW 연속파 Nd:YAG 레이저를 사용하였고 각 판재를 고정구에 고정시키고 양 판재간 단차발생 및 접합면 불일치 여부를 확인한 뒤 맞대기 레이저 용접을 하였다. 용접조건은 표 2와 같고, 보호가스 공급장치는 용접쿠폰 상부면의 경우 레이저 빔 조사축과 50°의 각도로 직경이 4mm 인 구리튜브를 사용하였으며, 하부면의 경우 동일 직경을 가진 구리튜브를 용접선 아래에 파인 홈의 끝 부분에 용접선과 수평하게 설치하여 He 및 Ar보호가스를 공급하였다.

Power (kW)	Focal position (mm)	Welding speed (m/min)	Shielding gas	Gas flow rate (ℓ/min)		Heat input (J/mm)
				Upper	Back	
3	+1.5	4	-	-	-	45
			He	40	20	45
			Ar	15	10	45

Table 2. Laser welding condition

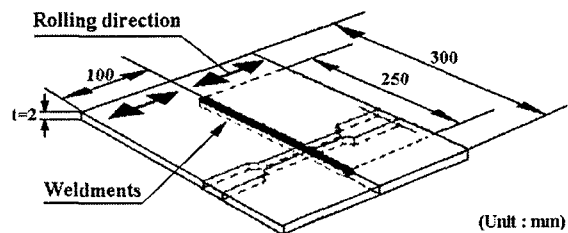


Fig. 1 The weld coupon and the extraction of the tensile specimens.

3. X-ray radiography

용접금속내 기공의 수와 크기 및 균열을 관찰하기 위해 각 조건별 용접쿠폰을 A02형의 투과도계 및 Fuji사의 #50 필름을 사용하여 전압 및 전류를 140kV, 5mA 하에서 각도를 90°로 설정하고 10초 동안 노출시켜 촬영하였다.

4. 인장시험, 경도시험 및 액압성형성(Bulge) 시험

각 조건별로 레이저 용접된 6061 합금의 인장시편은 그림 1과 같이 용접금속이 인장시편의 gage부 중심에 횡으로 위치하도록 하여 gage 길이가 50mm인 인장시편을 사용하였으며 cross-head 이동속도는 2.5mm/min로 설정하였다. 경도시험은 각 조건별로 용접시작점에서 100mm 떨어진 곳의 단면을 사용하여 측정하였고 Vickers 경도계를 이용하여 200g의 하중으로 용접금속 횡단면 1/2두께 위치에서 용접금속, 열영향부 및 모재에 걸쳐 0.25mm 간격으로 14초 동안 압입자를 가압하여 경도값을 측정하였다. 액압성형성 시험은 레이저 용접된 용접쿠폰을 Bulge 시험용 금형에 장착하고 시편이 파단 될 때까지 유압을 가하였다. 파단된 시편을 꺼낸 뒤 height gage를 사용하여 파단된 돔(dome)의 높이 및 파단시 하중을 측정하여 성형성의 지수로 사용하였다.

5. Metallography

각 조건별로 용접쿠폰 용접시작점으로부터 100mm, 130mm인 지점에서 용접비드의 횡단면, 상부비드를 채취하였으며, 50mm, 180mm인 지점에서 용접비드의 중심을 나타내는 종단면과 중심부에서 모재쪽으로 벗어난 종단면을 각각 채취하여 Keller's 용액으로 에칭 후 미세조직을 관찰하였다.

III. 결과 및 고찰

1. X-ray radiography

전체 250mm의 용접금속에 대한 X-ray radiography 필름을 분석한 결과 그림 2와 같이 He 및 Ar 보호가스를 사용할 경우 보호가스를 사용하지 않은 경우에 비해 기공의 수는 많았으나 기계적 성질에 직접적으로 영향을 줄 것으로 예상되는 직경 0.3mm 이상의 크기를 가지는 기공의 수는 유사하지만 약간 작았다.²⁾ 이러한 원인은 알루미늄 합금의 용접시 기공발생의 가장 큰 원인인 용융금속내에 용해된 수소의 온도에 따른 용해도차와 보호가스를 용접부에 공급하였을 경우 보호가스를 사용하지 않은 때에 비해 더욱더 심한 온도구배 및 빠른 응고속도로 인하여 상대적으로 많은 기포의 핵이 동시다발적으로 형성하고 빠른 응고로 인해 기포들이 서로 합쳐질 시간적 여유가 없어서 나타난 현상으로 사료된다

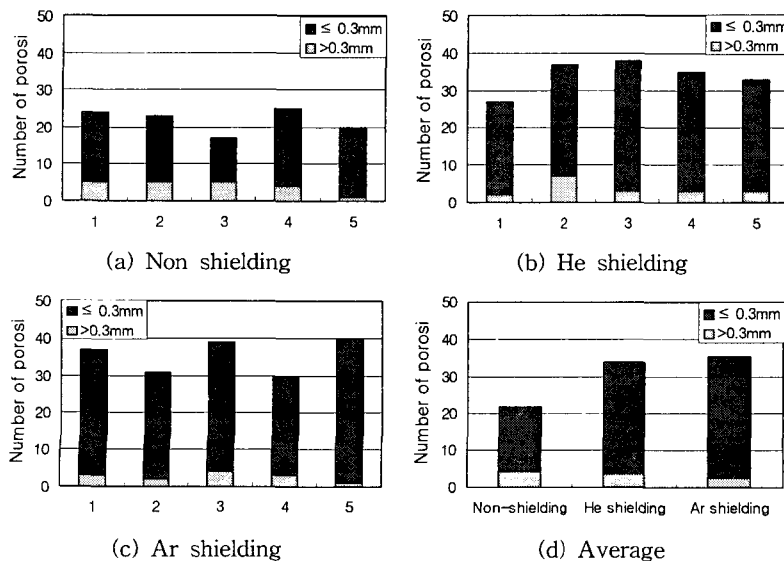


Fig. 2
Number and size of porosity obtained from X-ray radiographic images.

2. 인장성질, 경도값 및 액압성형성

인장시험 및 미소경도 측정결과 그림 3 에서 나타내었으며 모든 인장시험편의 파단은 용접금속에서 발생하였다. 최대인장강도의 경우 He 또는 Ar 보호가스 사용시 모재대비 약 72%로 보호가스를 사용하지 않았을 경우 모재대비 약 66%에 비해 6%정도 개선되었다. 그러나 경도값을 측정한 결과 보호가스를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우 서로 유사한 결과를 보이고 있으며 용접금속의 경우 석출상들이 재용해되어 시효경화 효과가 소멸되고 열영향부의 경우 과도한 입열에 의해 석출상들이 과시효되어 모재에 비해 낮은 경도값을 가진 것으로 생각된다.³⁾ 항복강도의 경우 두조건 모두 모재대비 약 55%이며 연신률의 경우 He보호가스를 사용할 경우 모재대비 12.3%로 Ar 보호가스를 사용할 경우 11.1% 및 보호가스를 사용하지 않은 경우 8.6%에 비해 다소 높았다.

한편 인장시험 결과와 기공간의 상관관계는 X-ray radiography 결과 인장시험편의 용접금속에서 관찰된 기공의 수와 크기 및 인장시험편 파단면에서 관찰된 기공의 크기와 각 인장시험편의 인장성질을 비교한 결과 기공이 인장성질에 큰 영향을 주지 않은 것으로 나타났다. 그러나 보호가스를 사용하지 않은 경우 인장시험편 파단면인 용접금속 상부에 응고균열로 보이는 황금열이 He 및 Ar 보호가스를 사용했을 때보다 더욱더 많이 관찰되었으며 이러한 관찰결과와 인장성질간에 밀접한 연관성이 있는 것으로 사료된다.

액압성형성은 그림 4에서와 같이 파단시 돔(dome)의 높이는 He 및 Ar 보호가스 사용시 모재대비 28~29%로 보호가스를 사용하지 않은 경우 약 27%와 거의 유사한 경향을 보였으며, 또한 파단시 하중도 He 및 Ar 보호가스 사용시 모재대비 26~27%로 보호가스를 사용하지 않았을 때의 23%와 유사하였다. 모든 조건의 액압성형성 시험편 파괴(failure)는 용접금속에서 발생하였으나 보호가스를 사용하지 않았을 경우 주상정을 따라 균열(cracking)이 계단형태로 나타났으며 이러한 경향은 인장시험 파단면 및 미세조직관찰시 관찰된 응고균열 조직과 연관이 있는 것으로 보이며, 보호가스를 사용할 경우 등축정과 주상정의 경계를 따라 파괴되었다.

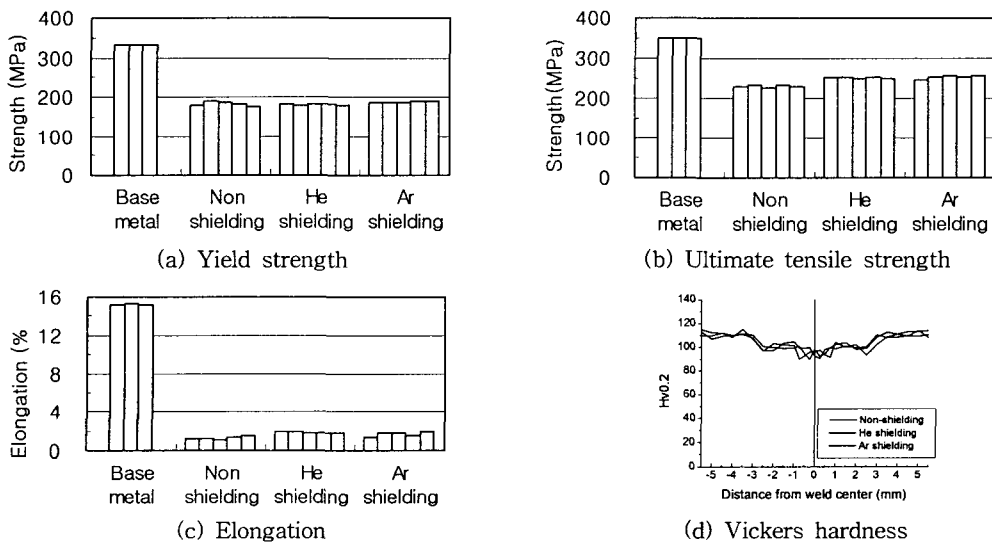


Fig. 3 Yield strength, ultimate tensile strength, elongation, and Vickers hardness of Nd:YAG laser welds.

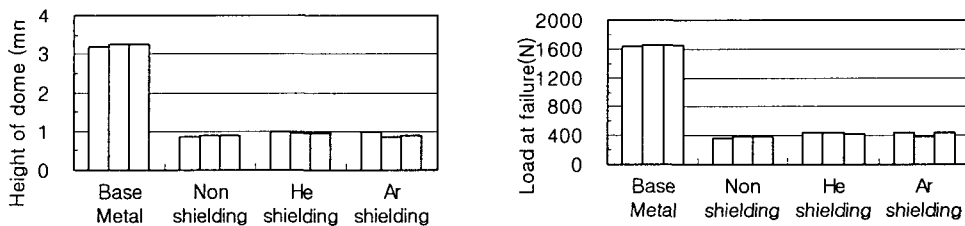


Fig. 4 Formability of Nd:YAG laser welds in 2mm thick 6061 aluminum alloy.

3. 미세조직관찰

용접비드의 각 방향에서 채취한 단면을 그림 5에 나타내었다. 횡단면의 경우 보호가스를 사용한 경우 루트(root)부의 치집현상이 사라 졌으며, 상부비드의 경우 보호가스를 사용하지 않은 조건에서 용접비드의 중심부를 향해 심각한 응고균열이 관찰되었으나 He 및 Ar 보호가스 사용시 이러한 조직은 관찰되지 않았다. 종단면의 경우 모든 조건에서 등축정과 그 사이에는 미세한 금속조직들 있었으며 응고균열은 관찰되지 않았다. 그러나 모재에 인접한 종단면의 경우 중앙부의 종단면에 비해 많은 기공과 미세한 응고균열이 관찰되었으며 보호가스를 사용하지 않은 조건에서는 응고균열의 정도가 더욱 심하였다. 이러한 결과는 He 및 Ar 보호가스 사용으로 액상 합금의 응고시 수축력 작용으로 발생한 균열의 치유현상(healing)이 개선되어 나타난 결과로 생각되며 정확한 원인 분석은 차후에 다를 예정이다.

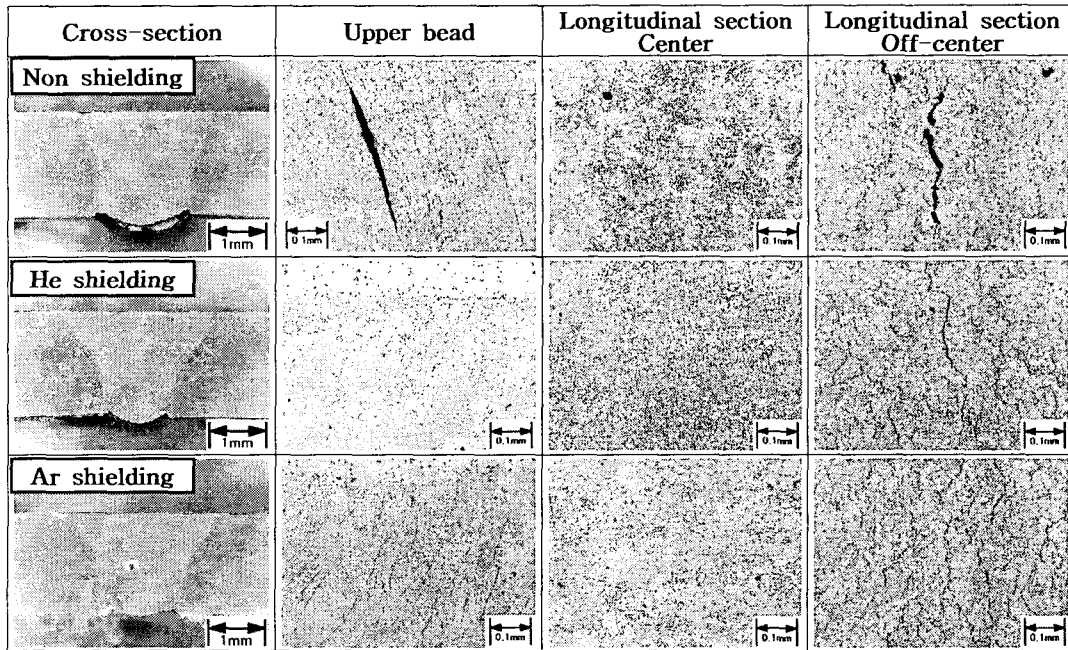


Fig. 5 Polished and etched of weld section, upper bead, and longitudinal section(center, off-center).

VI. 결 론

6061 알루미늄 합금을 He 및 Ar 보호가스를 사용하여 Nd:YAG 레이저 용접한 결과 보호가스를 사용하지 않은 조건에서 더욱 작은 양의 기공이 관찰되었으나, 응고균열 감수성이 He 및 Ar 보호가스를 사용했을 때 보다 높았으며 특히 상부비드 및 모재에 인접한 종단면에서 더욱 명확하였다. 기계적 성질 및 성형성은 모재에 비해 용접부에서 저하하였으며, 용접금속내 기공보다 응고균열이 더욱 지배적으로 영향을 주었다. 최대인장강도는 He 및 Ar 보호가스 사용시 보호가스를 사용하지 않았을 때보다 개선되었으나 항복강도, 연신률 및 액압성형성은 서로 유사하였다.

V.참고문헌

1. J. W. Yoon et al., Laser Welding of Aluminium alloys, TWI Report 517, The Welding Institute, UK, Jan. 1995, pp26~27.
2. J. W. Yoon et al., Effects of Ar shielding gas on the laser weld properties of 5052 and 6061 aluminum alloys, Journal of KWS, (to be published) (in Korean).
3. M.F. Gittos et. al., Heat-Affected Zone Cracking of Al-Mg-Si Alloys, Welding Journal, June, 1981, pp95s-103s.