

가변극성 플라즈마 아크용접을 이용한 알루미늄 합금의 키홀 용접

Keyhole Welding of Aluminum Alloy by Variable Polarity Plasma Arc Welding

유준태*, 탁정수**, 윤종훈*, 장영순*, 이영무*, 강석봉**

* 한국항공우주연구원 우주발사체사업단

** 두원중공업 기술개발

ABSTRACT The application of the variable polarity plasma arc welding process to Al2219 is described. The thickness of aluminum alloy is 11.45mm and 5.08mm. 1-pass keyhole welding is applied to butt welding and 2-pass welding is also applied to thick material. During welding, all welding parameters are controlled by automated system and acquired by 10kHz rate. This paper covers the welding parameters, result of non-destructive test and tensile test.

1. 서 론

알루미늄 합금은 높은 용접 결합률과 높은 열전도도로 인하여 용접이 어렵다고 알려져 있다. 하지만 경량구조가 요구되는 항공우주분야에서는 알루미늄 합금을 이용한 구조가 많이 사용되며 필연적으로 알루미늄 합금의 신뢰성 높은 용접 기술이 필요하게 된다. 이러한 요구에 의하여 선진국의 항공우주 분야에는 VPPA(Variable Polarity Plasma Arc, 가변극성 플라즈마 아크)용접이 개발되어 적용되고 있다. VPPA 용접은 키홀 용접방식을 적용할 수 있으므로 두께가 15mm 이상인 알루미늄에 대하여 1차 패스로 용접을 끝낼 수 있다고 알려져 있으며, 고밀도의 열원을 사용하므로 용접부에 미치는 입열량 또한 GTAW를 이용한 방식보다는 작다. 또한 가변극성 중에 포함된 DCEP 성분으로 자체 청정효과가 있어서 용접 결합률 또한 현저하게 감소한다. 본 논문에서는 항공우주 분야에 적용되는 알루미늄 합금인 Al2219에 대한 VPPA 용접을 수행하였다. 두께가 11.45mm인 Al2219-T0에 대하여 1-pass 키홀 용접 및 2-pass 용접을 적용하여 VPPA 용접의 능력을 검증하였고, 두께 5.08mm인 Al2219-T87소재에 대한 1-pass 용접을 통하여 접합 후 인장강도를 확인하였다.

2. 용접 장비 및 용접 공정

2.1 용접 장비 및 토치

용접 시 사용된 전원 공급 장비는 미국의 AMET에서 제작한 VPC-450이 사용되었고, 토치는 Liburdi의 MPW-400이 사용되었다. VPC-450은 IGBT 방식을 이용한 VP 및 AC, DC 전원 공급장비로서 최대용량은 450A (38 VDC, 100% duty cycle 기준)이고 플라즈마 용접과 GTAW용접에 모두 대응된다.

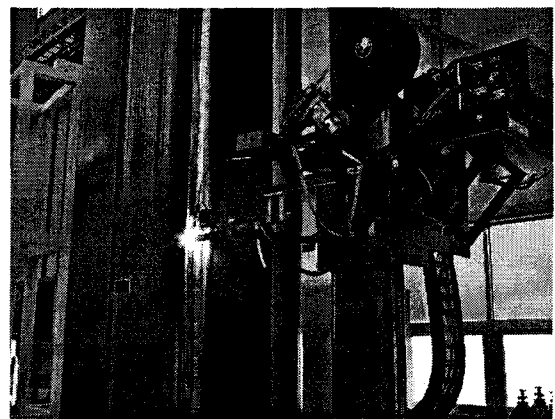


Fig. 1 Layout of welding system

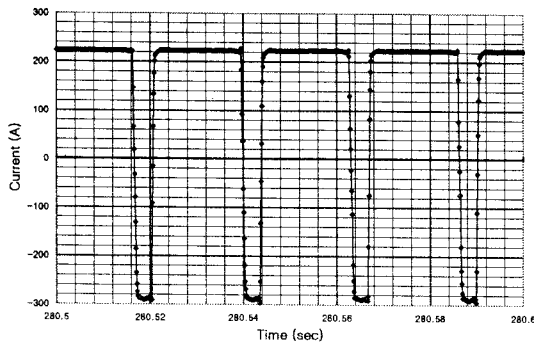
2.2 용접 공정

용접에 사용된 소재는 Al2219-T0 11.45mm 와 Al2219-T87 5.08mm 이다. 11.45mm의 소재에 대하여는 1-pass 키홀 용접과 2-pass 용접을 적용한 두가지 종류의 공정이 적용되었다. 2-pass 용접 시의 1차 패스는 키홀 용접이고, 2차 패스에서는 상부의 언더컷을 제거하기

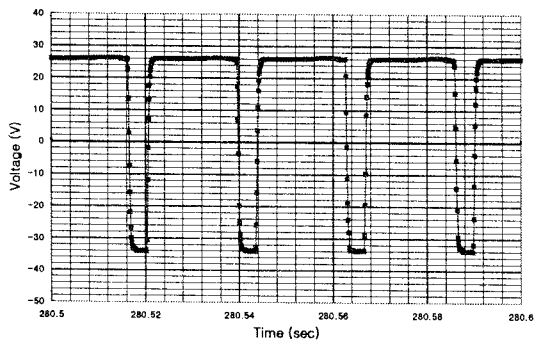
위한 커버 패스이다. Al2219-T87 5.08mm 소재의 경우는 1-pass VPPA 키홀 용접을 적용하였고, 모든 용접 시 용접 부에는 개선각을 가공하지 않은 맞대기 용접을 하였다. 표1은 용접시 적용된 기본 공정 변수이고, 그림 2는 용접 중에 측정된 전압과 전류의 가변극성 파형이다.

Table 1 Main welding parameters

	Al2219-T0 11.45mm	Al2219-T87 5.08mm
DCEN Time	19 msec	
DCEP Time	4 msec	
Shield Gas	100% He 30 Scfh	
Tungsten Diameter	4mm	3.2mm
Orifice Diameter	4mm	3.2mm
Filler wire	ER2319 1.6mm	ER2319 1.2mm



(a)



(b)

Fig. 2 Variable polarity waveforms of current(a) and voltage(b)

3. VPPA 용접 결과 및 인장시험

Al2219-T0 11.45mm소재의 1-pass 키홀 용접 후 단면 형상은 그림 3과 같다. 제작된 모든 인장시편은 MIL-W-8604A에 의거하여 비파괴 검사를 하였다. 검사된 시편의 총 누적 길이는 6m이다. 이 중 Al2219-T0 1-pass 용접부 중 일부분을 제외한 모든 부분에서 최상위 등급인 Class A-SP의 결과를 얻었다. 단 Al2219-T0 1-pass 시편 중 일부분에서만 Fine scattered porosity가 검출되었으며, 해당되는 등급은 Class C였다. 이러한 결함이 검출된 것은 이 시편 용접 직전에 filler wire의 교체가 있었으며, 이 wire의 외곽 표면이 오염되어 나타난 현상이라 추정된다. 이는 모든 시편에서 발생한 것이 아니며, 유사한 공정을 적용한 다른 시편에서는 결함이 전혀 발생하지 않았기 때문에 이러한 추정이 가능하다. 제작된 시편에 대하여는 각 종류별로 5개씩 인장시편을 제작하여 인장시험을 수행하였다. Al2219-T0 시편의 경우는 두가지 종류의 시편 모두에서 용접부가 아닌 모재 부분에서 파손되는 형상이 나타났다. Al2219-T87 시편의 파손지점은 열영향부로서 그림 4와 같다. 용접부의 인장강도는 최소값 기준으로 306.8 Mpa로 측정되었으며 이는 모재대비 69.5%의 값이다.

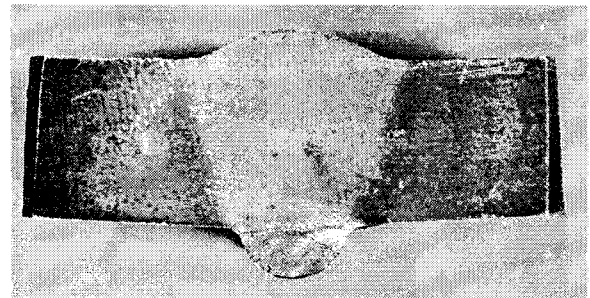


Fig. 3 Macro image of 1-pass keyhole welding (Al 2219-T0 11.45mm)

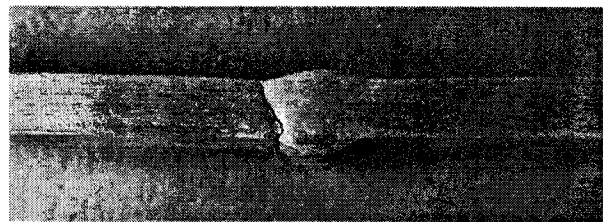


Fig. 4 Tensile test result (Al2219-T87 5.08mm)

4. 결 론

VPPA 용접공정을 적용한 알루미늄 합금의 인장 시편을 제작하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 두께 11.45mm의 Al2219-T0소재에 대하여 VPPA 용접 공정을 적용한 1-pass 키홀 용접에 성공하였다.
2. Al2219-T87 5.08mm 소재의 1-pass 키홀 용접 후 인장시험 결과 모재대비 약 70%의 인장강도를 얻었다.
3. 가변극성의 특성을 이용하여 깊은 용입을 얻으면서 용접결함이 현저하게 줄어들었으며, 사전 준비만 좀더 철저히 한다면 0%에 가까운 용접 결함율도 가능할 것이다.

결과에서 알 수 있듯이, VPPA 용접을 이용한다면 약 11mm 두께의 알루미늄합금을 1-pass 용접이 가능하고, 맞대기 용접 시에도 개선각의 가공이 필요없다. 그러므로 비용절감 및 생산성 향상이 가능하며 무엇보다도 용접결함이 상당히 감소한 우수한 용접결과를 얻을 수 있다. 용접결함에 대한 우수성은 향후 제품 제작을 통하여 추가적으로 검증할 계획이다.

참고문헌

1. N. J. Woodward, I. M. Richardson and A. Thomas : Variable polarity plasma arc welding of 6.35mm aluminium alloys: parameter development and preliminary analysis, Science and Technology of Welding and Joining, 2000 Vol 5, 21-25
2. A. C. Nunes, Jr. E. O. Bayless, C. S. Jones III, P. M. Munafo, A. P. Biddle and W. A. Wilson : Variable polarity plasma arc welding on the Space shuttle external tank, Welding Journal , September 1984, 27-35
3. Keyhole Plasma Arc Welding of Aluminum with Variable Polarity Power, Welding Journal , February 1984, 25-32
4. P. W. Fuerschbach : Cathodic cleaning and heating input in variable polarity plasma arc welding of aluminum, Welding Research Supplement, February 1998, 76-85
5. Q. Pang, T. Pang, J. C. McClure and A. C. Nunes : Workpiece cleaning during

variable polarity plasma arc welding of aluminum, Journal of Engineering for industry, 1994 Vol 116, 463-466