

후육 고강도 Al 2519합금의 FSW 접합기술 및 접합부 특성

FSW Technology for Al 2519 Alloys and Joints Characteristics

김홍주^{****} 장용성^{*} 양광하^{**} 방한서^{***}

포항산업과학연구원 용접센터^{*}

(주)대우중합기계^{**}

조선대학교 생산·가공공학과^{***}

1. 서 론

군수송기기에 대한 국방소재 성질의 개선에 관심이 높아지면서 후육 고강도 Al합금에 대한 FSW적용이 부각되고 있다. 이러한 군수송기기에 대한 가장 중요한 목표는 고강도 경량화, 사용 환경에 대한 저항능, 특수 기능성, 경제성 등을 들 수 있다. 그러나 일반적으로 금속재료의 강도를 높이기 위해서는 제작 중 용접과정에서의 불리함이 증대되기 마련인데 특히 Al 합금의 경우 그러한 경향이 가장 두드러지게 나타난다. Al 장갑재는 경량이면서 소구경탄에 대한 방탄특성이 우수하며 용접성이 양호하여 장갑차나 자주포의 동체, 포탑재료로 사용되고 있다. 특히, 구조용7000 또는 2000계열의 고강도 석출경화형 Al 합금은 군수용 소재로 20세기 중반부터 사용되어 왔으며 최근에 이르기까지 이들 합금의 특성은 괄목할만한 발전을 이루어 왔다. 초기 방탄재료인 Al 5083 장갑재를 포함하여 Al 7039, Al 2519, Al 7017 장갑재들이 사용되고 있으며 국내의 경우 Al 5083 장갑재는 국산화가 되어 있으나 그 외 대부분의 장갑재는 아직 국산화가 안되어 전량 수입되고 있다. 그러나 이들 합금은 통상의 아크나 빔을 이용한 용접이 불가능하다는 한계로 말미암아 구조 경량화를 위한 적용에 많은 제약이 따라왔다. 이러한 상황은 FSW 기술의 개발로 인해 거의 완벽하게 반전되어 이들 합금은 이제 기계적 리벳팅 대신 용접이 가능하게 되었다. 실로 항공우주 산업에 있어서는 생산가공기술의 paradigm을 바꿔 놓을 정도의 파급효과를 나타내고 있다. 본 연구에서는 FSW 기술을 적용시키기 위한 목적의 일환으로 수송기용 구조용 고강도 Al 합금으로 주목 받고 있는 2000계열 Al합금의 FSW 접합공정을 개발하고 접합공정 및

인자에 따른 FSW 특성을 비교 평가 하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서 사용된 Al 합금은 군수송기계용 방탄재로 쓰이고 있고 높은 강도를 가지는 알루미늄 외장 플레이트(2519-T87)가 구조물의 소재로 합금의 조성 및 기계적 특성을 Table 1에 각각 나타내었다. 재료는 300*120*12.8 (38.1mm) 크기의 판재로서 FSW 전용기기 및 고정장치(Jig)를 이용하여 접합을 실시하였다. 본 실험에서는 FSW 접합 공정 중 주변수인 tool 회전속도(rotation speed of tool), 접합 속도(traveling speed of plate)를 Table 2에 나타낸 조건으로 접합하였다. FSW 접합 후 접합부 조직을 관찰하기 위해서 접합 한 재료를 절단하여 마운팅을 한 다음 폴리싱 연마 후 광학 현미경을 사용하여 관찰하였고 조직 관찰에 사용된 부식액은 질산(Nitric acid) 2.5ml, 염산(Hydrochloric acid) 1.5ml, 불산(Hydrofluoric acid) 1ml, 증류수 95ml를 사용하였다. 접합조건에서 접합한 접합부 내의 미세조직 및 결함부분을 관찰하기 위해 접합방향의 수직인 단면을 광학현미경(Optical Microscope)을 이용하여 관찰하였다. 그리고 FSW 접합부의 기계적 특성을 파악하기 위해서 시편을 제작하여 50ton 인장 시험기를 사용하여 시험하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

전용 FSW접합 기기를 이용하여 특수 제작된 비소모성 틀을 이용하여 접합을 실시하였다. 그리고 틀의 회전 방향은 반시계방향이고, 시편을 완전 고정하여 접합을 실시하였다. 견고하게 고

정된 시편측이 이동하는 방식으로 접합 실험을 실시하였다. 주 접합인자 틀의 회전속도와 이동속도를 주 인자로 하여 최적의 접합조건을 도출하였다.

Table 1 Chemical compositions and mechanical properties of Al 2519-T87 Alloy

Chemical composition (wt. %)					
Al 2519	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
	0.25	0.30	5.3~6.4	0.1~0.5	0.05~0.4
	Ti	Zn	V	others	Al
0.02~0.1	0.1	0.05~0.15	-	bal.	

Mechanical properties		
Al 2519	Yield strength (MPa)	Ultimate tensile strength(MPa)
		407

Table 2 Friction stir welding conditions

Parameter	Conditions	
	Al 2519-T87	
Material	12.6mm	38.1mm
Tool rotating speed (rpm)	400, 600	600
Travel speed (mm/min)	50	10

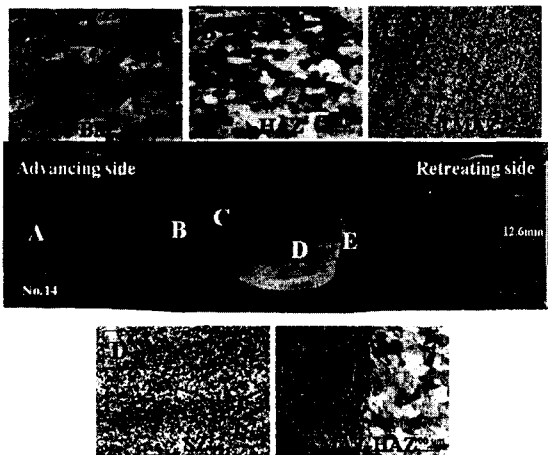


Fig.1 Macro and microstructures features of FSWeled (A) HAZ (B) SZ (C) TMAZ-HAZ (D) TMAZ

Fig. 1은 접합용 틀의 회전속도 400rpm, 접합속도 50mm/min에서 가장 건전한 접합부를 나타낸 마크로 조직 사진이다. FSW 접합부의 SZ(Stir zone)의 경우 매우 미세한 조직을 나타내고 있음을 확인할 수 있었으며, 형성 원인은 접합용 틀의 shoulder부와 핀 부분의 마찰에 의한 열과 소성유

동에 의해 동적 재결정이 일어나기 때문이다. 또한 Fig. 1(d)와 같이 틀의 회전과 마찰열에 의해 모재에 비해 극심하게 연신된 열 및 기계적인 영향 부인 TMAZ (Thermo - Mechanical Affected Zone)가 형성이 됨을 알 수 있다. 또한 확연한 TMAZ와 SZ을 구분할 수 있었으며, 낮은 회전속도와 이동속도에서 좋은 비드(bead)를 보였다. Fig 2는 FSW 접합부의 SEM 조직을 나타내는데 모재에 비해 SZ 영역은 미세하고 균일한 결정립 조직을 보이며 동적재결정이 완료된 결정립계를 따라서 다양한 크기의 화합물들이 분포하고 있음을 알 수 있다.

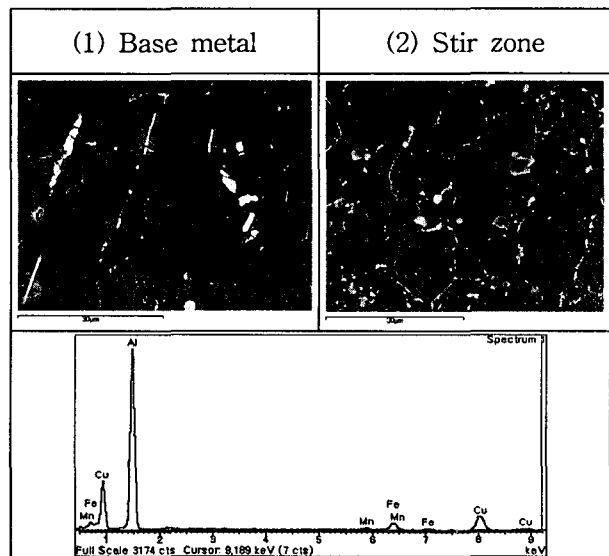


Fig.2 SEM micrographs of SZ and BM of Al2519

Fig. 3은 접합에 사용된 틀의 핀 형상 및 shoulder의 차이에 의한 접합부 형상을 나타낸 그림으로서 Fig. 3(a)와 같은 좋은 접합을 보이는 틀의 핀은 형상은 시계방향의 나선형 홈(깊이 0.2mm)의 특징을 가질 때 가장 좋은 접합부를 형성함을 실험을 통해서 알 수 있었다.

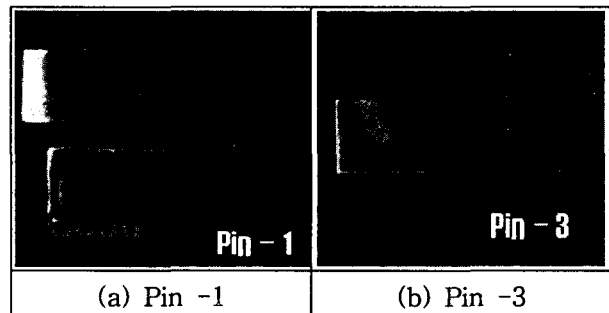


Fig. 3 FSW Joint according to the tool geometry

Fig. 4는 고강도 Al 2519-T87합금의 FSW 접합부 연속 경도를 나타낸 것이다. 접합부 중심으로 갈수록 경도가 감소하여 연화되었음을 알 수 있다. 그리고 연화부 폭은 약 12mm정도이며 최대 경도는 약 100Hv를 보인다. Fig. 5는 FSW 후 접합부의 특성을 파악하기 위해서 간이적인 방법으로 인장 시험한 결과로서 모재강도의 약 80%의 정도를 보임을 실험을 통해서 알 수 있었다. 그리고 각각의 조건에서 접합한 시험편을 인장시험을 한 후 파단 된 시험편의 형상을 나타내고 있다. 틀의 회전속도 450rpm 인 경우 접합부 외관 및 단면에서 결함이 없는 접합부를 보이나 취약해진 접합부에서 파단이 일어남을 알 수 있었다.

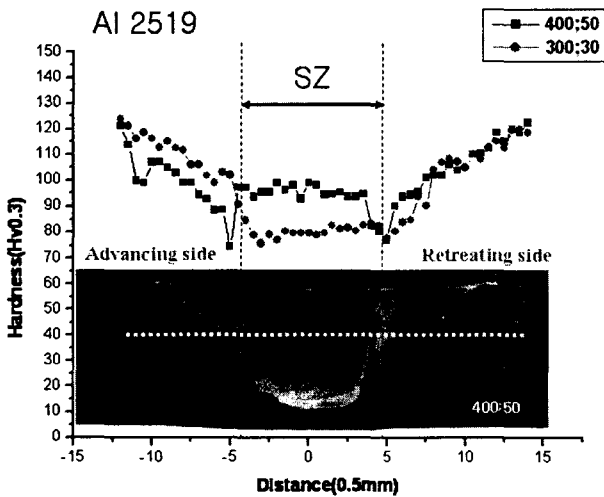


Fig. 4 Hardness distribution of Al 2519

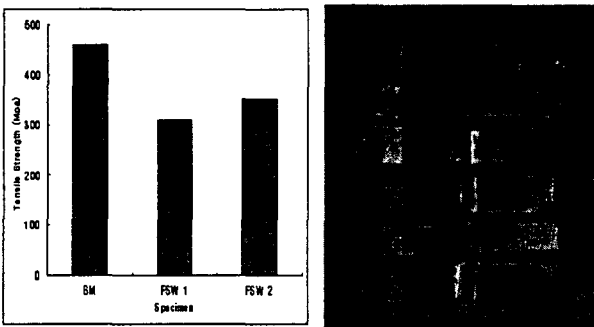


Fig. 5 Comparison of tensile results of Al 2519-T87(12.6mm)

다음 Fig. 6은 두께 38.1mm의 FSW 접합부를 나타낸 그림으로서 용접 속도를 10mm/min으로 유지 시키고 틀 회전속도를 600rpm과 1000rpm으로 변화시켜 용접을 한 결과 용접부의 표면 검사를 한 결과 그림과 같이 약간의 결함이 발견됨을 알 수 있다. 이는 틀의 특성, 회전속도, 이동속도 등의 영향에 의한 것으로 판단된다.

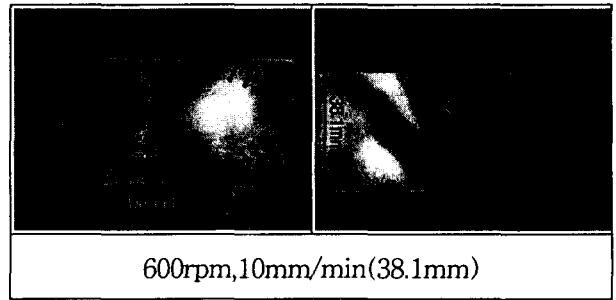


Fig. 6 FS Weld of Al 2519-T87 (38.1mm)

4. 결 론

군수송기계용 고강도 Al 2519-T87 합금의 FSW 접합부의 접합성 및 접합부의 특성을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 군수송기계용 고강도 Al 2519-T87합금에 대한 FSW접합에 대한 적용 및 최적 적합조건 확립을 하였다.
- 2) 경도 측정 결과 석출물의 분해 및 조대화에 의한 연화 영역이 발생하였다.
- 3) FSW에 의한 접합부의 강도가 모재강도의 약 80%를 차지하였다.

참고 문헌

1. Hwa-Soon Park, Woo-Yeol Kim, Chung - Yun Kang: Welding and Bonding of Dissimilar Metal Steel/Nonferrous Metal, Journal of KWS, 14-6 (1996), 1-7 (in Korean)
2. Journal of Materials Processing Technology :H.Friedrich, 117(2001), p276- 281