2005년도 춘계 학술발표대회 발표논문, 2005년 6월, 서울

후육 고강도 Al 2519합금의 FSW 접합기술 및 접합부 특성(II)

FSW Process Optimization for Al 2519 Alloys and Its Joint Characteristics(II)

김홍주*, 장웅성*, 양광하,방한서*****
*포항산업과학연구원 용접센터
** (주)두산인프라코어 생산기술팀
*** 조선대학교 선박해양공학과

ABSTRACT On the basis of successful experiences and data from author's past experimental results of friction stir welding on thin aluminum plates, thick aluminum plate of high strength 2000 series has been carried out in this study. For various combination of rotating speed, welding speed and tool (RIWRC38-C) shape, the butt welded specimens has been prepared to check the metallurgical characteristics, hardness distributions and defects. From the results, feasible welding conditions have been obtained as 450 rpm rotating speed and 5 mm/min welding speed. Using these optimum welding parameters, 38.1mm-thickness A2519-T87 plates have been FSWelded in single pass. A good weld surface appearance and defects free weld zone has been observed in X-ray inspection. Softened region has been generated by dissolution of precipitates and coarsened microstructure in the stir zone after FSWeld.

1. 서 론

마찰교반접합(FSW)의 적용에 대한 재료적 측면으로 현재 군수수송기기에 대한 재료의 기능성, 경제성 등에 많은 관심을 보이고 있다. 국방소재 성질의 개선에 있어서 가장 중요한 목표는 고강도 경량화, 사용 환경에 대한 저항성, 특수기능성, 경제성 등을 들 수 있다. 그러나 일반적으로 금속재료의 용접 시 용접부에서의 강도 연화현상이 나타나는데 특히 Al 합금의 경우 그러한 경향이 가장 두드러지게 나타난다. 알루미늄 장갑재는 경량이면서 소구경탄에 대한 방탄특성이 우수하고 용접성이 양호하여 장갑차나 자주포의 동체, 포탑재료로 사용되고 있다. 특히, 구조용 7000 또는 2000계열의 고강도 석출 경화형 Al 합금은 군수용 소재로 20세기 중반부터 사용되어 왔으며 최근에 이르기까지 이들 합금의 특성은 괄목할만한 발전을 이루어 왔다. 외국의 경우 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 열처리형 고강도 구조용 판재재료는 전량 수입에 의존되고 있다. 군수 및 민수용(항공기, 미사일, 철도차량 등)에 적용되는 열처리형 고강도 구조용 판재재료는 전량 수입에 의존하고 있고 기존 용융용접에 의한 Al 2519합금의 맞대기 용접 시 기존 군용 재료인 Al 5083합금보다 낮은 연성을 나타내며, 연성을 높이기 위해선 제조공정이 복잡해지고 비용인 높아진다는 단점을 가지고 있다. 이에 연성과 강도를 동시에 충족시킬 수 있는 마찰교반접합에 대한 연구가 국내외적으로 활발히 진행되고 있다. 이에 본 연구에서는 FSW 기술을 적용시키기 위한 목적의 일환으로 수송기기용 구조용 고강도 Al 합금으로 주목 받고 있는 후육 2000계열 Al합금에 대한 FSW 접합공정을 개발하고 접합공정 및 인자에 따른 FSW 특성을 비교 평가 하였다.

2. 실험 방법

본 실험은 전용 FSW 접합기기와 특수 제작된 비소모성 툴을 이용하여 접합을 실시하였다. 툴의 회전 방향은 시계방향이고, 시편을 견고하게 고정시킨 다음 고정된 시편측이 이동하는 방식으로 접합 실험을 실시하였다. 주 접합인자인 툴의 회전속도와 이동 속도를 변화하여 최적의 접합조건을 도출 하였다. 본 연구에 사용된 Al 2519-T87 합금의 합금조성 및 기계적 특성을 Table 1

에 각각 나타내었다. 본 연구에 사용된 Al 2519-T87합금을 재료는 300(L)× 60(W) × 38.1(T) (mm)로 판재 가공 된 두개의 부재를 맞대기 형태로 두고 마찰교반접합을 실시하였으며 접합조건은 Table 2와 같다.

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

Chemical compositions(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	Tensile Yield strength(MPa)	Ultimate Yield strength(MPa)
	407	455

Table 2 Friction stir welded conditions

Parameter	Conditions
Material	Al 2519-T87
	38.1mm
Tool rotating speed(rpm)	450
Travel speed(mm/min)	3~5
Tool used	RIWRC 38-A, RIWRC 38-C

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) 2.5㎖, 염산(Hydrochloric acid) 1.5㎖, 불산(Hydrofluoric acid) 1㎖, 증류수 95㎖를 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 마이크로 경도기를 사용하여 하중 300g, 시간은 12sec로 실시하였다. 또한 접합부의 인장시험은 JIS 5호 규격으로 접합부 특성을 파악하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

두께 38.1mm 후육 고강도 Al 2519-T87합금을 마찰교반접합으로 1pass 접합 후 시편의 단면을 Fig. 1에 나타내었다. 주 접합인자인 툴의 회전속도와 접합속도를 가지고 다양한 실험조건으로 실험 한 결과 회전속도 450rpm, 접합속도 5mm/min에서 양호한 단면을 얻을 수 있었다. 접합부 단면 형상은 표면에서 시편의 두께방향으로 갈수록 아주 좁은 형상을 하고 있으며, 실험에 사용된 툴은 본 연구소에 개발된 비소모성 툴로서 툴 마모 및 파단이 일어나지 않는 특성을 가지고 있다.

Fig. 1 Typical 38.1mm 2519-T87 Al alloy FSW transverse section

후육 고강도 FSW접합 시 고려할 사항으로서, 1) 후육용 툴의 설계 2) FSW 접합용 전용기기의 모터용량 3) 전용 지그(jig) 등을 고려하여 접합이 이루어져야 한다. 특히 툴의 설계 시 고려해 할 사항은 접합 시 시편의 두께와 툴의 저항성, 툴 숄더와 핀의 제원, 툴의 기울기(tilting angle)등을 고려하여야만 좋은 접합부 성능을 얻을 수 있다.

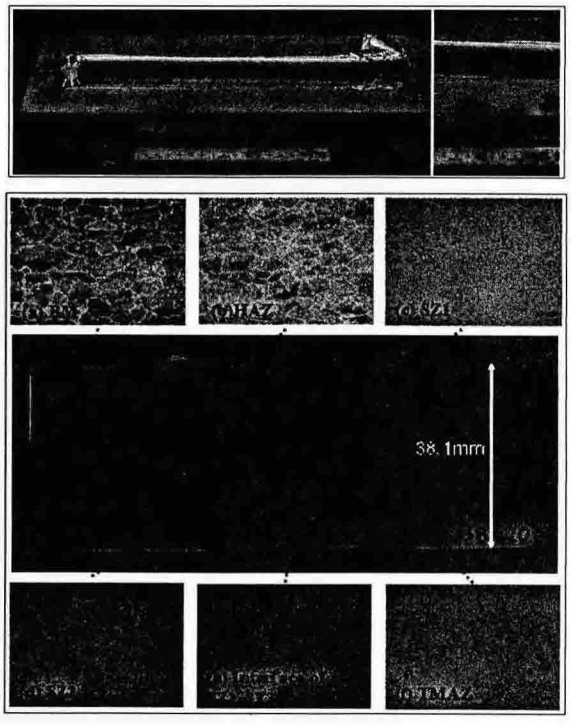

Fig. 2 Macro and microstructures feature of FS welded (a) BM, (b) HAZ, (c) SZ 1, (d) SZ 2, (e) Interface of SZ 1-SZ 2, (f) TMAZ

Fig. 2는 접합부 표면 및 단면 마크로 조직 그리고 미세 조직이다. 접합용 툴의 회전속도 400rpm, 접합속도 5mm/min에서 가장 건전한 접합부를 나타냈다. FSW 접합부의 SZ(Stir zone) 영역의 경우 매우 미세한 조직을 나타나고 있음을 확인할 수 있었는데, 이는 접합용 툴의 숄더부와 핀 부분의 마찰에 의한 열과 소성유동에 의해 동적 재결정이 일어나기 때문이다. Fig. 3은 결함이 있는 FSW 접합부 단면이다. 여기에 사용된 툴은 기존 결함이 생성되지 않는 접합용 툴(RIWRC 38-C)과는 제원이 다른 형상을 가진 툴(RIWRC 38-A)로 접합 실험을 하였다. 툴 변화에 따른 결함 생성의 원인은 핀 제원 설계 시 툴의 회전에 의해 접합부 소성유동이 원활하게 일어나지 못하는 설계인 것으로 확인되었다. 그리고 Fig. 4는 접합부의 기계적 특성을 파악하기 위해 비커스경도를 측정하였다. 후육 FSW 접합 시 매우 낮은 접합이동속도에 의해 접합부 표면에서 두께방향으로 갈수록 HAZ 폭의 변화와 접합부의 연화특성이 크다는 것을 알 수 있었다.

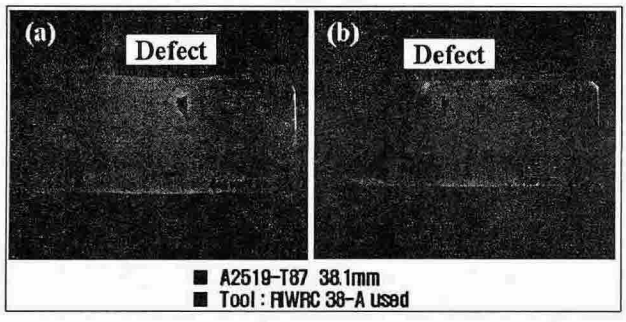

Fig. 3 Transverse section of the weld zone(defects)

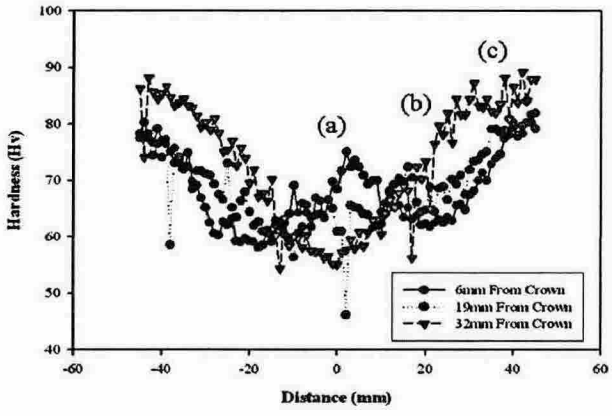

Fig. 4 The hardness distribution of near FS welded zone of 2519-T87 Al alloy. (a)SZ, (b)HAZ, (c)BM

4. 결 론

후육 고강도 Al 2519합금의 FSW 용접부의 접합성 및 접합부의 특성을 파악하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 수송기계용 후육(38.1mm) 고강도 Al 2519 합금에 마찰교반접합시 본 연구에서는 툴 회전속도 450rpm, 접합속도 5mm /min에서 최적의 접합조건을 보였다.
2) FSW 접합부에서 석출물의 용해 및 결정립 조대화에 의한 연화 영역이 발생하였다.
3) 후육 FSW 접합 시 전용 툴의 개발 및 전용 접합기기에 대한 기술개발이 필요하며, 현재 추가적인 연구가 진행 중이다.

참고문헌

1) Kevin Colligan, etc: Friction Stir Welding of Thick Section 5083-H131 and 2195-T8P4 Aluminum Plates, 3th International Symposium Friction Stir Welding (2001)
2) Glenn Campbell, Tim Stotier: Friction Stir Welding of Armor Grade Aluminum Plate, Welding Journal (1996) 45-46