

# 마찰교반 용접한 2519Al 합금 용접부의 석출거동 및 미세조직

배종모\* · 박태원\* · 백두현\* · 김홍주\*\* · 장웅성\*\*

\*국방과학연구소

\*\*산업과학기술연구소

## Precipitates Behavior and Microstructure of Friction Stir Welded 2519Al Alloy

Jongmo Bae\*, Taewon Park\*, Doohyun Baik\*, Hungju Kim\*\*, Woongseong Chang\*\*

\*Agency for Defense Development, P.O. Box 35, Yuseong, Taejeon 305-600

\*\*Research Institute of Industrial Science & Technology, Pohang

### ABSTRACT

In this study, microstructure and mechanical properties for the friction stir welded 2519Al-T87 alloy of the thickness of 38.8mm were studied using DSC, OM, SEM and micro hardness tester. DSC analysis show that GP Zone,  $\theta'$  and  $\theta$  phases in upper part and  $\theta'$  and  $\theta$  phase in lower part of the FSW zone. Recrystallized large grains are observed in HAZ, and elongated small and large grain in the TMAZ. In SZ, very small grains forms by high plastic deformation and heat from friction by tool and specimen.

\*Corresponding author : parktw9@lycos.co.kr

Key Words : Al2519-T87, Friction stir welding, Precipitation hardening, Hardness, Tensile strength test

## 1. 서 론

장갑용 알루미늄 합금은 주로 5083Al, 7039Al 그리고 2219Al이 사용되어 왔다.<sup>1)</sup> 최근 이들 합금보다 방탄성능이 더욱 우수한 2519Al 합금이 미국의 NCEMT(Naval Centers of Excellences manufacturing Technology)에서 개발되어 수륙양용장갑차에 적용되었다<sup>2)</sup>. 2519Al 합금은 기존의 장갑재인 5083Al 및 7039Al보다 방탄성능이 우수하고, 고강도이기 때문에 방탄재료로 적용할 경우 경량화가 가능하다<sup>1)</sup>. 그러나 2519Al 합금과 같은 석출강화형 알루미늄 합금은 통상의 아크나빴을 이용한 용융용접에서는 많은 결함이 발생하고, 좋은 접합부를 얻기가 어렵기 때문에 NCEMT에서는 장갑차 제작 시 새로운 용접방법인 마찰교반용접(Friction Stir Welding, 이하 FSW)을 적용하고 있다.

본 연구에서는 T87처리한 38.8mm 두께의 2519Al 합금에 FSW 속도변화로 용접후 냉각속

도를 달리하여 석출물 분석, 미세조직 등을 조사하여 FSW시 용접부의 강도저하를 줄일 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 사용재료 및 실험방법

### 2.1 사용재료

본 연구에서 사용된 2519Al 합금은 군 수송기 계용 방탄재로 쓰이고 있으며, 폭 150mm, 두께 38.8mm의 압출재를 사용하였다. 합금의 조성은 Table 1과 같으며, T87처리된 2519Al 합금의 항복강도는 437.3MPa, 인장강도는 497MPa, 연신율은 12.8%를 나타내었다.

Table 1. Chemical compositions of 2519Al alloy used in this experiment.

Alloy	Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Ti	Zn	V	Al
2519	5.6	0.2	0.25	0.3	0.25	0.05	0.1	0.12	Bal.

## 2.2 실험방법

FSW 용접기에 SKD61 특수강으로 제작된 툴(tool)을 장착하여 접합을 실시하였으며, 툴의 회전속도는 225RPM으로 고정하고, 이송속도를 6mm/min.과 22mm/min.으로 변화시켰다. 접합부에 대해 190℃에서 10분, 1시간, 8시간 시효처리를 하여 경도 및 강도를 측정하였다.

모재 및 FSW 접합부의 석출물 거동을 조사하기 위해 시차 주사 열량계(Differential Scanning Calorimetry, 이하 DSC)를 사용하여 5℃/min.의 승온 속도로 20~550℃ 온도범위에서 유속 50ml/min.의 질소(N) 분위기 중에서 측정하였다.

접합부의 미세조직을 관찰하기 위해 광학현미경 및 주사전자현미경(Scanning Electron Microscopy, 이하 SEM)을 사용하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 DSC분석

2519Al-T87 압출재의 FSW 접합부 석출거동을 확인하기 위하여 이송속도, 22mm/min.로 FSW한 시편에 대해 DSC분석한 결과를 Fig. 1에 나타내었다.

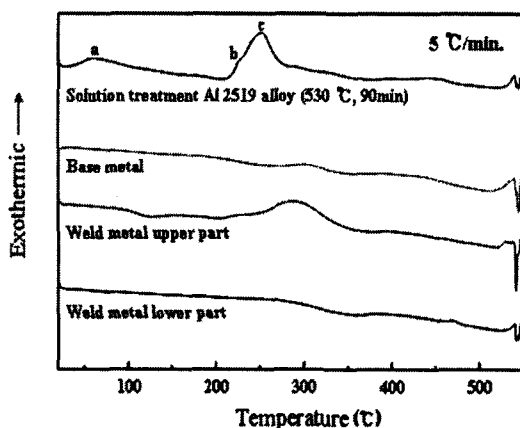


Fig.1. DSC curves of the as-quenched, T87 heat treated and friction Stir welded specimens.

용체화 처리후 급냉한 시편의 DSC 곡선에서 60℃와 250℃에서 2개의 큰 발열 곡선이 관찰되고, 250℃의 피크를 가지는 발열 중 약 225℃의 피크를 가지는 또 하나의 발열이 관찰된다. 2000계열 알루미늄 합금의 석출과정과 비교할 때

60℃에서 피크를 나타내는 발열(a)는 GP Zone의 생성에 의한 것, 225℃와 250℃에서 피크를 나타내는 발열 (b) 및 (c)는 각각  $\theta'$ 상 및  $\theta$ 상의 생성에 의한 것으로 판단된다. 그리고 발열 (a)와 발열 (b) 사이의 흡열은 GP Zone의 용해의 의한 것,  $\theta$ 상 생성 피크이후 고온에서의 흡열은  $\theta'$ 상 및  $\theta$ 상의 용해에 의한 것으로 사료된다.

T87처리한 모재부의 열분석 곡선에서는 용체화처리한 시편의 곡선에서 관찰되었던 GP Zone,  $\theta'$ 상 및  $\theta$ 상의 생성에 의한 피크와 GP Zone 용해의 의한 흡열 피크가 관찰되지 않고,  $\theta$ 상 이후에 나타나는 고온에서의 흡열만이 관찰된다. 이것은 T87처리에 의해 석출된 상은  $\theta'$ 상 및  $\theta$ 상이며 대부분  $\theta$ 상인 것으로 사료된다.

FSW에 의한 용접부의 상부에 대한 DSC분석에서는 GP Zone 용해에 의한 흡열이 관찰되고,  $\theta'$ 상 및  $\theta$ 상의 생성에 의한 작은 발열이 용체화처리한 시편에서 나타났던 온도보다는 약간 높은 온도에서 관찰된다. FSW 시편의 상부에서는 GP Zone이 생성되었고 용체화처리상태의 DSC곡선에서 나타난  $\theta'$ 상 및  $\theta$ 상에 비해 적은 양의  $\theta'$ 상 및  $\theta$ 상이 생성되었음을 나타낸다.

FSW에 의한 용접부의 하부에 대한 DSC분석에서는 G.P. Zone,  $\theta'$ 상 및  $\theta$ 상의 생성에 의한 발열이 관찰되지 않고 고온에서의 흡열만이 관찰된다. T87처리한 시편의 곡선과 비슷하며 용접후 냉각시  $\theta'$ 상 및  $\theta$ 상이 생성된 것으로 사료된다.

### 3.2 미세조직 관찰

Fig. 2는 접합용 툴의 회전속도 225rpm, 접합속도 22mm/min.로 접합한 접합부의 거시조직 및 미세조직이다. 접합부의 조직은 모재부(Base Metal : BM) A, 열영향부(Heat Affected Zone : HAZ) B, 기계적 열영향부(Thermo-Mechanically Affected Zone; TMAZ) C, 교반부(Stir Zone; SZ) D로 구분되어 진다.

모재부인 A영역은 압출방향과 직각인 단면의 조직으로 결정립 크기가 약 50 $\mu$ m이다. 열영향부인 B영역은 재결정된 결정립으로 구성되어 있으며, 조대한 결정립이 관찰된다. C영역은 툴의 회전으로 시편과의 마찰에 의해 강한 소성가공과 마찰열을 생성시켜 동적재결정이 일어남으로써

미세한 결정립과 소성에 의해 결정립이 연신된 모양을 나타낸다. FSW 접합부 중 교반부인 D영역에서는 C영역보다 더욱 심한 소성가공을 받으므로 전체적으로 미세한 재결정립을 나타낸다. D영역보다 하부인 E영역에서는 D영역보다 더욱 미세한 결정립을 나타내며, 툴의 회전에 의해 Onion ring이 관찰된다. 접합하부에서는 용접금속 영역과 HAZ 영역의 구별이 F와 같이 더욱 선명하게 나타난다.

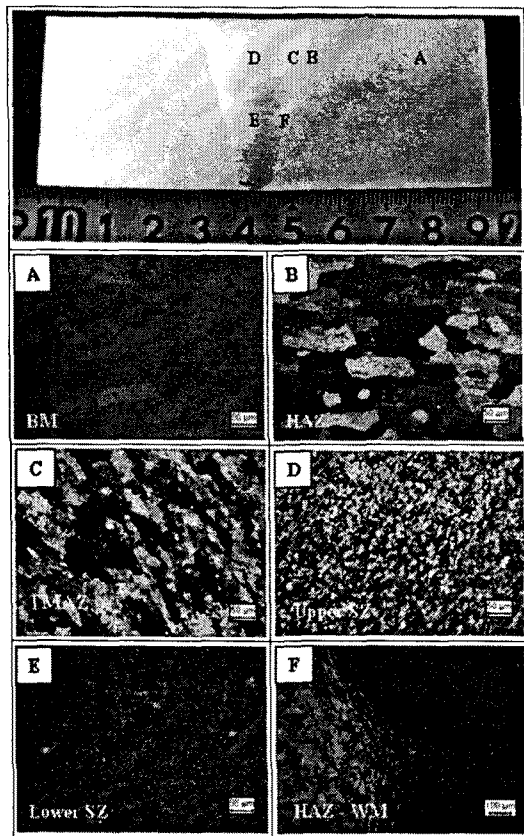


Fig.2. Macro and micro-structures of friction stir welded 2519Al-T87 (travel speed: 22mm/min)

Fig. 3에 6mm/min, 22mm/min로 접합 이송속도를 달리한 접합부의 SEM 미세조직 사진을 나타내었다. 2519Al-T87 처리한 모재부(A, B)의 경우 미세한 석출상들이 입내에서 관찰되며 입계에는 입내보다 조대한 석출상들이 관찰된다. 모재부와 용접부의 경계를 촬영한 C, D를 보면, 모재부에서는 조직사진 A, B에서 관찰한 바와 같이 미세한 입내 석출물과 조대한 입계 석출물이 관찰되고, 용접부에는 모재부보다 조대한 입내 석출상 및 입계 석출상이 관찰된다. 이송속도가 빠른

22mm/min.의 경우가 6mm/min. 보다 석출물이 미세한 경향을 보인다. 용접부에서도 이송속도가 빠를 경우 미세한 경향을 보인다.

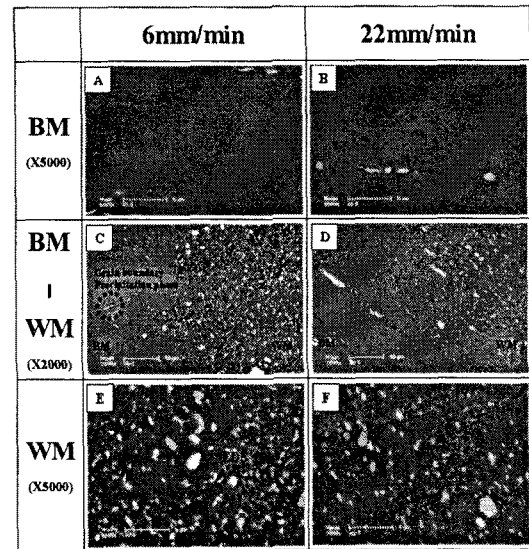


Fig.3. SEM micrograph of friction stir welded Al 2519-T87 base and weld metal

#### 4. 결 론

FSW 용접부의 상부에서는 GP Zone,  $\theta'$ 상 및  $\theta$ 상이 생성되며, 하부에서는  $\theta'$ 상 및  $\theta$ 상이 생성되며, FSW 후 냉각시 이들이 성장하는 것으로 사료된다. HAZ 영역에서는 조대한 재결정립을 보이고 TMAZ 영역에서는 소성가공의 영향으로 연신된 재결정립과 미세한 결정립이 관찰된다. SZ 부 하부는 상부보다 더욱 미세한 결정립을 보이며 Onion ring이 나타난다. 이송속도가 빠를수록 FSW 용접부에서는 미세한 석출물이 존재한다.

#### 참 고 문 헌

1. Y.H. Bae, S.H. Hong and Y.Y. Lee : The analysis of mechanical and ballistic property for 2519 aluminum armor plate, THE THIRD MILITARY MATERIAL SCIENCE CONFERENCE, A-257(2000)
2. Internet website, <http://www.necmt.ctc.com/>, Aluminum Alloy 2519 Material Evaluation for the Advanced Amphibious Assault Vehicle.