알루미늄-리튬합금의 조직 및 기계적성질에 미치는 Ag 첨가의 영향

(The Effects of Ag Addition on the Structure and Mechanical Properties of Aluminium-Lithium Alloys)

한국과학기술연구원 금속연구부 *신현식 정영훈 신명철
성균관대학교 재료공학과 장현구

1) 서론: Al-Li계 합금은 비강도가 크고 탄성계수가 높아 차세대 항공기 구조용 소재로 현재 사용되고 있는 2000계열 및 7000계열합금을 대체하고자 하는 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히 비강도를 높여 보다 성능이 향상된 새로운 합금을 개발하고자 하는 연구는 가장 핵심이 되는 연구과제로 되어 있다. 최근에 개발된 대표적인 합금으로는 Martin Marietta Lab.에서 개발한 Weldalite 049합금을 들 수 있다. 이 합금은 강도가 700 MPa 이상으로 높고 용접성이 우수하여 지금까지 알려진 합금중 실용화에 가장 접근한 합금으로 평가되고 있다. 또한 이들 합금의 주 강화원인은 Cu함량이 높고(> 4 wt. %) 미량첨가원소인 Ag과 Mg이 핵생성을 조장하기 때문이며 주강화상은 δ′ (Al_3Li) 보다는 T_1(Al_2CuLi)상이라고 보고하였다. 현재 진행되고 있는 Al-Li계합금의 연구에 있어서 강화석출물인 δ′ , T_1 및 S′ (Al_2CuMg)석출상등의 형성에 많은 관심이 집중되어 있으며 미량합금원소의 첨가에 의한 이들 석출상의 조절 및 열처리방법등에 대하여 연구가 진행중에 있다. 특히 Al-Li계 합금에 있어서 강도향상에 따른 신율의 저하현상을 보완하기 위하여 석출상의 크기나 분포, 결정립크기의 조절 등이 많이 시도되고 있다.

본 연구에서는 지금까지 가장 널리 알려진 Al-Li계합금인 2090(Al-Li-Cu계)합금과 CP 276(Al-Li-Cu-Mg계)합금에 Ag을 미량으로 첨가하여 이들 합금원소가 결정립도, 석출상 및 인장강도에 미치는 영향을 조사하였다.

2) 실험방법: 본 연구에서 Al-Li계 합금은 진공유도용해로를 이용하여 Ar gas 분위기에서 용해 주조 하였다.용해주조용 시료는 고순도의 Al(99.99%)과 Li(99.9%)이 사용되었으며 Li, Mg, Ag은 순금속으로 첨가하였다. 용해시에 산화, 휘발성이 강한 Li과 Mg은 용해말기에 첨가하였다. 주조용 도가니는 1Kg용량의 고순도 흑연도가니를 사용하였으며 용해온도는 첨가되는 합금원소에 따라 750~980 ℃로 유지하였다. 용탕은 50 mm x 50 mm x 120 mm인 각형의 주철 mold에 주조하였다. 주조후에는 billet을 길이방향으로 절단하여 주조조직의 내부결함을 조사한 후 미세편석 및 잔류응력을 제거시키기 위하여 균질처리를 수행하였다. 균질처리 전에 압연된 시료에 대한 DSC(Differential Scanning Calorimetry)시험으로 NEM(Non-equilibrium melting)발생온도를 측정하여 각 합금에 대한 균질처리조건을 조사하였다.

압연은 470 ℃에서 1시간 예열한 후 2 mm 두께로 열간압연하였다. 압연비는 1 pass당 5~10 % 정도였으며 매 4 회마다 10 분씩 재 가열하여 3회씩 압연하였다. 제조된 합금의 용체화처리 온도는 압연재의 DSC 실험결과로 부터 결정하였으며 본 실험에서는 NEM 온도와 시료의 두께를 감안하여 530 ℃, 1.5 시간을 용체화처리 조건으로 정하였다.

조직은 Keller시약으로 부식시켜 광학현미경으로 관찰하였으며 석출상은 투과전자현미경(TEM)을 사용하여 관찰하였다. TEM관찰용 시편은 열처리 후 600, 1000, 1200번 SiC 연마지를 사용하여 약 50~100 μm 두께로 연마하였다. 연마 후에는 punch를 사용하여 직경 3 mm의 disc를 만들었다. 제작된 disc는 jet electropolisher를 사용하여 적절한 조건에서 dimple을 형성시켰다. 이때 사용된 전해연마액은 methanol에 약 30 %의 HNO_3을 혼합한 용액을 사용하였으며 액의 온도는 dry ice를 첨가하여 - 30 ℃ 이하를 유지하도록 하였다. 이와같은 과정을 통하여 만들어진 시편을 TEM에 설치하여 200 Kev, 5만배의 배율에서 석출상을 관찰하였다.

경도는 Rockwell B scale로 측정하였으며 시편은 경도측정 전에 탈 Li층을 0.4 mm 정도 연마하였다. 인장시험은 Instron(model 1127, load cell 10 ton, test speed 2 mm/min)을 사용하여 수행하였다.

3) 실험결과 및 고찰:

(1) 2090합금에 소량(약 0.18 %) 의 Ag을 첨가하여 결정립미세화 효과가 있었으며 균일하고 미세한 δ' 및 T_1 석출상의 생성을 도모할 수 있었다. 그러나 CP 276합금에서는 결정립미세화 효과는 있었으나 δ' 석출상은 큰 변화가 없었으며 T_1 석출상은 약간 조대한 모습을 나타내었다.

(2) 2090합금에 Ag이 첨가됨으로써 인장강도값 및 경도값이 향상되었으며 연신율은 약간 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 CP 276합금에 Ag을 첨가하였을 경우에 인장강도, 연신율 및 경도값에 변화가 없었다.

(3) 2090합금에 비하여 CP 276합금의 강도값이 크게 향상된 이유는 T_1석출상과 Mg첨가에 의하여 생성된 S′ 석출상이 함께 강도향상에 기여하였기 때문으로 판단된다.

(4) Ag이 첨가된 2090합금과 CP 276합금의 경도분포는 88~92 H_RB의 높은 값을 나타내었으며 150 ℃에서 시효처리하였을 경우 70 또는 90시간의 영역에서 최대경도값을 나타내었다.

인용문헌

1. T. H. Sanders, Jr., The 1st International Aluminium-Lithium Conference Proceedings, (ed) T. H. Sanders, Jr. and E. A. Starke, Jr., Atlanta, Georgia, May, 63(1980)
2. J. R. Pickens, F. H. Heuban and T. S. Langan, Proc. Airframe Material Symposium, National Research Council of Canada, July, 3(1991)
3. J. D. Huang and A. J. Ardell, Acta Met. Vol.36, 2995(1988)
4. W. T. Tack, F. H. Heubaum and J. R. Pickens, Scripta Metallurgica et Materialia, Vol.24, 1685(1990)
5. D. Buttinelli, F. Felli, C. Lupi and F. Marani, The 6th International Aluminium-Lithium Conference Proceedings, (ed) M. Peters and P. J. Winkler, Garmisch-Partenkirchen(FRG), 433(1991)