

《論 文》

열분석법에 의한 Al-2.1Li-2.9Cu합금의 석출현상(II)

— 시호거동 —

朴太遠

국방과학연구소

The Precipitation Phenomena of Al-2.1Li-2.9Cu alloy by
Differential Scanning Calorimetry(II) — Aging behaviors —

Tae-Won Park

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

ABSTRACT

A study was performed to examine the aging behaviors of Al-2.1Li-2.9Cu alloy by differential scanning calorimetry and transmission electron microscopy. DSC measurements were conducted over the temperature range of 25~550 °C at a heating rate of 5 °C/min. for the specimens aged at 130, 160, 190 °C and 220 °C for various times after solution treatment at 540 °C for 30 minutes.

The peaks due to the formation of G.P. zone were not detected in the specimens aged at 130 and 160 °C, but those at 190 and 220 °C appeared in DSC curves. The heat absorption due to the dissolution of δ' phase was increased with increasing aging time at 130 °C aging. In contrast, those values for the specimens aged at 160 and 190 °C were initially increased and inversely decreased at the transition time of 72 and 1 hour, respectively. The heat evolution due to the formation of T_1 phase was nearly unchanged at 130 °C aging, but at 160 °C and 190 °C aging, drastically decreased after the transition time. It can be considered that the increase of T_1 phase results in the decrease of δ' phase when aging time is longer than the transition time. The hardness of the specimen aged at 190 °C is initially higher compared with that at 160 °C, however, the peak hardness shows the lower value than that at 160 °C.

1. 서 론

운송기기, 특히 우주 항공기에서 중량 경감은 성능 향상 및 에너지 절약 측면에서 가장 유리한 수단이다. Al에 첨가 가능한 많은 원소들 중에서 Li은 Al의 밀도를 현저히 낮춤($\sim 3\%/wt\%Li$)과 동시에 탄성계수를 크게 증가($\sim 6\%/wt\%Li$)시키는 특성을 갖는 유일한 원소이다¹⁾. 그 결과 Al합금 관련 연구

역사 이래 Li을 첨가원소로 하는 합금개발과 산업화를 위한 최대의 노력이 경주되고 있다. 1980년대 중반에 AA2090, AA2091, AA8090, AA8091 그리고 CP276합금 등이 개발되어 이들 합금의 대량 생산체제와 아울러 상업화에 심혈을 기울이고 있다.

이중 AA2090합금은 기존의 고강도 Al합금인 7075-T6재를 대체하기 위해 개발된 합금으로써 Li 외에 Cu와 Zr을 함유하고 있다. Al-Li 2원계에서

는 주 석출상이 δ' 상이지만 Al-Li-Cu-Zr계인 AA2090에서는 δ' 상(Al_3Li) 이외에 T_1 상(Al_2CuLi)과 θ' 상(Al_2Cu) 그리고 β' 상(Al_3Zr) 등이 동시에 석출하는 것으로 알려져 있다²⁾. 규칙적자구조인 δ' 상은 강도에 크게 기여하나 전위가 일단 δ' 상을 통과하면 그 부분에서의 δ' 상의 단면적이 감소하여 전위 통과가 용이하여 슬립이 그 면에 집중하게 되어 용력집중이 일어나 파괴된다. 그러나 다른 석출상이 δ' 상과 공존함으로써 슬립형태를 변화시켜 기계적성질이 크게 개선된다. 이들 석출상들은 열처리 조건에 따라 그 석출거동이 크게 변화하여, 적절한 시효온도 조건을 선정하는 것은 상당히 중요하다. Sainfort 등³⁾은 STEM(scanning transmission electron microscopy) 분석으로 Al-Li 및 Al-Li-Cu합금의 시효거동을 190°C에서 시효시간을 변화시키면서 조사하였다. Galbrath 등⁴⁾도 190°C 시효시 β' 상에서 핵생성되는 상의 종류 및 그 시효거동을 관찰하였다. Noble 등⁵⁾은 TEM과 경도 측정으로 Al-Li-Cu합금의 석출거동을 40~190°C 범위에서 조사하였다. Tosten 등⁶⁾도 Al-Li-Cu합금을 190°C에서 시효하여 아시효, 피크시효 및 과시효시의 상을 조사하여 열처리에 따른 상의 거동을 조사하였다.

이와 같이 Al-Li-Cu합금에 관한 많은 연구가 행하여져 왔지만, 넓은 시효온도에서의 시간에 따른 시효거동에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 기계적성질이 향상된 새로운 합금개발을 위해서는 열처리 변화에 따른 각 석출상의 거동을 조사하는 것은 상당히 중요하다. 특히, 이 합금계에서 주 강화상인 δ' 상 및 T_1 상의 석출거동 및 열처리에 따른 두상의 양적 변화에 대한 보고는 상당히 중요할 것으로 판단된다. 이러한 면에서 시차주사열분석(differential scanning calometry, DSC)법은 시효조건에 따른 각 석출상의 정량적인 측정에 유용한 수단으로 사용될 수 있다.

본 연구에서는 Al-2.1Li-2.9Cu합금을 용체화처리후 켄칭하여 130~220°C 범위에서 여러 시간 동안 시효한 후 시차주사열분석을 행함으로써 각 시효온도에서의 석출상 거동, 석출상 간의 상관관계 및 160

°C, 190°C 시효에서의 경화거동과 최대 경도를 나타내는 시편의 석출상 거동을 조사하였다.

2. 시료 및 실험 방법

2.1 시료

본 실험에서 사용한 시료의 제조 과정은 Paper(1)⁶⁾과 같다.

2.2 실험 방법

경도측정용 시편은 10L X 10W X 13T(mm)로 절단하였고, DSC분석용 시편은 5.5mm ϕ 의 디스크 형태로 펀칭하여 열처리하였다. 용체화처리는 HNO_3 , NaNO_3 , KNO_3 가 혼합된 염욕로를 사용하여 540°C에서 30분 동안 유지한 후 수냉하였으며, 온도를 균일하게 하기 위해 교반하였다. 수냉 후의 시효처리는 130°C, 160°C, 190°C, 220°C에서 10분~500시간 동안 $\pm 1^\circ\text{C}$ 로 조절된 실리콘욕 중에서 교반하면서 실시하였다.

각 시효온도에서 10분~500시간 동안 시효한 시편에 대한 DSC분석은 듀폰사 제품 model 2100을 사용하였다. 측정 방법은 Paper(1)⁶⁾에서와 동일하다.

160°C 및 190°C에서 여러 시간 동안 시효한 시편에 대해서 경도를 측정하였으며, 시편은 조연마한 다음 MgO분말로 세연마하여 실시하였다. 측정장치는 Wilson사 제품 model Mo-2043의 미소 비커스 경도계를 사용하여 하중 100g, 부하시간 15초로 12회 측정한 후 최대, 최소값은 버리고 10회의 평균을 경도값으로 선정하였다.

190°C 시효에서 최대경도를 나타내는 24시간 시효한 시편에 대해 석출상을 관찰하기 위해 Jeol 200CX 투과전자현미경을 이용하였다. 시편은 연마지에서 약 100 μm 두께까지 연마한 후 지름 3mm로 punching하여 double jet polishig장치를 이용하여 30% HNO_3 + 70% CH_3OH 용액에서 -40°C, 12~20V 전압의 조건으로 박판을 제작하여 160kV의 가

속전압에서 관찰하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 130°C 시효시의 DSC 곡선

Fig. 1은 Al-2.1Li-2.9Cu 합금을 540°C에서 30분간 용체화처리하여 수냉한 시편을 130°C에서 여러 시간 시효한 후 DSC분석한 결과이다.

Paper(I)⁶⁾에서 540°C에서 용체화처리하여 수냉한 시편을 DSC분석한 경우에 저온으로부터 3개의 발열반응과 3개의 흡열반응이 나타났으며, 이들은 저온으로부터 G.P. zone의 생성 및 재고용, δ' 상의 생성 및 재고용, T_1 상의 생성 및 재고용에 의한 것임을 보고하였다.

130°C에서 시효한 경우를 수냉한 상태의 DSC곡선과 비교해 보면, 먼저 10분 시효한 경우, 시효에 의해 생성된 GP zone 및 δ' 상이 DSC가열 측정 중에 용해되어 흡열을 나타낸다. T_1 상의 생성에 의한 발열반응은 DSC가열 측정 중에 계속 나타난다. 시효시간이 증가하여 90시간 이상에서는 G.P. zone의 용해에 의한 흡열은 보이지 않고, δ' 상의 재고용에 의한 흡열은 저온으로 이동한다. 그러나 T_1 상의 생성에 의한 발열반응은 500시간 시효에서도 곡선상에서는 거의 변화가 없다.

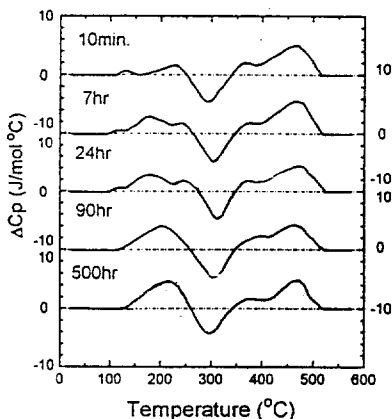


Fig. 1 DSC curve of Al-2.1Li-2.9Cu alloy quenched from 540°C and aged for various times at 130°C. Heating rate : 5°C/min.

G.P. zone의 재고용에 의한 흡열반응이 24시간까지만 나타나고, 이후에 나타나지 않는 것은, Paper(I)⁶⁾에서 살펴본 바와 같이 승온가열시 G.P. zone의 생성 온도범위는 36~78°C, 재고용 온도범위는 78~140°C이기 때문에 130°C에서 시효할 경우 초기에는 G.P. zone이 생성되어, DSC가열 측정시 흡열반응을 나타내지만, 장시간 시효하면 초기에 생성된 G.P. zone이 시효온도에서 재고용하기 때문에 DSC가열 측정 중에 흡열이 나타나지 않은 것으로 판단된다.

δ' 상의 재고용에 의해 나타나는 흡열반응이 7hr, 24hr의 시효에서는 2개의 봉우리를 나타내는데 이 2개의 봉우리 중 고온에서 나타나는 것은 δ' 상의 재고용에 의한 것임을 이미 언급하였다. Paper(I)⁶⁾에서 조사한 바에 의하면 켈칭한 시편을 DSC장치에서 승온가열할 경우에는 θ' 상이 관찰되지 않았지만, 160°C에서 시효할 경우에는 θ' 상이 관찰되었다. 따라서 130°C시효한 후에 약 170°C부근에서 피크를 나타내는 이 흡열은 θ' 상의 재고용에 의한 것으로 판단된다. 그러나 시간이 증가함에 따라 1개의 곡선으로 보이는 것은 θ' 상이 성장하여 더욱 안정화됨으로써 피크가 고온으로 이동하여 δ' 상의 재고용에 의한 흡열과 합쳐지기 때문인 것으로 판단된다.

T_1 상의 생성에 의한 발열의 크기가 500시간 까지도 변화가 없는 것은 130°C시효에서는 T_1 상이 거의 생성되지 않거나 생성이 아주 느린 것을 의미한다.

이 ΔC_p vs T 곡선의 어떤 온도범위에서 일어나는 피크 아래의 면적은 반응과 관련되어 생성되는 열량과 대응된다. 열량은 석출물의 생성 또는 재고용과 연관되어 나타나는 반응열량이다. 따라서 어떤 석출물에 대한 반응열량, ΔH , 는 생성되거나 재고용되는 석출물의 부피분율과 비례하며 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta H = \frac{\Delta H_p}{MW_p} \frac{\rho_p}{\rho_s} V_f$$

여기에서

- ΔH_p = 석출물의 몰열 (molar heat)
- MW_p = 석출물의 분자량 (molecular weight)
- ρ_p = 석출물의 밀도
- ρ_s = 시료의 밀도
- Vf = 석출물의 부피분율

Fig. 2은 Fig. 1에서 관찰한 δ' 상의 용해에 의한 흡열반응과 T_1 상의 생성에 의한 발열반응의 열량변화를 시효시간의 함수로 나타낸 것이다. Fig.에서 보는 바와 같이 δ' 상의 용해에 의한 흡열반응은 500시간의 시효까지도 계속 증가하나 T_1 상의 생성에 의한 발열반응은 90시간 이후에 약간 감소한다. 이로부터 130°C 시효에서는 500시간의 시효까지 δ' 상의 석출은 계속 진행되고, T_1 상은 90시간 이후에 약간 생성되는 것으로 추측할 수 있다.

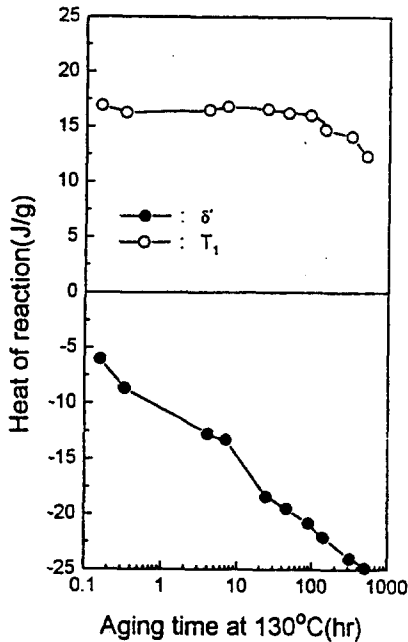


Fig. 2 Reaction heat for δ' dissolution and T_1 formation of Al-2.1Li-2.9Cu alloy quenched from 540°C and aged for various times at 130°C.

3.2 160°C 시효시의 DSC곡선

Fig. 3은 160°C에서 여러 시간 시효한 시편에 대해 DSC분석한 결과이다. 130°C 시효에서의 DSC곡

선과 비교해 보면, 시효 초기에는 130°C 때와 마찬가지로 G.P. zone의 재고용에 의한 흡열이 관찰되며, 장시간(240시간)의 시효 후에는 이 흡열이 사라진다. δ' 상의 재고용에 의한 흡열량은 72시간까지는 증가하나 이후에는 감소한다. 그리고 T_1 상의 생성에 의한 발열반응은 130°C 시효 때보다 시간이 증가함에 따라 감소되는 정도가 빠르다.

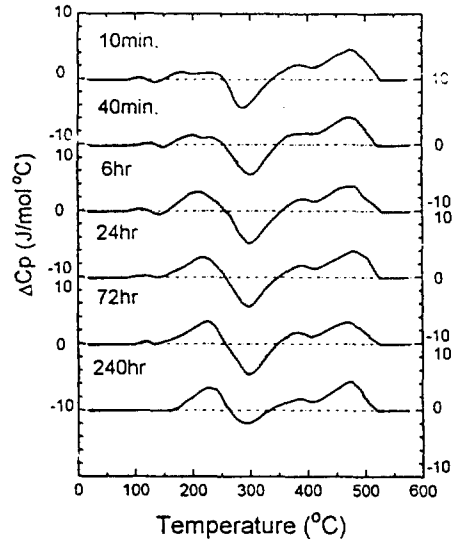


Fig. 3 DSC curve of Al-2.1Li-2.9Cu alloy quenched from 540°C and aged for various times at 160°C. Heating rate : 5°C/min.

G.P. zone의 재고용에 의한 흡열반응이 초기에는 나타났으나 시간이 증가할수록 점점 사라지는데, 130°C 시효에서 설명한 바와 같이 초기에 생성된 G.P. zone이 시효온도에서 재고용하기 때문에 DSC가 열 측정 중에 나타나지 않은 것으로 판단된다.

δ' 상의 재고용에 의한 흡열반응도 2개의 봉우리를 나타내는데 130°C 시효 때와 마찬가지로 두 봉우리 중 저온의 봉우리는 θ' 상의 재고용에 의한 것으로 판단되며, 130°C 시효 때보다는 단시간에 합체되어 하나의 봉우리를 나타내며 시간이 증가할수록 피크가 고온으로 이동함을 알 수 있다.

130°C 시효시의 마찬가지로 δ' 상 및 T_1 상에 대해 반응열량을 조사한 결과를 Fig. 4에 나타내었다.

130℃ 시효에서는 500시간까지 δ' 상의 용해에 의한 흡열량이 증가하였지만, 160℃ 시효에서는 72시간까지는 비슷한 경향을 나타내다가 이후는 감소한다. T_1 상의 생성에 의한 발열량은 역시 72시간까지는 거의 변화가 없다가 이후에는 급격히 감소한다. 이 경향은 130℃와 비슷하지만 더욱 짧은 시간에서 T_1 상의 발열량이 감소하며 그 감소 정도의 기울기가 크다. 이 Fig.에서 δ' 상의 흡열량이 감소하는 시간과 T_1 상의 발열량이 감소하는 시간이 일치한다. 즉 이것은 시효에 의해 생성되는 δ' 상의 양이 감소되는 시간과 T_1 상의 양이 증가하는 시간이 일치함을 의미한다. 이로 보아 160℃ 시효시 72시간 이후에는 T_1 상의 석출이 촉진되어 T_1 상의 부피분율은 증가하고 δ' 상의 부피분율은 작아지는 것으로 판단된다.

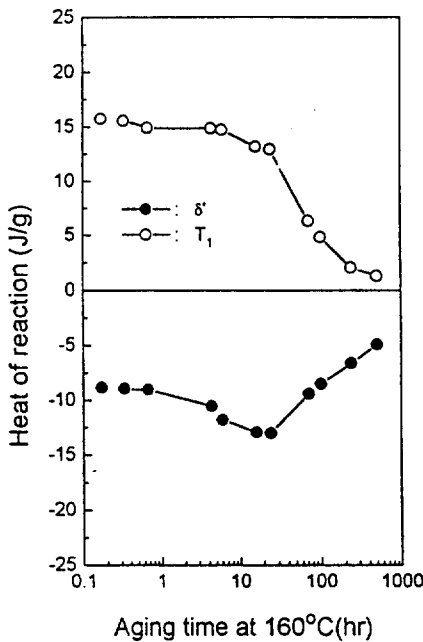


Fig. 4 Reaction heat for δ' dissolution and T_1 formation of Al-2.1Li-2.9Cu alloy quenched from 540℃ and aged for various times at 160℃.

3.3 190℃ 시효시의 DSC곡선

Fig. 5는 190℃에서 여러 시간 시효한 시편에 대해 DSC분석한 결과이다. 130℃, 160℃ 시효 때와

는 달리 G.P. zone의 생성에 의한 발열이 100시간 이후에도 계속 관찰되며, δ' 상의 생성에 의한 발열 반응도 3시간 까지는 관찰된다. T_1 상의 생성에 의한 발열반응은 3시간 까지는 관찰되지만, 이후는 관찰되지 않고 고온의 흡열반응 만이 관찰된다. 130℃, 160℃ 시효에서는 시효로 생성된 G.P. zone이 DSC측정 중에 용해되어 흡열을 나타내었으나, 190℃ 시효에서 발열이 나타난 것은, Paper(I)⁶에서 조사한 바와 같이 G.P. zone의 생성 온도범위 및 용해 온도범위가 각각 36~78℃ 및 78℃~140℃이기 때문에 시효온도가 높아 G.P. zone의 핵생성 및 성장이 불가능할 것으로 판단된다. 그리하여 시효 후에 일부 고용화 상태로 존재하던 용질원자가 DSC가열 측정 중에 생성 및 용해되어 발열과 흡열을 나타내는 것으로 판단된다.

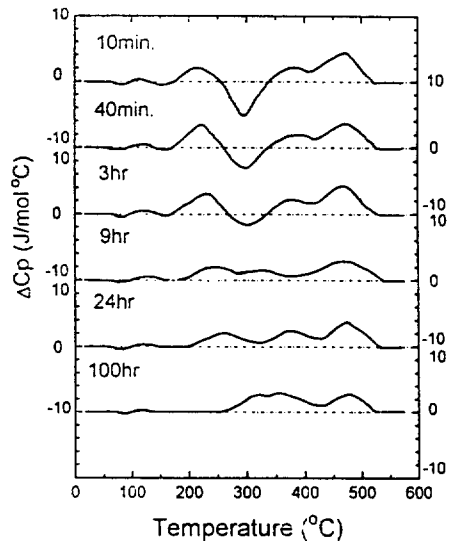


Fig. 5 DSC curve of Al-2.1Li-2.9Cu alloy quenched from 540℃ and aged for various times at 190℃. Heating rate:5℃/min.

δ' 상도 시효로 일부 생성되었으나 DSC곡선에서 작은 발열을 나타낸 것도 역시 190℃가 δ' 상의 용해온도에 근접하기 때문에 상의 생성이 느린 것으로 판단되며, G.P. zone의 경우와 마찬가지로 시효 후에 일부 고용화 상태로 존재하는 용질원자가 DSC가

열 중에 석출하여 생성된 것으로 판단된다. 반면에 T_1 상의 석출은 상당히 빨라 발열피크가 단시간 내에 사라져, 9시간 시효한 곡선에는 흡열피크만이 관찰되며, 24시간 시효에서는 δ' 상의 용해에 의한 흡열이 고온으로 이동하여 T_1 상의 용해에 의한 흡열과 일부 겹쳐지며 100시간의 시효에서는 더욱 고온으로 이동한다. 이것은 시효시간이 증가함에 따라 δ' 상의 성장으로 인하여 고온에서 용해됨으로써 흡열피크가 고온으로 이동하는 것으로 판단된다. 이상으로 보아 190°C 시효에서는 G.P. zone이 생성되지 않으며, 130°C, 160°C 시효 때보다 δ' 상의 생성은 느리고 T_1 상의 생성은 빠름을 알 수 있다.

Fig. 6은 Fig. 5의 곡선에서 구한 시효시간에 따른 δ' 상의 재고용에 의한 흡열량과 T_1 상의 생성에 의한 발열량을 나타낸 것이다. 여기서도 δ' 상의 재고용에 대한 흡열량이 감소하는 시간과 T_1 상의 생성에 의한 발열량이 감소하는 시간이 일치하는 것으로 보아, 160°C 시효시와 마찬가지로 1시간 이후에는 T_1 상의 생성이 촉진되어 δ' 상의 부피분율이 작아지는 것으로 판단된다.

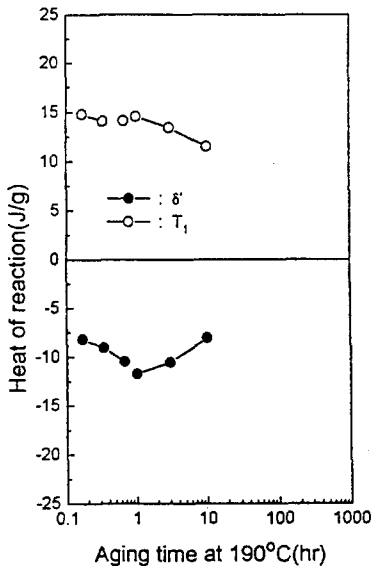


Fig. 6 Reaction heat for δ' dissolution and T_1 formation of Al-2.1Li-2.9Cu alloy quenched from 540°C and aged for various times at 190°C.

3.4 220°C 시효시의 DSC곡선

Fig. 7은 220°C에서 여러 시간 시효한 후 DSC 분석한 곡선이다. 여기서도 190°C 시효에서와 마찬가지로 G.P. zone의 생성과 재고용에 의한 발열과 흡열 피크가 계속 관찰된다. δ' 상 및 T_1 상의 생성에 의한 발열 모두 40분 시효까지 관찰되나 이후는 사라진다. G.P. zone과 관련된 발열과 흡열피크가 관찰되고, δ' 상 생성에 의한 발열피크가 관찰되는 것은 190°C 시효 곡선에서 설명한 바와 같이 220°C에서는 이들 상의 생성이 어려워 DSC가열 측정 중 생성되어 발열을 나타내기 때문이다. 3시간 시효한 경우 190°C, 24간 시효 때와 비슷한 3개의 봉우리를 가진 흡열반응이 관찰되는데 이것도 역시 δ' 상의 성장으로 인하여 δ' 상의 용해에 의한 흡열반응이 고온으로 이동하기 때문이며, 9시간의 경우에는 더욱 고온으로 이동하여 흡열반응의 앞쪽 봉우리가 커져 있다. 220°C의 경우에는 δ' 상의 용해에 의한 흡열피크와 T_1 상의 생성에 의한 발열피크가 단시간 시효로 사라졌기 때문에 열량을 측정하지 않았다.

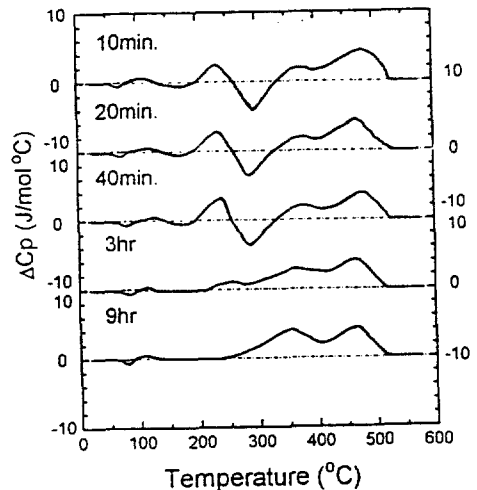


Fig. 7 DSC curve of Al-2.1Li-2.9Cu alloy quenched from 540°C and aged for various times at 220°C. Heating rate: 5°C/min.

3.6 시효경화곡선 및 조직

Fig. 8은 Al-2.1Li-2.9Cu 합금을 540°C에서 30

분간 용체화하여 급냉한 시편을 160℃와 190℃에서 여러 시간 동안 시효한 시효경화곡선이다. 시효 초기에는 190℃시효한 경우가 160℃시효한 경우보다 경도가 높지만 시간이 경과할수록 160℃에서 시효한 경우가 경도상승이 커져 최고 경도는 160℃시효에서 더 높다. 그리고 최고 경도를 나타내는 시간도 160℃와 190℃ 각각 72시간과 24시간으로, 시효온도가 낮을수록 최대 경도는 높고 최대 경도에 도달하는 시간은 길며, 최대 경도를 나타낸 후에는 경도가 급속히 감소한다.

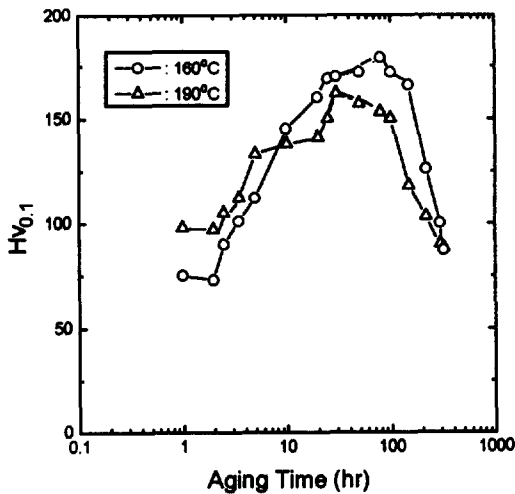


Fig. 8 Age hardening curve of Al-2.1Li-2.9Cu alloy quenched from 540℃ and aged at 190℃.

190℃시효시 160℃시효시보다 초기 경도가 높은 것은 앞의 열분석 곡선에서 나타낸 바와 같이 δ'상은 160℃와 190℃에서 공히 생성되지만, T₁상의 석출은 190℃시효에서 더욱 빠르기 때문에 조기 생성된 T₁상이 경화에 기여하기 때문인 것으로 판단된다. 시효시간이 경과함에 따라 190℃시효시에 경도 상승이 적은 것은 160℃보다 석출상이 빨리 조대화 되기 때문인 것으로 판단된다.

최대 경도를 나타낸 160℃, 72시간과 190℃, 24시간 시효에 대해 열분석 곡선을 비교해 보면(Fig.

3, Fig. 5), 160℃, 72시간 시효에서는 δ'상의 용해에 의한 흡열이 상당량 관찰되며 T₁상의 생성에 의한 발열은 계속 나타나지만, 190℃, 24시간의 경우는 δ'상의 용해에 의한 흡열은 관찰되나 T₁상의 생성에 의한 발열은 나타나지 않는다. 160℃시효에서 δ'상의 용해에 의한 흡열량이 많은 것은 시효에 의해 이상이 많이 생성되었음을, 190℃시효에서 흡열량이 적은 것은 시효로 생성된 δ'상의 양이 적다는 것을 의미한다. 역시 160℃시효에서 T₁상의 생성에 의한 발열이 계속 나타나는 것은 생성된 T₁상의 양은 작다는 것을 의미하고, 190℃시효에서 T₁상의 생성에 의한 발열이 나타나지 않은 것은 시효로 T₁상이 많이 생성되었기 때문이다. 이로보아 160℃시효에서 최대 경도를 나타내는 조직에는 δ'상의 양이 많고 T₁상의 양은 적으며, 190℃시효에서는 160℃때보다 δ'상의 양이 적고 T₁상의 양은 많은 것으로 추측할 수 있다.

그리고 각 반응에서 피크온도는 석출상이 가장 활발히 용해되는 온도를 나타낸다. 이 피크온도는 보통 시효온도에 의존하는데 시효온도가 높을수록 피크온도가 고온으로 이동한다. 이것은 석출물의 크기가 클수록 안정성이 증대되며 고온에서 흡열피크가 나타난다. 160℃, 72시간(Fig. 3)과 190℃, 24시간 시효(Fig. 5)한 시편의 열분석 곡선에서 각각 225℃와 260℃정도에서 피크를 나타낸다. 이로보아 160℃시효시의 δ'상의 크기는 190℃시효보다 작은 것으로 판단할 수 있으며 크기가 작기 때문에 경화에 크게 기여할 것으로 판단된다.

Photo. 1은 Al-2.1Li-2.9Cu합금을 540℃에서 30분간 용체화처리하여 급냉한 시편을 190℃에서 24시간동안 시효하여 최대 경도를 나타낼 때의 투과전자현미경 조직을 나타낸 것이다. (a)는 [100] zone axis에서 관찰한 것으로 구형의 δ'상과 판형의 θ'상 그리고 β'(Al₃Zr)상의 암시야상을 나타내었다. (b)는 [110] zone axis에서의 T₁상의 암시야상을 나타낸 것이다. 160℃에서 최고 경도를 나타낸 조직인 Paper(I)⁹⁾의 Photo. 4 조직과 비교할 때

δ' 상은 성장하였고 양은 감소되었으며 이것은 열분석 곡선에서 예상한 결과와 일치한다. 160℃에서 관찰되었던 θ' 상이 190℃ 시효에서도 역시 관찰된다. T_1 상도 역시 160℃ 때보다는 상당히 성장하였다.

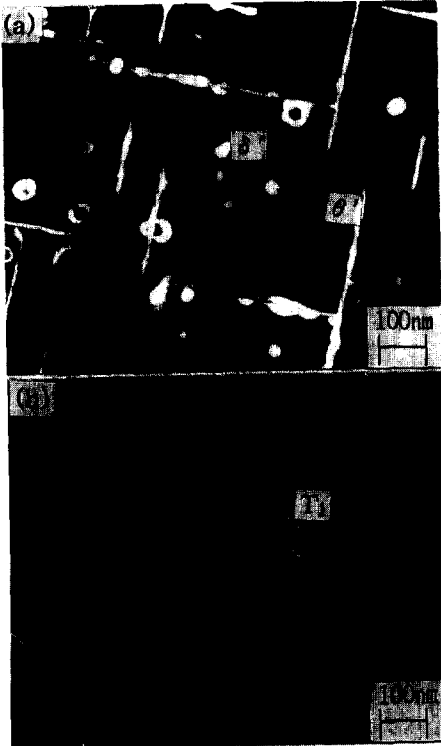


Photo. 1 TEM micrographs showing (a) δ' (and θ') and (b) T_1 phases in Al-2.1Li-2.9Cu alloy quenched from 540℃ and aged for 24hour at 190℃.

4. 결 론

DSC 분석을 통하여 Al-2.1Li-2.9Cu 합금의 130℃~220℃ 범위에서의 석출과 시효경화 현상을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 130℃ 시효에서는 500시간 시효까지 δ' 상의 양은 증가하고, T_1 상은 이후에 약간 생성하기 시작하며, 160℃, 190℃ 시효에서는 각각 72시간과 1시간 이후에 δ' 상의 양은 감소하고, T_1 상의 양

은 증가하였다. 220℃에서는 3시간의 시효로 T_1 상의 생성에 의한 발열이 사라졌다.

- 2) G.P. zone은 130℃ 시효로 생성되었으나, 160℃ 이상의 시효에서는 생성되지 않고 DSC 측정시 생성되어 발열피크를 나타내었다.
- 3) δ' 상은 160℃ 이상의 시효에서는 DSC 곡선에서 발열피크로 나타나는 것으로 보아 160℃ 이상에서는 온도가 올라갈수록 생성이 느려지는 것으로 판단된다.
- 4) 160℃와 190℃ 시효 초기에 190℃ 시효에서 경도가 더 높은 것은 160℃에서는 δ' 상만이 생성되지만, 190℃에서는 δ' 상과 T_1 상이 공히 생성되기 때문으로 판단된다. 시효시간이 경과함에 따라 190℃에서 경도 상승이 적은 것은 160℃보다 석출상이 빨리 조대화되기 때문인 것으로 판단된다.
- 5) 160℃ 시효에서 최대 경도를 나타내는 조직에는 δ' 상의 양이 많고 T_1 상의 양은 적으며, 190℃ 시효에서는 160℃ 때보다 δ' 상의 양이 적고 T_1 상의 양은 많으며 조대하다.

참고문헌

- 1) B. Noble, S.J. Harris and K. Dinsdale: J. Mater. Sci., 1982, vol.17, p.461.
- 2) B. Noble, and G.E. Thompson: Met. Sci. J., 1972, vol.6, pp.167~174.
- 3) P. Sainfort, P. Guyot: Philosophical Magazine A, 1985, vol.51, no.4, pp.575~588.
- 4) J.M. Galbraith, M.H. Hosten, P.R. Howell: J. Mater. Sci., 1987, vol.22, pp.27~36.
- 5) M.H. Tosten, A.K. Vasudevan, P.R. Howell: Aluminum-Lithium Alloys III, (edited by C. Baker et.al), pp.483~489.
- 6) 박태원 : 한국열처리공학회지, vol.9, no.4 December, 1996, pp.175~183.