

# Al-Si-Mg-Cu-Ge 필러합금으로 진공브레이징한 6061알루미늄합금의 미세조직과 접합강도

Microstructure and bonding strength of vacuum brazed 6061 aluminium alloy with Al-Si-Mg-Cu-Ge filler alloy

이 태 원\* · 이 지 환\*\* · 김 종 훈\*\*

\*인하대학교 공과대학 금속공학과

\*항공재료연구센터 겸직

\*\*한국생산기술연구원

## 1. 서론

알루미늄합금은 강도가 높고 내식성 및 가공성이 양호하여 건축자재, 각종 전기·전자부품류, 자동차 및 산업용기기등의 많은 분야에 사용되고 있으며 그 사용량이 증가추세에 있다. 알루미늄합금의 접합은 기계적결합, 용접 및 브레이징<sup>1)</sup> 등이 있다. 이중에서도 브레이징은 복잡한 형상의 부품을 변형없이 접합하는 것이 가능하며 접합부의 기밀성이 매우 양호하여 알루미늄합금의 접합에 많이 사용되고 있다.<sup>2)</sup> 브레이징을 이용한 알루미늄합금의 접합은 라지에타, 콘덴서등 열교환을 목적으로하는 복잡한 형상의 제품접합에 적용되고 있다. 대상합금으로는 열전도성이 우수하고 용융점이 높아 비교적 브레이징이 쉬운 1000계와 3000계의 알루미늄합금에 적용되고 있다.<sup>3~7)</sup> 최근 제품의 경량화 및 소형화를 목적으로 구조재료에 사용되고 있는 고강도 알루미늄합금(5000계, 6000계...)에 대한 브레이징의 필요성이 요구되고 있다. 따라서, 본 연구에서는 Al-12Si-1Mg-5Cu-xGe(x=0, 10, 20)의 조성에 게르마늄의 첨가량을 달리하여 필러합금을 제조한 후 6061알루미늄합금간의 진공브레이징시 브레이징온도에 따른 필러합금의 젖음성, 접합강도 및 접합부의 미세조직 변화를 조사하여 모재강도에 필적하는 접합강도를 얻는데 그 목적이 있다.

## 2. 실험방법

브레이징 모재로는 고강도재료인 6xxx계(Al-Si-Mg)의 6061알루미늄합금을 사용하였다. 브레이징에 사용한 필러는 알루미늄계 합금으로서 Al-12Si-1Mg-5Cu(wt.%)를 기본합금으로 하여 Ge의 함량을 0, 10, 20wt.%로 달리 첨가하여 고주파유도로를 이용하여 불활성 분위기에서 용해하였다. 브레이징은 직경 10mm, 두께 100 $\mu$ m인 필러합금을  $\phi$  10 $\times$ 50mm의 6061알루미늄합금모재 사이에 삽입한 후 1MPa의 가압하에서 실시하였다. 브레이징 조건은  $5 \times 10^{-4}$  torr의 진공하에서 온도를 530~570 $^{\circ}$ C로 달리하여 1시간 유지한 후 로냉하였으며, 동일한 조건에서 접합모재에 대한 필러합금의 젖음성을 관찰하였다. 인장시험은 브레이징한 시험편을  $T_6$ 열처리(520 $^{\circ}$ C, 1hr + 175 $^{\circ}$ C, 8hr)한 후 실시하였다. 미세조직은 광학현미경과 주사전자현미경을 이용하여 관찰하였으며, WDX를 이용하여 접합단면에 대한 성분분포를 조사하였다.

## 3. 결과 및 고찰

브레이징에 사용한 필러합금은 Al-12Si-1Mg-5Cu-xGe(x=0, 10, 20wt.%)으로서 게르마늄을 첨가하지 않은 필러합금의 액상선온도는 572 $^{\circ}$ C이며, 게르마늄의 함량이 10%, 20%인 필러합금의 액상선온도는 각각 558 $^{\circ}$ C와 541 $^{\circ}$ C를 나타냈다. 그림 1은 접합모재

인 6061알루미늄합금위에 각 조성의 필러합금을 올려놓고 접합조건과 동일한 조건에서 온도를 달리하여 가열한 후 필러합금의 젖음성을 관찰한 것으로서 게르마늄을 첨가하지 않은 조성은 560~570°C의 온도범위에서 필러합금의 용융이 관찰되지 않았으나, 게르마늄을 10% 첨가한 경우는 570°C, 게르마늄을 20% 첨가한 경우는 550~570°C의 브레이징 온도영역에서 접합모재에 대한 젖음성이 우수하였다. 그림 2는 Al-12Si-1Mg-5Cu-20Ge조성의 필러합금으로 온도를 달리하여 브레이징한 시료의 접합단면을 관찰한 것으로 접합온도가 550°C와 540°C인 경우는 560°C와 570°C에서 관찰되지 않는 상들이 관찰되었으며, 이와같은 상들은 브레이징 온도가 낮을수록 많은양이 관찰되었다. 또한, 접합부의 미세조직은 10%Ge조성의 필러합금으로 접합한 시료도 560~570°C의 온도조건에서는 20%Ge조성의 필러합금으로 접합한 미세조직과 동일하였다. 그림 3은 브레이징 온도의 변화에 따라 접합부에 존재하는 상들의 성분을 조사하기 위하여 주사전자현미경의 WDX를 이용하여 X-ray mapping한 결과로 접합온도가 540°C인 경우는 필러합금에 첨가되었던 단상의 실리콘과 게르마늄이 관찰되었으나, 570°C인 조건에서는 이들 성분이 모재로 확산하여 접합모재와 동등한 수준의 농도를 나타냈다. 그림 4는 각각 10%Ge과 20%Ge조성의 필러합금으로 6061알루미늄합금을 온도를 달리하여 접합한 후 측정된 접합강도값으로 570°C의 접합온도에서 10%Ge과 20%Ge의 필러합금 모두 가장 높은 접합강도값을 얻었으며, 접합온도에 따른 접합강도는 20%Ge조성의 필러합금을 사용한 경우 560~570°C의 접합온도에서 200MPa 이상의 비교적 높은 접합강도를 나타내는 반면 550°C이하의 온도부터 급격하게 감소하였다. 이와같은 접합강도의 감소는 그림 2에서 알 수 있듯이 550°C의 온도부터 접합온도가 낮아질수록 접합부에 단상의 실리콘과 게르마늄이 많이 관찰되고 있어 이와같은 상들은 매우 취성적이기 때문에 접합강도를 저하시키는 원인이라 생각된다. 그림 5와 그림 6은 그림 4의 브레이징 온도에 따른 접합강도의 변화를 보다 자세히 조사하기 위하여 20%Ge조성의 필러합금으로 브레이징한 시료를 인장시험 후 파단면과 파단면 직하의 미세조직을 관찰한 결과이다. 그림 5(a)에서 알 수 있듯이 브레이징 온도가 570°C인 경우는 파단면 전체에서 덤플의 형상이 관찰되어 매우 연성적인 파단상태를 나타냈으나 그림 5(b)의 브레이징 온도가 540°C인 경우는 매우 취성적인 파단상태를 나타내고 있어 접합온도의 감소에 따라 접합부에 존재하는 단상의 실리콘과 게르마늄은 접합강도의 저하와 매우 밀접한 관계가 있으리라 사료된다. 그림 6은 상기의 570°C와 540°C의 온도에서 접합한 시료의 파단면 직하 조직을 관찰한 것으로서 파단은 접합온도에 관계없이 모두 접합부에서 일어났다. 그러나 접합온도가 540°C인 조건에서는 그림 6(b)에서 알 수 있듯이 파단면 직하에서 화살표로 표시한 단상의 실리콘 또는 게르마늄이 많이 관찰되고 있어 이와같은 상들로부터 파단이 시작되어 접합강도가 낮아지는 것이라 판단된다.

#### 4. 후 기

본 연구는 정보통신부 산·학·연 공동기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었기에 이에 감사를 드립니다.

#### 5. 참 고 문 헌

- 1) D. S. Kim : Bull. of the Korea Inst. of Met. & Mater., 8(1995)19
- 2) J. J. Terrill, C. N. Cochran, J. J. Stokes and W. E. Haupin : Welding Journal, 50(1971)833

- 3) P. E. Fortin, W. M. Kellermann, F. N. Smith, C. J. Rogers and M. J. Wheeler : S.A.E. technical paper No. 852228(1986)
- 4) Koichi Maeda, Yasunaga Itoh and Keizo Namba : Sumitomo Light Metal Technical Report, 35(1994)57
- 5) G. J. Marshall, R. K. Bolingbroke, and A. Gray : Metallurgical Transactions A, 24(1993)1935
- 6) J. Liu and T. Worlitz, S.A.E. technical paper No. 950117(1985)
- 7) M. Schwartz, *Brazing : For the Engineering Technologist*, Chapman & Hall, London(1995)103

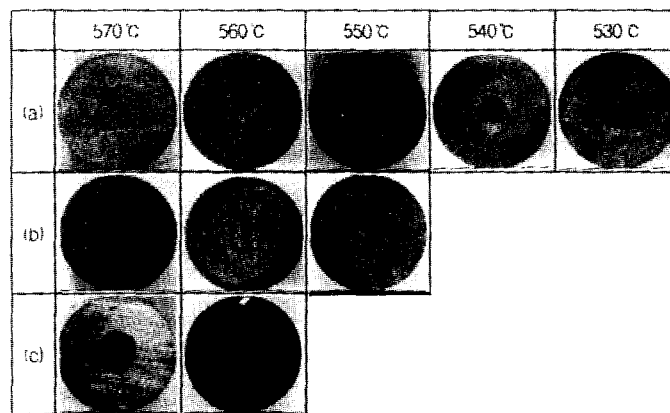


Fig. 1 Wetting behaviors of braze filler alloys for brazing temperatures. (a) Al-12Si-1Mg-5Cu-20Ge, (b) Al-12Si-1Mg-5Cu-10Ge and (c) Al-12Si-1Mg-5Cu.

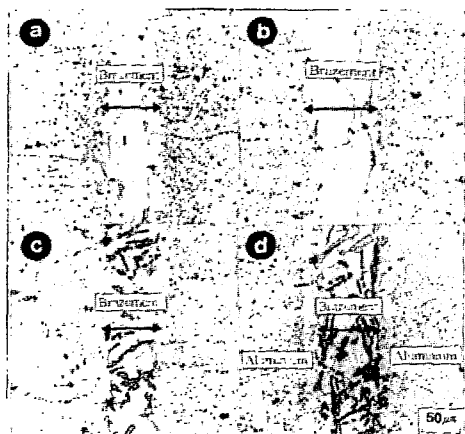


Fig.2 Optical microstructures of 6061Al/6061 Al joint brazed with Al-12Si-1Mg-5Cu-20Ge alloy at 570°C (a), 560°C (b), 550°C (c) and 540°C (d).

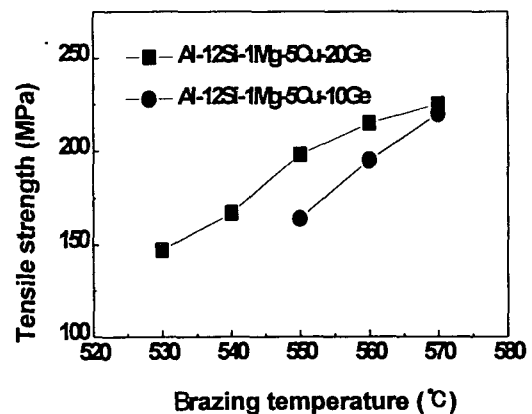


Fig.4 Tensile strength of the braze joint as a function of brazing temperature and braze alloy composition.

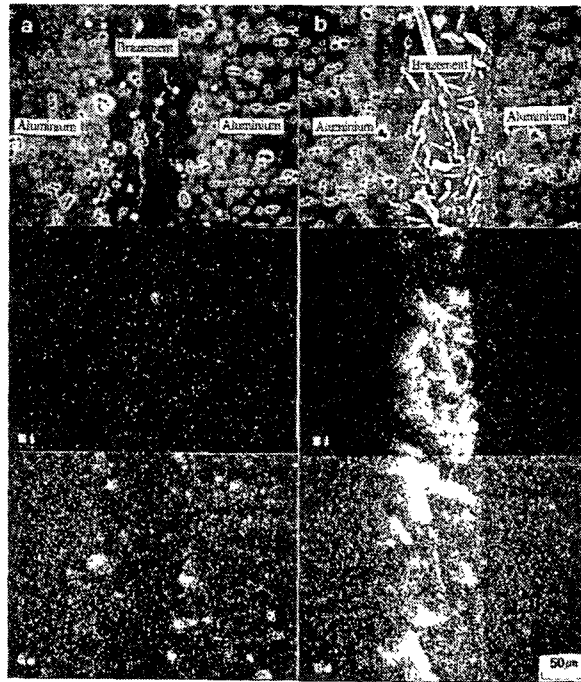


Fig. 3 SEM images and x-ray compositional maps of 6061Al/6061Al joint brazed with Al-12Si-1Mg-5Cu-20Ge alloy at 570°C (a) and 540°C (b).

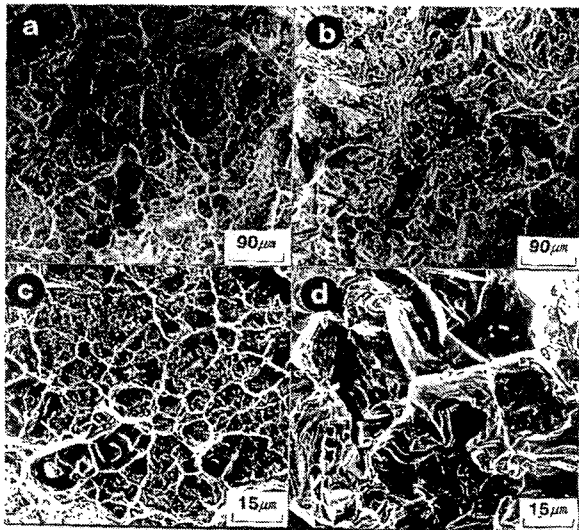


Fig. 5 SEM fractographs of the braze joint specimen.(a)570°C,(b)540°C,(c):enlargement of (a), and (d) : enlargement of (b).

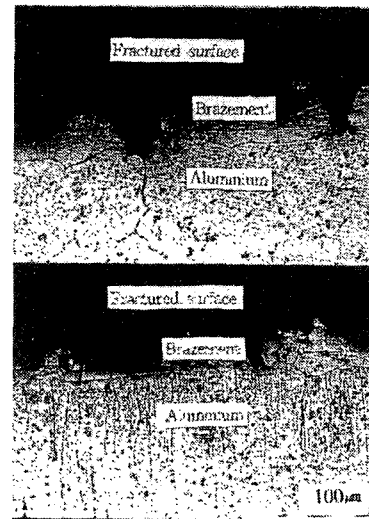


Fig.6 Fracture surfaces of 6061Al/6061Al joint brazed with Al-12Si-1Mg-5Cu-20Ge alloy at 570°C (a) and 540°C (b).