

## Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 SiC 강화재가 첨가된 Al-Cu 기지 복합재료의 소결, 재압축 및 기계적 특성에 관한 연구

박정수 · 이성규 · 안재환 · 정형식

아주대학교 대학원 분자과학기술학과/재료공학과

### Study on the Sintering, Repressing and Mechanical Properties of Al-Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Al-Cu-SiC Composites

Jeongsu Park, Sungkyu Lee, Jaehwan Ahn, and Hyungsik Chung

Department of Molecular Science and Technology/Materials Engineering, Ajou University, Suwon 443-749, Korea

(Received 11 March 2004 ; Accepted form 19 April 2004)

**Abstract** Effects of liquid phase and reinforcing particle morphology on the sintering of Al-6 wt%Cu-10 vol% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> or SiC particles were studied in regards to densification, structure and transverse rupture properties. The Al-Cu liquid phase penetrated the boundaries between the aluminum matrix powders and the interfaces with reinforcing particles as well, indicating a good wettability to the powders. This enhanced the densification during sintering and the resulting strength and ductility. Since most of the copper added, however, was dissolved in the liquid phase and formed a brittle CuAl<sub>2</sub> phase upon cooling rather than alloyed with the aluminum matrix, the strengthening effect by the copper was not fully realized. Reinforcing particles of agglomerate type were found less suitable for the liquid phase sintering than solid type particles. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiC particles produced little difference on the sintering behavior but their size had a large effect. Repressing of the sintered composites increased density and bending properties but caused debonding at the matrix-particle interfaces and also fracturing of the particles.

**Keyword** : Al-Cu base composite, liquid phase sintering, densification, transverse rupture strength, repressing

### 1. 서 론

기존 자동차와 가전제품에는 철계합금이 주로 이용되어 왔다. 그러나 최근 기존 제품의 경량화 및 성능향상을 위해 철계 합금에 비해 비중이 낮은 알루미늄계 합금과 복합재료가 점차 그 용도를 넓혀가고 있다.<sup>1,2)</sup> 이러한 알루미늄 합금의 제조방법은 주조를 기반으로 한 액상법과 분말공정을 이용한 고상법으로 나눌 수 있다. 이중 주조 공정에 비해 분말공정이 가지고 있는 장점으로는 합금조성 조절의 용이함, 강화입자의 고른 분산, 제조공정의 단순함 등을 들 수 있지만 분말간의 양호한 접합과 기지내 잔류기공의 제거를 통한 특성 향상이 매우 중요하다. 특히 철계와 달리 알루미늄계는 알루미늄 분말 표면에 매우 안

정한 산화피막이 존재하며 이는 소결중 환원이 어려워 소결성을 저하시키기 때문에 단련재에 비하여 매우 낮은 기계적 특성을 갖는다.<sup>3)</sup> 특히 강화상 입자를 포함한 복합재료의 경우 기지와 강화상간의 접합이 매우 취약하여 제반 특성이 더욱 저하되는 원인이 된다.

Al 기지 분말 복합재료의 경우 강화상으로 SiC, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, B<sub>4</sub>C, TiC 등의 세라믹 입자들이 활용될 수 있으나 이들 중 SiC와 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 강성이 높고, 화학적 안정성이 높으며 가격도 상대적으로 저렴하여 널리 이용되고 있다.<sup>1)</sup> 그러나 이들 강화상은 기지분말의 소결성을 저하시키고 재압축에 의한 치밀화를 어렵게 한다. 또한 강화상 주변에 기공들이 주로 존재함으로써 하중을 받는 경우 조기 파단을 유발할 수 있어 경우에 따라 기지상 분말 소결체보다 더 낮은 특

성을 나타낼 수 있다. 따라서 Al 기지 분말 복합재료들은 강화상의 효과를 충분히 얻기 위하여 주로 열간 압축이나 열간 압출, 열간 단조 등에 의하여 진밀도를 갖는 중간 소재나 단순형상의 제품으로 제조되어진다.

알루미늄계 혼합분말 합금의 경우 소결 중 액상을 생성할 수 있는 원소분말을 첨가하여 생성된 액상이 모세관력에 의해 기지분말 사이와 기지분말과 강화상간의 계면으로 침투하여 접합력을 향상시켜주고, 잔류기공을 제거시켜 특성을 향상시키도록 하는 액상소결이 널리 활용되고 있다<sup>5,6)</sup>. 입자 강화상을 포함한 복합재료 성형체의 소결에 있어서도 액상소결에 의한 소결특성 향상을 기할 수 있으나 이 경우 모세관력에 의한 액상의 이동이 일어날 때, 강화상은 원래 위치에 남아있어야 하며 액상과 강화상과의 젖음성이 일반적으로 좋지 못하므로 좋은 접합력을 위해서는 강화상을 액상이 둘러쌀 수 있는 초과 액상이 필요하다고 보고 되고 있다<sup>7)</sup>.

Al 분말 성형체의 액상소결을 위해 일반적으로 첨가되는 합금원소로는 Mg, Cu, Zn 등이 있다. Al내 Mg의 최대고용도는 15 wt%, Zn의 최대고용도는 70 wt% 정도가 되므로 Al 기지상에 많은 양이 고용될 수 있어 생성된 액상이 기지상에 고용됨으로 인하여 소멸되는 전이액상 소결(transient liquid phase sintering)이 진행되어 많은 기공을 남기는 단점이 있으나, Cu의 경우는 소결온도에서의 고용도가 낮아(600°C에서 2%이하) 고용한도 이상 첨가될 경우 소결 중 지속적으로 액상이 존재하는 액상소결을 가능하게 한다<sup>8)</sup>. 아울러 이들 원소들을 첨가할 경우 소결 후 시효처리를 통해 석출물을 생성함으로 소결체의 강도 증가를 꾀할 수 있다<sup>9)</sup>. 이와 같은 Al 혼합분말 성형체는 액상소결에 따라 상당한 치수변화가 수반됨으로, 일반적으로 소결후 재압축(repressing)공정에 의하여 치수 정밀도를 맞추고 밀도를 증가시켜 강도 및 피로 특성등을 향상시킨다. 재압축 공정은 상온에서 소결체를 가압하여 제한된 양의 소성변형에 의하여 최종형상과 치밀화를 이룰 수 있고 대량생산이 가능한 장점을 갖고 있다<sup>10)</sup>.

본 연구에서는 Al 기지 분말 복합재료를 제조하기 위해 소결 중 충분한 양의 액상이 지속적으로 존재하도록 Al내 Cu의 최대고용한도인 4 wt%보다 많은 Al-6 wt%Cu를 기본조성으로 하였다. 또한 다양한 형

태의  $Al_2O_3$ 와  $SiC_p$ 를 강화상으로 첨가하여 소결특성에 미치는 영향을 조사하였고, 소결중 생성된 액상이 기지 분말간 혹은 기지분말과 강화상과의 계면특성에 미치는 영향과 이에 따른 기계적 특성을 조사하였으며 또한 재압축에 따른 제반 특성을 살펴보았다.

## 2. 실험 방법

기지 분말로는 (주) 창성에서 제조된 -200 mesh(75  $\mu m$  이하)의 상용 air atomized Al 분말과 -325 mesh(45  $\mu m$  이하)의 전해동 분말을 사용하였다. 강화입자로는 그림 1과 표 1에 나타낸 바와 같이 입자크기와 형상이 다른  $Al_2O_3$ 와  $SiC_p$ 를 사용하여 Al-Cu 기지 복합재료의 특성에 미치는 영향을 조사하였다.

기지금속의 기본 조성은 소결 온도에서 충분한 양의 액상이 존재할 수 있도록 Al-6 wt%Cu로 하였고,  $Al_2O_3$ 와 SiC의 양은 각각 10 vol%가 되도록 V형 혼합기에서 55 rpm 속도로 10분간 혼합하였다. 혼합된 분말은 상온에서 윤활제로 Acrawax™를 금형 내벽에 도포하여 ASTM E855-90 규격의 TRS(Transverse Rupture Strength) 시편을 이론밀도의 85%가 되도록 성형하였으며, 소결은 600°C, 625°C에서 각각 1시간 동안 질소분위기에서 실시하였다.

소결체의 재압축은 소결 시편을 동일한 금형에서 150 kgf/cm<sup>2</sup>의 압력으로 5초동안 유지하였으며 재압축에 따른 가공경화를 제거하고자 500°C, 질소 분위기에서 30분간 풀림처리를 실시하였다.

각각의 소결체와 재압축 시편들은 치수와 무게를 측정하여 밀도를 구하였으며, 주사전자현미경(Hitachi S2400)으로 미세구조를 관찰하였다. 또한 Shimadzu사의 만능시험기를 이용, 각 조건에서 3회 이상 TRS 시험을 실시하여 평균값으로 강도와 변형량을 취하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 소결 특성

본 실험에 사용된  $Al_2O_3$  강화상들은 다수의 미세한 입자들이 구형으로 응집되어 있거나(그림 1a, b) 각진 단일 입자 형상을 띠고 있었다(그림 1c, d). SiC의 경우는  $Al_2O_3$ 와 유사한 단일 입자 형태이나 보다 더 각진 모양을 나타내고 있었다(그림 1e, f). 응집된

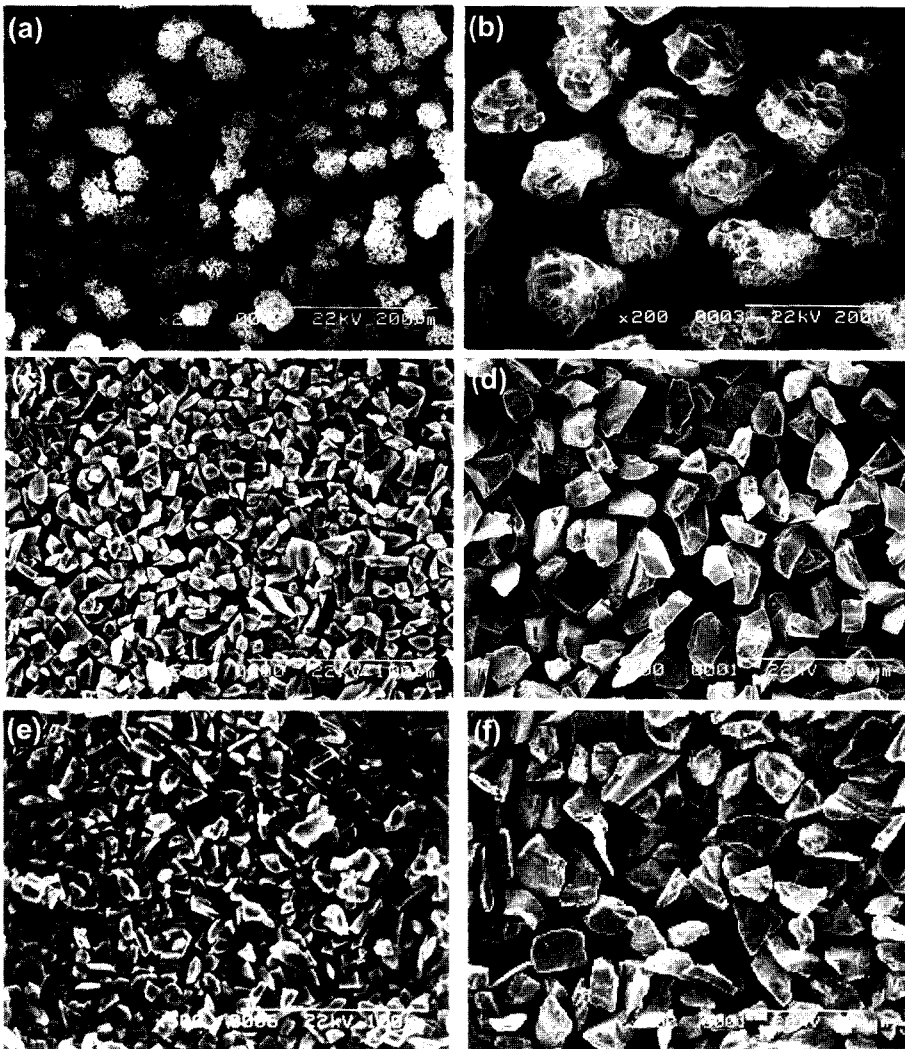


Fig. 1. Reinforcing particle morphology. (a) 50 μm agglomerate Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (b) 100 μm agglomerate Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (c) 8 μm angular Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (d) 44 μm angular Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (e) 8 μm angular SiC, and (f) 44 μm angular SiC

Table 1. Reinforcing particle characteristics

Particle	Average size	Shape	Company
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	50 μm	agglomerate, spherical	Japan, Kojundo
	100 μm	agglomerate, spherical	Germany, MaTecK
	8 μm	monolithic, angular	Japan, Showa Denko
	44 μm	monolithic, angular	Japan, Showa Denko
SiC	8 μm	monolithic, angular	Japan, Showa Denko
	44 μm	monolithic, angular	Japan, Showa Denko

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 강화상을 혼합한 성형체의 소결 전후의 밀도변화를 보면, 600°C에서 소결한 후에는 성형밀도에 비하여 밀도가 감소하였지만 625°C에서 소결한 후에는

밀도가 약간 증가하였다(표 2). 반면에 각진 형태의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 혼합한 성형체를 625°C에서 소결한 경우 응집된 강화상에 비해 큰 밀도증가를 나타내었다. 또한

Table 2. Density of sintered Al-6 wt% Cu base composite

Composite	Green density	Sintered density	Sintering temp.
Al-Cu-50 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	85%	84%	600°C
	85%	88%	625°C
Al-Cu-100 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	85%	83%	600°C
	85%	85%	625°C
Al-Cu-8 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	85%	92%	625°C
Al-Cu-44 Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	85%	94%	625°C
Al-Cu-8 SiC	85%	92%	625°C
Al-Cu-44 SiC	85%	94%	625°C

응집된 강화상의 경우와 달리 상대적으로 크기가 큰 44  $\mu\text{m}$  Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 입자가 혼합된 성형체가 미세한 8  $\mu\text{m}$  입자를 혼합시킨 경우에 비해 더 큰 밀도증가를 나타내었고 이러한 현상은 SiC 입자들을 혼합한 성형체의 경우도 유사하게 관찰되었다.

일반적으로 소결 중 적정량의 액상이 존재하고 액상과 기지 분말과의 젖음성이 좋을 경우 기공과 계면을 채우고 분말간의 간격을 좁혀 치밀화를 가져오나 액상이 재 고용되거나 액상량이 과다할 경우에는 소결체의 팽창을 유발할 수 있다. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 응집체를 포함한 성형체를 600°C에서 소결하였을 경우 생성된 액상이 거의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 응집체 내부에 침투하여 팽창을 유발시키고 기지상은 상대적으로 액상이 고갈되어 수축이 충분히 일어나지 못하여 소결밀도가 감소하였다고 사료된다. 한편 그림 2a, b에서 보여준 바와 같이 소결온도가 625°C인 경우에는 생성되는 액상의 양이 증가하여 기지상-강화상간 계면이나 강화상간 계면에 존재하는 기공을 상당 부분 채워 줄 수 있었기 때문에 밀도증가를 가져왔다고 해석된다. 반면에 각형 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 입자들을 포함하는 경우에는 강화상 내부 미세한 기공들이 존재하지 않기 때문에 소결 중 생성된 액상이 모두 기지내의 기공이나 계면을 채움으로 현저한 밀도 증가를 가져왔다고 할 수 있다.

각진 형태의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 입자가 첨가된 복합재의 경우 8  $\mu\text{m}$  입자들은 균집되어 있는 반면, 44  $\mu\text{m}$  입자의 경우에는 상대적으로 고르게 분포되어 있음을 관찰할 수 있었다(그림 2a,b). 이러한 현상은 8  $\mu\text{m}$  입자의 경우 알루미늄 기지 분말의 크기(<75  $\mu\text{m}$ )와 큰 차이가 있어 균집하는 경향이 크고 이들 균집된 입자들 사이의 기공들은 액상의 침투가 어려워 주위에 많은 기공이 잔존하고 소결성을 저하시켜 44  $\mu\text{m}$  입

자보다 작은 밀도증가를 나타냈다고 생각된다. 또한 그림 2c와 d에 나타난 바와 같이 강화상이 SiC인 경우도 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 마찬가지로 Al 기지분말 사이의 계면에 Al-Cu 액상이 생성된 미세조직을 보였고, 8  $\mu\text{m}$ 의 SiC 역시 균집되는 현상을 나타내고 있다. J. Zhou.<sup>11</sup>에 의하면 Al-Cu-SiC 복합재료를 590°C에서 액상 소결한 경우 Al-Cu액상이 불충분하게 생성되어서 기지/강화상 입자 계면까지는 도달하지 못하고 기지 Al 분말간 계면에만 일부 존재하기 때문에 기지/강화상간 계면의 접합력을 향상시키는데 한계가 있다고 보고 하였다. 그러나 소결온도가 600~625°C로 상대적으로 높은 본 연구에서는 소결 중 보다 많은 액상이 생성되어 기지 분말 간 기공들을 채우고 기지/강화상 계면에도 상당량 침투하여 계면을 형성한다고 할 수 있다.

Al-Cu-SiC<sub>p</sub> 소결체의 XRD 결과를 보면 그림 3에서와 같이 Al과 CuAl<sub>2</sub>( $\theta$ )상만으로 구성되어 있고 Cu상은 나타나지 않아 혼합된 Cu 분말이 모두 용해되었음을 알 수 있다. 소결체내의 기지상(그림 2b의 A)과 응고된 액상(그림 2b의 B)의 조성을 EDS로 분석한 결과 기지상은 1~2 wt% 정도의 Cu만을 함유하고 있고 응고된 액상은 30~40 wt% 정도의 Cu를 함유하고 있어 대부분의 Cu가  $\theta$ 상으로 석출되었음을 나타내고 있다. 이상의 결과와 그림 4의 Al-Cu 평형 상태도를 이용하여 Al-Cu 혼합분말의 액상소결거동을 다음과 같이 설명할 수 있다; Al-Cu-SiC 복합재료 성형체를 소결온도까지 가열시 공정온도인 548°C 부근까지는 Al과 Cu 분말간의 접촉부위에서 고상 확산에 의하여 제한된 양의 합금화가 일어나고 Al분말 표면의 일부는 최대 고용한계인 5.68%에 근접한 조성을 갖는다. 계속해서 소결온도 600°C 부근으로 온도를 올릴 경우 Al에 대한 Cu의 고용도가 2%이내로 감소함에 따라 그 이상의 Cu가 고용되었던 부분에서 액상이 형성된다. 이와 같이 생성된 액상은 무게비로 50% 이상의 Cu를 용해할 수 있어 남아 있는 Cu 분말 혹은 Cu-Al 화합물을 모두 용해시켜 소결동안 지속적으로 존재하여 액상소결을 진행시킨다. 이러한 액상소결을 일으키기 위해 첨가되는 Cu의 함량이 고용한도 이상일 경우에는 액상의 양이 많아져 액상소결을 통한 치밀화를 향상시킬 수 있다. 그러나 소결이 완료된 후 남아있는 Cu rich상은 대부분이 brittle한  $\theta$ (CuAl<sub>2</sub>)상으로 존재하게 되는데,

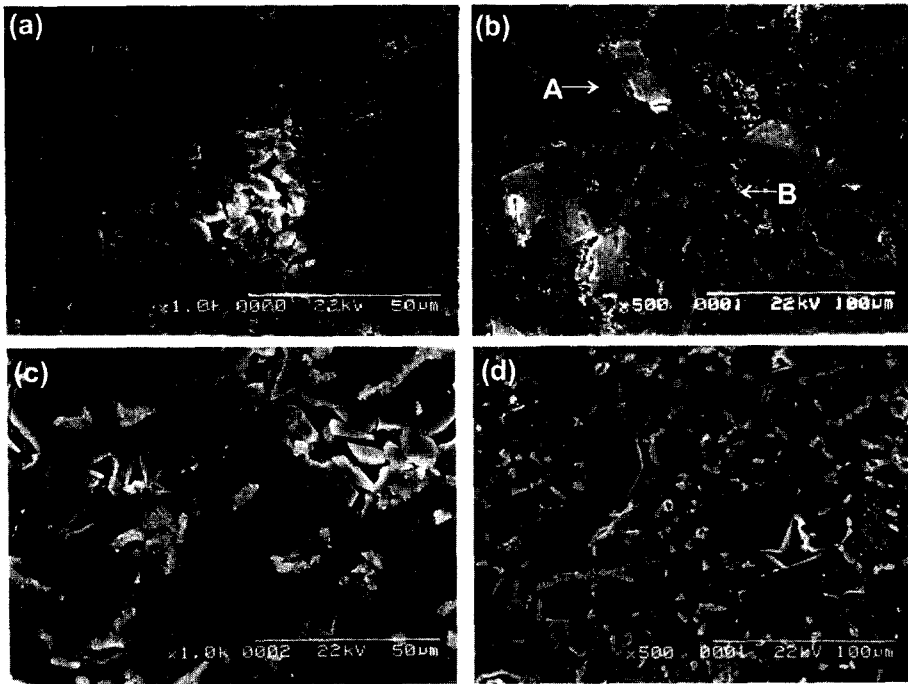


Fig. 2. SEM Micrographs of compacts after sintering at 625°C. (a) Al-Cu-8 μm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (b) Al-Cu-44 μm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (c) Al-Cu-8 μm SiC, (d) Al-Cu-44 μm SiC

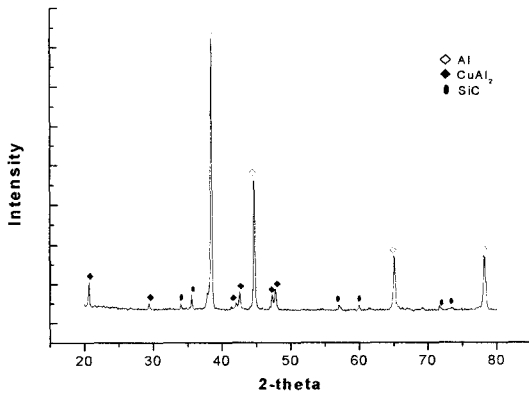


Fig. 3. XRD pattern of sintered Al-Cu-44 μm SiC compact.

Cu 함량이 많아질수록 이러한 θ상이 많아지기 때문에 재료가 brittle하게 되는 단점을 가지고 있다. 즉 고용한도 이상의 적절한 Cu 함량을 조절하는 것이 필요하다고 판단된다.

소결 복합재료들의 굽힘강도 결과를 보면, 각형의 44 μm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 입자를 혼합하여 제조한 소결체가 243 MPa의 파단강도와 1.05 mm 정도의 변형량으로 가장 우수한 특성을 나타내며, 8 μm 각형 혹은 응집된 형

Table 3. Transverse rupture strength of Al-6 wt% Cu base composite

Composite	Process (% density)	TRS (MPa)	Displacement (mm)
Al-Cu-50 μm Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	sintered	134	0.7
	repressed(95%)	220	0.95
Al-Cu-100 μm Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	sintered	160	0.65
	repressed(98.7%)	200	0.75
Al-Cu-8 μm Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	sintered	213	0.73
	repressed(96%)	250	1.0
Al-Cu-44 μm Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	sintered	243	1.05
	repressed(98.5%)	255	1.2
Al-Cu-8 μm SiC	sintered	215	0.7
	repressed(96%)	250	0.75
Al-Cu-44 μm SiC	sintered	247	1.0
	repressed(99%)	265	1.05

\*sintering condition : 625°C, 1 hr, N<sub>2</sub>

\*repressing condition : 150 kgf/cm<sup>2</sup>, 5 sec

태의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 혼합한 경우에는 상대적으로 낮은 굽힘 강도를 나타내었다(표 3). 응집체 형태의 강화상의 경우 소결밀도가 낮으며 응집체 내부의 입자간의 접합이나 응집체와 기지상과의 접합이 상대적으로 취

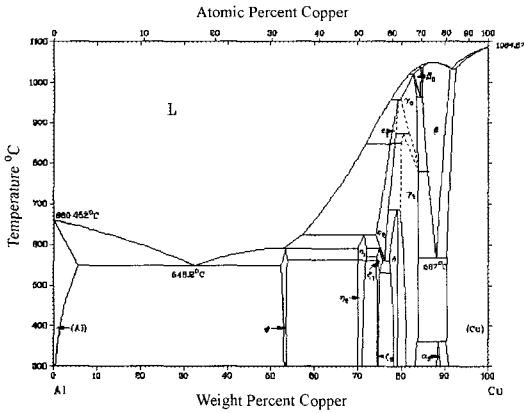


Fig. 4. Al-Cu phase diagram<sup>13)</sup>.

약하여 강도와 연성을 낮추는 역할을 하였다고 볼 수 있다. 기공이 없는 복합재의 경우 같은 부피 분율로 강화상이 있을 경우 강화상의 크기가 작을수록 높은 강도를 얻을 수 있다고 알려져 있으나 본 연구에서는 미세한 강화상 복합재가 낮은 강도를 보이는 이유는 미세입자들의 균집에 따른 소결특성의 저하와 취약한 계면형성 혹은 강화상 주위의 기공들에 의한 것으로 생각된다.

한편 각형의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 SiC를 첨가한 경우를 비교하여 보면 굽힘 강도의 차이가 거의 없고, 다만 SiC를 강화상으로 첨가했을 경우 굽힘 변형률이 약간 감소하였다. G.M. Janowski<sup>12)</sup>는 소결중 발생한 Al-Cu 액상이 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>보다는 SiC 입자와의 계면에서 반응에 의해 새로운 상이 생성되고 이로 인해 강화상이 SiC 일 경우 인장강도가 20%이상 높게 나타난다고 보고하였다. 이는 본 실험의 결과와 약간 다른 결과인데, Janowski의 연구에서는 소결 후 hot pressing을 실시하여 진밀도를 얻었기 때문에 강화상과 기지간의 접합력이 우수하였고 강화상과의 반응도 촉진시켰을 것으로 추측된다. 이로 인해 강화상의 종류에 따라서 인장강도의 차이가 드러날 수 있었지만, 본 실험에서는 액상소결 후 밀도가 95% 이하이기 때문에 강화상의 종류에 따른 계면 반응의 차이보다는 강화상 주변의 기공 분포 등이 기계적 특성에 더 큰 영향을 미친다고 판단된다.

이상의 결과에서 Al계 분말 복합재료 소결체에서 강화상의 종류에 따른 차이보다는 강화상의 형태와 크기가 소결밀도와 강도에 큰 영향을 미친다고 할 수 있다.

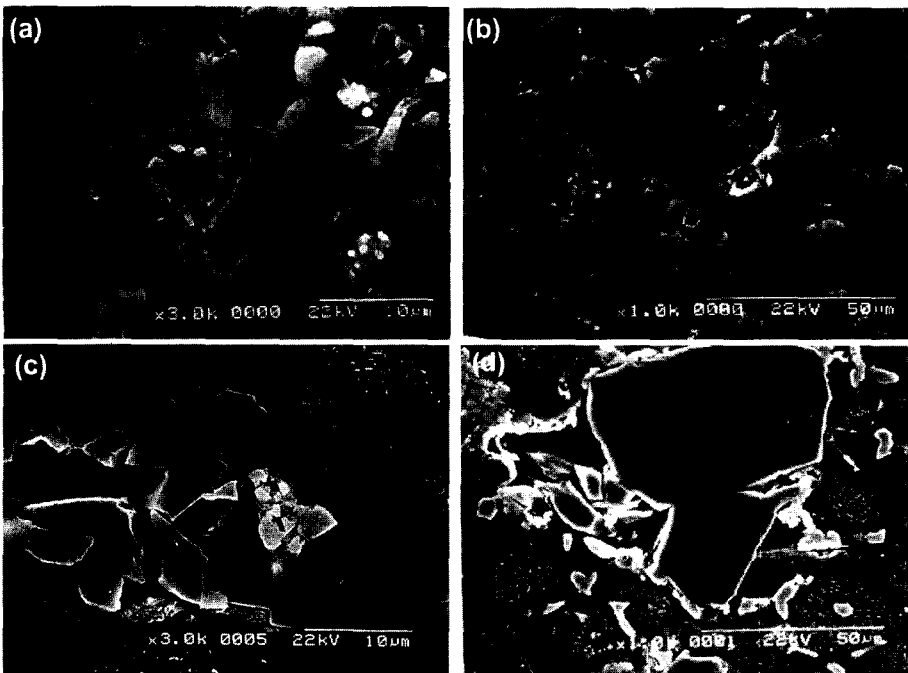


Fig. 5. SEM micrographs of repressed composites. (a) Al-Cu-8 μm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (b) Al-Cu-44 μm Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, (c) Al-Cu-8 μm SiC, and (d) Al-Cu-44 μm SiC

### 3.2. 재압축 특성

소결 후 재압축 공정의 목적은 최종제품의 치수 정밀도를 맞추고 상당량의 치밀화를 통한 기계적 특성 향상을 위한 것이므로 일반적인 sizing보다는 훨씬 높은 압력에서 시행하며 치밀화에 따른 축 방향 소성변형을 수반한다. 본 실험에서 150 kgf/cm<sup>2</sup>의 일정한 압력으로 Al-Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Al-Cu-SiC<sub>p</sub> 소결체를 재 압축한 후 밀도변화는 표 3에 나타내었듯이 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 SiC 강화입자 모두 상대적으로 크기가 큰 44 μm 입자가 혼합된 복합재가 더 큰 밀도 증가를 나타내었다. 이는 미세한 입자를 포함한 복합재의 경우 강화상 주위에 균집된 기공들이 재압축 압력하에서도 수축하기 어렵기 때문으로 판단된다.

재압축 후의 조직을 관찰해 보면 소결체에서 강화상 주위에 존재하던 기공들이 상당히 줄어들었음을 보여 주고 있으나 기지와 강화상간의 계면에서 계면 분리가 일어났음을 알 수 있다(그림 5). 특히 강화상 입자가 클 경우 거의 모든 강화상 주위에서 계면 분리가 일어났으며 상당수의 강화상에서 부분적인 균열들이 일어났음을 보여 주고 있다. 계면분리는 재압축시 기지와 강화상간의 변형 거동의 차이에 기인하며 강화상의 크기가 클수록 기지상과의 변형차이가 큼으로 분리가 쉽게 일어난다고 할 수 있다.

또한 계면분리가 주로 강화상 주위의 Al-Cu 액상이 존재하는 부위에서 일어나는 사실에 비추어 기지에 비해 응고된 액상에 취성이 있는 CuAl<sub>2</sub>(θ)상이 다량 존재한다고 생각된다. 그러나 재압축 후의 굽힘 특성을 살펴보면(표 3) 이와 같은 계면 분리나 강화상의 깨어짐에도 불구하고 소결체에 비하여 10% 이상의 강도와 변형량의 증가를 보여주고 있다. 이는 기본적으로 재압축에 따른 밀도증가, 특히 강화상 주변에서의 기공의 현저한 감소와 기지상 분말간의 접합력 증대에 의한 특성 향상이 계면 분리 등에 의한 특성 저하를 충분히 상쇄하였기 때문으로 판단된다. 그러나 계면 분리의 영향으로 피로 특성등의 저하를 야기할 수 있고 또한 강화상의 강화 효과를 현저히 감소시키는 역할을 한다고 사료됨으로 이에 대한 보완 방안이 필요하다고 판단된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 다양한 형태의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 SiC 입자를

첨가하여 분말법으로 제조된 Al-Cu 기지 복합재료에서 강화상의 형상 및 소결 중 생성된 액상이 특성에 미치는 영향을 연구하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 기지재의 조성을 Al-6 wt%로하여 Al-Cu-SiC<sub>p</sub>나 Al-Cu-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 성형체를 소결할 경우 Al과 Cu 분말간의 합금화에 의해 생성된 액상이 모세관력에 의하여 기지 분말간 계면이나 기지상과 강화상간의 계면에 침투하여 소결밀도를 증가시키고 굽힘강도를 향상시킨다.

2) 응집체 형태보다는 단순 입자를 강화상으로 첨가시킬 경우 기지와 접합력이 상대적으로 좋아 소결성 및 기계적 특성이 향상되지만 단순 입자의 경우도 강화상의 크기가 작을 경우 균집되어서 기공의 편중이 일어나 소결성을 저하시킨다.

3) 재압축된 복합재의 경우 치밀화로 인해 강도와 연성은 소결체에 비하여 향상되었으나, 기지/강화상간의 계면분리, 강화상의 깨어짐 같은 내부 결함이 발생하였다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술부 21세기 프론티어 사업 중 차세대 소재성형기술개발사업과 아주대학교 교내 연구용 기자재 프로그램의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다

## 참고 문헌

1. J.E. Allison and G.S. Cole, *JOM* **45**(1) (1993) 19.
2. C.K. Narula and J.E. Allison, *CHEMTECH* **26**(11) (1996) 48
3. G. B. Schaffer, T. B. Sercombe, and R. N. Lumley, *Materials Chemistry and Physics*, **67** (2001) 85.
4. F. Tang, I.E. Anderson, and S.B. Biner, *J. Light Metals* **2** (2002) 201.
5. M. Jeandin, J.L. Koutny, and Y. Bienvenu, *Powder Metall* **26** (1983) 17.
6. Randall M. German : *Liquid Phase Sintering*, Plenum Press (1985).
7. G. Li, L. Lu, and M. O. Lai, *J. Materials Processing Tech.* **63** (1997) 286.
8. W. Kehl and H.F. Fischmeister, *Powder Metall.* **23** (1980) 113.
9. L.B. Ber, *Materials Science and Engineering A* **280**

- (2000) 91.
10. S. Bradbury : Source Book on Powder Metallurgy, ASM, Metals Park, OH (1979).
11. J. Zhou and J. Duszczyk, *J. Materials Sci.* **34** (1999) 545.
12. G.M. Janowski and B.J. Pletka, *Materials Sci. and Eng. A* **129** (1990) 65.
13. [Http://products.asminternational.org/hbk](http://products.asminternational.org/hbk)