

분말야금법을 이용한 Bi-materials의 제조

이인규 · 이광식 · 장시영

한국항공대학교 항공재료공학과

Preparation of Bi-materials by Powder Metallurgy Method

In-Gyu Lee, Kwang-Sik Lee and Si-Young Chang

Dept. of Materials Engineering, Hankuk Aviation University, Kyunggi-do 412-791, Korea

(Received 15 November 2004 ; Accepted form 30 November 2004)

Abstract The bi-materials composed of Al-5wt%Mg and its composite reinforced with SiC particles were prepared by ball-milling and subsequent sintering process. The size of powder in Al-Mg/SiCp mixture decreased with increasing ball-milling time, it was saturated above 30 h when the ball and powder was in the ratio of 30 to 1. Both Al-5wt%Mg powders mixture and Al-5wt%Mg/SiCp mixture were compacted under a pressure of 350MPa and were bonded by sintering at temperatures ranging from 873K to 1173K for 1-5h. At 873K, the sound bi-materials could not be obtained. In contrast, the bi-materials with the macroscopically well-bonded interface were obtained at higher temperatures than 873K. The length of well-bonded interface became longer with increasing temperature and time, indicating the improved contact in the interface between unreinforced Al-Mg part and Al-Mg/SiCp composite part. The relative density in the bi-materials increased as the sintering temperature and time increased, and the bi-materials sintered at 1173K for 5h showed the highest density.

Key words : Ball Milling, Bi-materials, SiC Particle, Sintering, Relative Density, Micro-hardness

1. 서 론

낮은 밀도, 고 비강성과 재활용성을 가진 알루미늄 합금은 최근에 모든 산업분야에서 환경문제와 에너지문제의 해결을 위한 경량, 고효율재료로서 크게 주목을 받고 있다. 그러나, 철강재료에 비해 낮은 탄성율과 기계적 성질로 인하여 그 사용이 아직은 제한적이다. 이에 금속을 기지상으로 하고 강화재로 강화된 금속기지복합재료(MMCs)는 높은 비강도와 비강성을 얻을 수 있기 때문에 매력적인 구조 재료로 주목 받아 왔고, 그 중에서도 알루미늄을 기지로 하는 복합재료는 낮은 밀도 때문에 특히 자동차와 같은 수송 분야에서의 응용이 기대되고 있다^{1,2)}. 그러나, 알루미늄 기지 복합재료는 높은 생산비용으로 인하여 사용이 제한적일 수 밖에 없으며, 따라서, 필요에 따라 복합재료와 미강화부로 이루어져 부분적으로 강

화된 bi-materials야말로 현실적으로 필요한 흥미 있는 재료라고 할 수 있다.

한편, 지구의 환경문제로 인하여 모든 재료의 재활용은 사회전반에 걸쳐 요구되고 있다. 특히 알루미늄 제품의 생산공정에서도 lathing, drilling 그리고 milling과 같은 후 처리공정에서 많은 칩들이 발생한다. 이러한 칩들의 재활용은 환경 오염과 모든 산업분야의 에너지 문제를 극복하는 데에도 필수적이며, 또한 알루미늄 활용분야를 확장시킬 수 있다. 따라서, 이러한 칩들의 재활용을 위한 방법으로서 현재 채용해방법이 사용되고 있으나, 불순물의 함유 등으로 인한 조직 및 기계적 성질의 저하 및 에너지의 과다 소비가 큰 문제점으로 제기되어 왔다. 최근에 주조용해법을 이용한 금속기지복합재료와 미강화 금속으로 이루어진 bi-materials에 관한 연구는 일부 보고되어 있으나^{3,4)}, 용해법에 의해 국부적으로 강화된 bi-

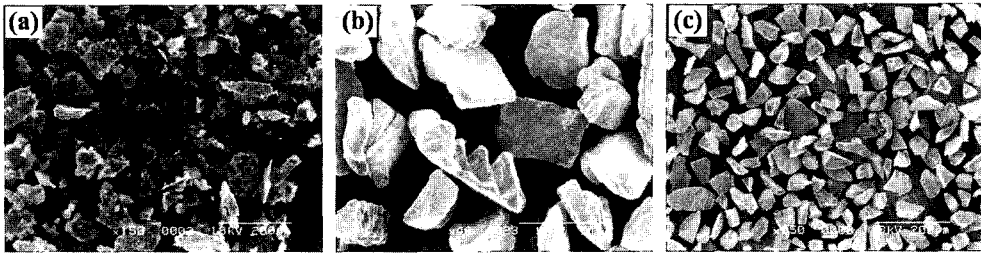


Fig. 1. SEM images showing powders employed in this study; (a) Al (b) Mg (c) SiC particles.

materials을 제조하기에는 어려움이 있다. 따라서, 부분적인 강화가 가능한 분말야금법이야말로 복합재료와 알루미늄으로 이루어진 bi-materials의 제조에 적합한 방법이라 할 수 있다. 이에 본 연구에서는, 알루미늄 칩의 재활용을 위한 초기 연구로서, 상용 Al, Mg 분말과 SiC 입자를 이용하여 분말야금법으로 bi-materials을 제조한 후 조직 관찰과 밀도 측정을 통하여 부분적으로 강화된 건전한 bi-materials의 제조 공정 조건을 조사·확립하고자 하였다.

2. 실험방법

본 연구에서는 그림 1에서와 같이 각각 ~70과 ~500 μm 크기의 상용 Al, Mg 분말과 ~50 μm 크기의 SiC입자를 사용하였으며, 모든 분말 입자는 평면적이며 불규칙한 형상을 나타내었다. 미강화부의 기지상 합금으로서 Al-5wt%Mg의 조성이 되도록 5wt%Mg 분말을 칩량 후 Al 분말과 혼합하였다. 또한 복합재료는 미강화부와 같은 조성의 Al-5wt%Mg 혼합분말에 30wt%SiC입자들을 첨가하여 제조하였다. 준비된 Al-Mg 분말 혼합물과 Al-Mg/SiCp 복합 혼합물을 각각 시간에 변화를 주면서 볼밀링을 행하였고, 이 때 스테인리스 볼과 분말의 비율을 30:1과 10:1로 하였다. 볼밀링한 Al-Mg 분말 혼합물과 Al-

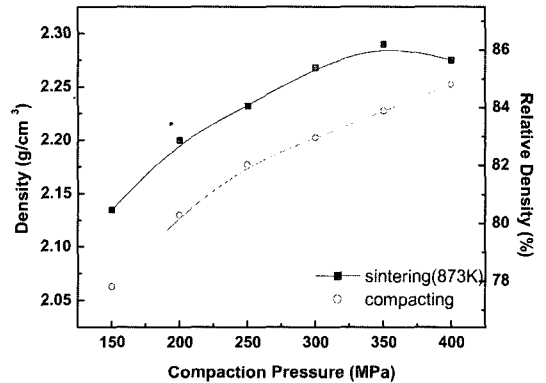


Fig. 2. Change of density in bi-materials with compaction pressure.

Mg/SiCp 복합 혼합물을 각각 sieving과 건조처리를 실시한 후, 350 MPa의 압력으로 1분간 성형하였다. 최적의 성형압력은 그림 2에서 볼 수 있는 것과 같이, 150~400 MPa의 압력범위에서 Al-5wt%Mg 분말 혼합물과 Al-5wt%Mg/SiCp 복합 혼합물을 성형한 후의 밀도와 성형후 873K에서 3시간 소결한 후의 밀도를 측정한 결과 350MPa의 성형압에서 가장 신뢰할 수준의 밀도를 보여 350 MPa로 결정하였다. 350 MPa에서 1분간 성형한 성형체를 873K~1173K의 온도 범위에서 1~5시간 동안 소결접합시켜,

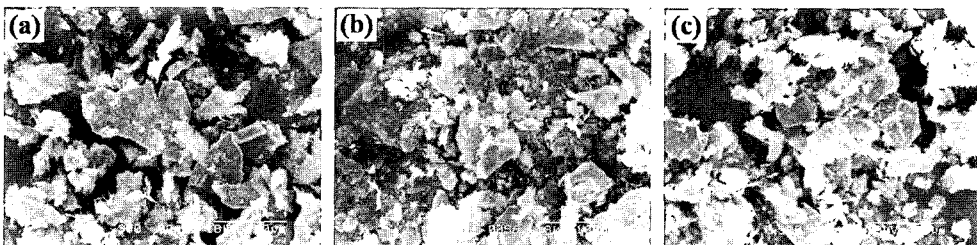


Fig. 3. SEM images showing powders after ball-milling for (a) 1h, (b) 10h, (c) 50h. Ball and powder are in the ratio of 10 to 1.

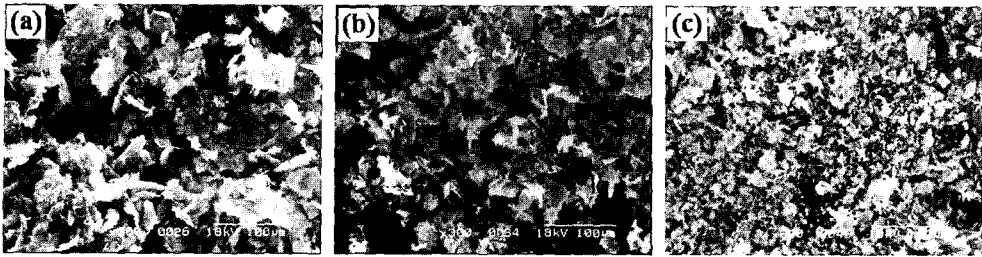


Fig. 4. SEM images showing powders after ball-milling for (a) 1h, (b) 10h, (c) 50h. The ball to powder ratio was 30.

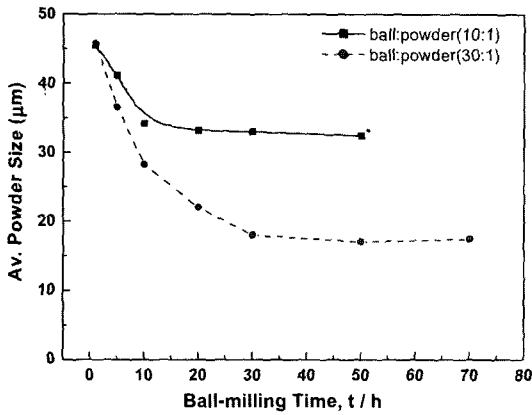


Fig. 5. Change of powder size in bi-materials with sintering temperature and time.

φ11.4×3.5 크기의 Al-Mg합금과 Al-Mg/SiCp 복합 재료 구성된 bi-materials시편을 획득하였다. 미세조직 관찰에는 광학현미경과 주사전자현미경을 사용하였으며, 밀도는 아르키메데스법으로 측정하였다. 또한 EDS를 이용하여 소결후의 미강화부에서의 반응생성물을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

볼과 분말을 10:1, 30:1 비율로 섞어 볼밀링 한 후, 시간에 따른 Al-Mg/SiCp 복합 혼합물의 분말 형상과 크기를 각각 그림 3과 4에 나타내었으며, 볼밀링 시간에 따른 분말의 크기 변화를 그림 5에 나타내었다. Al-Mg/SiCp 복합 혼합 분말은 볼밀링 시간이 증가함에 따라 크기는 작아지고 고른 분포를 보였으며, 평면적인 입자가 granular화 됨을 알 수 있다. 분말의 크기는, 볼비 10:1의 경우 볼밀링 시간이 약 10시간, 볼비 30:1의 경우 약 30시간까지는 감소하였으나, 그 이후에는 거의 변화가 없었다. 특

히, 볼비 10:1 보다 30:1인 경우에 분말의 미세화가 두드러졌다. 결과적으로, 볼비 30:1로 50시간 동안 볼밀링한 후의 혼합 분말의 크기는 약 17 μm 정도였다.

그림 6은 973K와 1173K에서 각각 5시간 동안 소결한 Bi-materials의 미세 조직을 나타낸다. 모든 bi-materials는 미강화된 Al-Mg부, Al-Mg/SiCp부와 계면으로 구성되어 있다. Table 1에서 볼 수 있는 바와 같이 873K의 낮은 소결 온도에서는 좋은 계면 결합 상태의 bi-materials을 얻을 수 없었으나, 873K보다 높은 온도에서는 계면을 갖는 bi-materials을 얻을 수 있었다. 그러나, 모든 온도에서 1시간 소결한

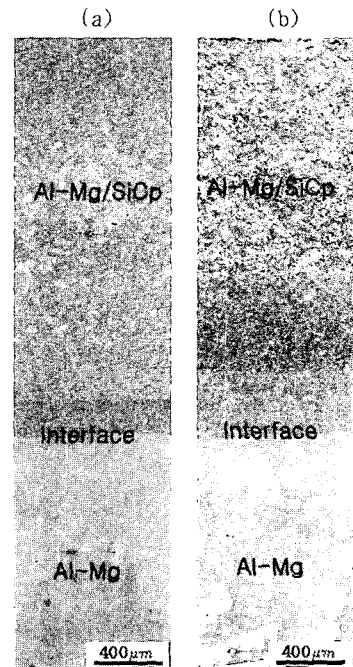


Fig. 6. Macroscopic views of bi-materials obtained by sintering at (a) 973K and (b) 1173K for 5h.

Table 1. Sintering conditions for fabrication of sound bi-materials

Sintering Temp.	873K			973K			1073K			1173K		
Sintering Time	1h	3h	5h	1h	3h	5h	1h	3h	5h	1h	3h	5h
Bi-materials	X	X	X	X	O	O	X	O	O	X	O	O

O : Macroscopically good

X : Failed at interface

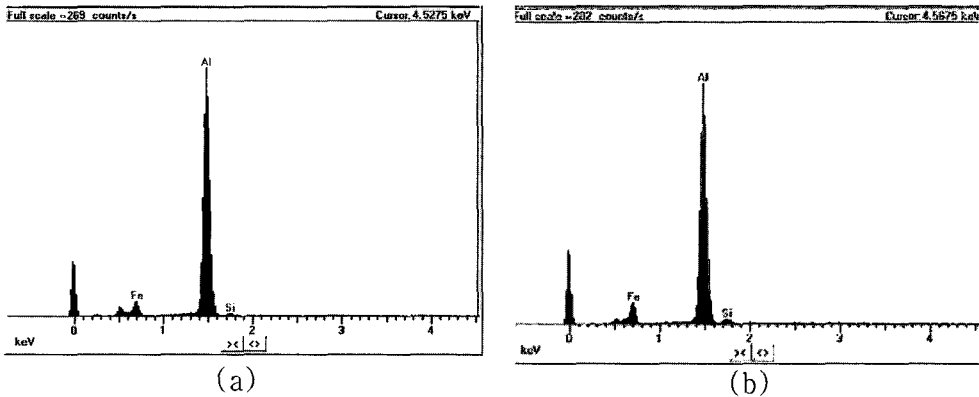


Fig. 7. EDS analyses of (a) needle and (b) planar type reaction products in Al-Mg part shown in Fig. 6.

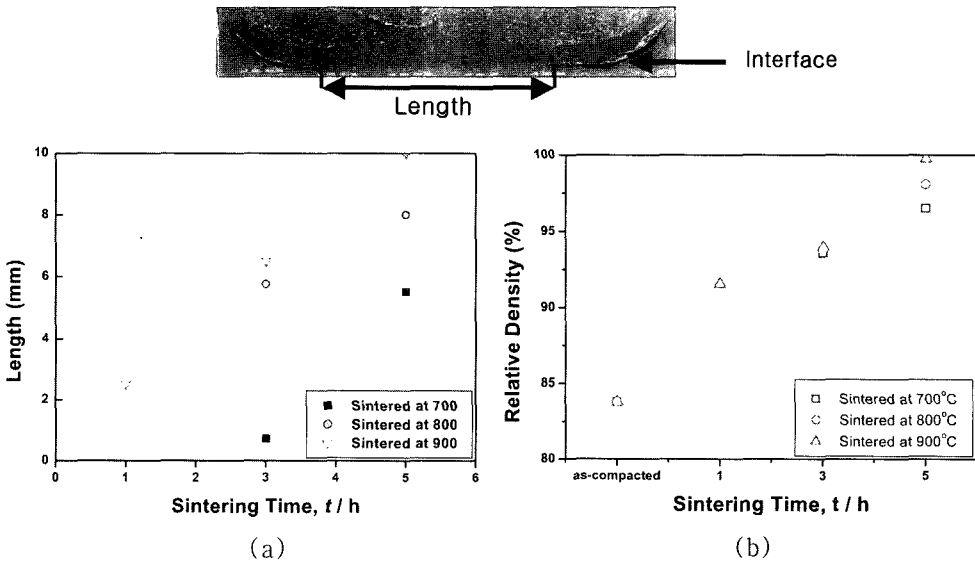


Fig. 8. (a) Length of the macroscopically bonded interface and (b) relative density with sintering time.

경우에 미결합 계면이 나타났고, 873K보다 높은 온도에서는 3, 5시간 소결한 경우에 미결합 계면이 발생하지 않았다. 한편 각 시료의 Al-Mg 미강화부에는 침상(그림 6(a)) 또는 편상의 개재물(그림 6(b))이 관찰되어 EDS분석을 한 결과 Al과 Si 그리고 Fe이 확인되었다(그림 7). 이것은, 볼밀링 동안 발생한 Fe

와 고온에서 SiC로부터 분해된 Si가 고온 소결시 알루미늄과 반응하여 Al-Fe-Si의 3원 반응 생성물을 형성한 것으로 생각된다⁵⁾. 한편, 소결온도가 973K에서 1173K로 높아짐에 따라 반응생성물의 형상이 침상에서 큰 편상으로 변하는 것은 보다 높은 온도에서의 소결중 성장하기 때문이라고 사료된다.

Table 2 Micro-vickers hardness of bi-materials with sintering conditions

(Hv)

Sintering Temp.	873K			973K			1073K			1173K		
	Sintering Time	1h	3h	5h	1h	3h	5h	1h	3h	5h	1h	3h
Al-5wt%Mg	X	X	X	X	131.1	114.2	X	65.6	90.3	X	72.8	77.1
Interface	X	X	X	X	141	126.2	X	113.4	170.3	X	140.9	188.5
Al-5wt%Mg/SiCp	X	X	X	X	242.2	302.3	X	268.4	324.7	X	293.1	377.4

X : Failed at interface

그림 8은 효과적으로 결합된 계면의 길이와 상대 밀도를 나타낸다. 소결온도와 시간이 증가함에 따라 bi-materials의 계면의 접합 길이는 증가함을 알 수 있고, 이는 계면 접합성이 향상됨을 보여준다. 소결한 bi-materials의 상대밀도는 성형 상태의 성형체와 비교하여 매우 높은 값을 나타내고, 소결 시간이 증가함에 따라 크게 증가하며, 소결시간이 길수록 소결온도의 영향이 커짐을 알 수 있었다. 특히 1173K에서 5시간 동안 소결한 bi-materials는 100%에 가까운 높은 밀도를 보였다.

Table 2는 소결온도와 시간에 따른 미강화 Al-Mg 부와 계면, 그리고 Al-Mg/SiCp부의 경도값을 나타낸다. 복합재료부의 경도는 분명하게 소결온도와 시간의 증가에 따라 증가하는 경향을 보인다. 이것은 일반적으로 Al-Mg/SiCp의 경우는 SiC에 의한 소결성이 떨어져 더 높은 온도에서 치밀화가 일어나고, 또한, 소결온도와 시간의 증가에 따른 액상량의 증가로 인한 강화재와 기지의 미세 계면(microinterface)의 접합성 향상에 따라 소결성이 증가하기 때문이라고 사료된다. 계면의 경도 또한 소결온도와 시간이 높을수록 높은 경향을 나타내는데, 이것은 계면 접합성의 향상과 복합재료부의 강도 증가 때문이라고 사료된다. 미강화부의 경도는 높은 소결온도에서 낮은 경도를 나타내었으나 뚜렷한 경향은 보이지 않았다. 한편, 본 연구에서의 미세조직 관찰 및 경도 측정 결과로부터는 반응 생성물의 생성이 건전한 bi-materials의 제조 및 기계적 성질에 미치는 영향은 명확치 않으며 이에 대한 추가 연구가 필요하다.

4. 결 론

미강화부 Al-5wt%Mg와 SiCp로 강화된 Al-5wt%Mg/SiCp 복합재료로 구성된 bi-materials를 볼밀링 후 소결 공정으로 제조하였다. Al-Mg/SiCp혼합 분말의 크기는 볼밀링 시간이 증가함에 따라 작아졌고, 볼과 분말을 30 : 1의 비율로 혼합하였을 때 30시간 후에는 거의 변화가 없었다. Al-5wt%Mg 분말 혼합물과 Al-5wt%Mg/SiCp 혼합물을 350MPa의 압력으로 성형한 후 873K부터 1173K까지 1~5시간 범위에서 소결한 결과, 873K에서는 건전한 bi-materials를 얻을 수 없었다. 그러나, 873K보다 높은 온도에서는 미강화부, 결합 계면, 복합재료로 이루어진 bi-materials를 제조할 수 있었고, 소결온도와 시간이 증가에 따라 미결합 계면이 줄어들어 결합 계면의 접촉 길이는 증가하였다. Bi-materials의 상대 밀도는 소결온도와 시간이 늘어남에 따라 증가하였고, 1173K에서 5시간 동안 소결한 bi-materials는 가장 높은 밀도값을 나타내었다.

참고문헌

- 1) S. K. Hong, H. Tezuka, A. Kamio, B. S. Chun and S. S. Cho: J. Japan Inst. Metals, **60** (1996) 218.
- 2) P. A. Mikucki, W. E. Mercer and W. G. Green: Light Met. Age, **48** (1990) 12.
- 3) S. Y. Chang, Y. K. Kim, S. K. Hong and D. H. Shin : Mater. Trans. **42** (2001) 1035.
- 4) S. Y. Chang, S. J. Cho, S. K. Hong and D. H. Shin : J. of Alloys and Compounds, **316** (2001) 275.
- 5) 日本輕金屬学会: アルミニウムの組織と性質 (1991) 81, 279.