

알루미늄 기지 금속복합재료의 기계적 성질에 미치는 제조변수의 영향 Effects of Processing Parameters on the Mechanical Properties of Aluminium Matrix Composites

김재동 · 김형진 · 고성위
J. D. Kim, H. J. Kim and S. W. Koh

Key Words : Aluminium Matrix Composite(알루미늄 기지 금속복합재료), Pressureless Metal Infiltration Process(무가압침투법), Processing Parameter(제조변수), Particle Size(입자크기), Volume Fraction(체적분율)

Abstract : The effects of additional Mg content, the size and volume fraction of reinforcement phase on the mechanical properties of ceramic particle reinforced aluminium matrix composites fabricated by pressureless metal infiltration process were investigated. The hardness of SiC_p/AC8A composites increased gradually with an increase in the additive Mg content, while the bending strength of SiC_p/AC8A composites increased with an increase in additive Mg content up to 5%. However, this decreased when the level of additive Mg content was greater than 5% due to the formation of coarse precipitates by excessive Mg reaction and an increase in the porosity level. The hardness and strength of the composites increased with decreasing the size of SiC particle. It was found that the composites with smaller particles enhanced the interfacial bonding than those with bigger particles from fractography of the composites. The hardness of Al₂O_{3p}/AC8A composites increased gradually with an increase in the volume fraction, however, the bending strength of Al₂O_{3p}/AC8A composites decreased when the volume fraction of alumina particle was greater than 40% owing to the high porosity level.

1. 서 론

고강도·고탄성의 세라믹 입자로 강화된 금속복합재료(metal matrix composites: MMCs)가 최근 첨단재료로 주목을 받고 있다. 금속복합재료의 구조재료로의 적용 잠재력은 이들 재료가 우수한 비강도와 비탄성율의 강점을 가지기 때문인데, 특히 알루미늄 기지 금속복합재료(aluminium matrix composite: AMC)는 항공기, 자동차 및 통신산업의 경량 구조재료로의 적용이 기대된다. 그러나 실제에 있어서는 금속복합재료의 구조재료로의 폭 넓은 적용은 많은 제약을 받고 있고, 그 원인은 기계적 특성치가 일정하지 않다는데 있다. 금속복합재료의 기계적·물리적 특성치가 일정하지 않은 것은 복잡한 제조변수의 조절이 어렵기 때문이다. 그러므로

균일하고 재현 가능한 믿을 수 있는 복합재료를 제조하기 위해서는 기계적 특성치에 미치는 제조변수의 영향을 정확히 이해하는 것이 매우 중요하다.

최근 금속주조법을 이용한 액상제조법과는 개념을 달리한 무가압침투법에 의한 MMCs 제조법에 대한 연구가 주목을 받고 있다¹⁻³⁾. 미국 Lanxide사에 의해 개발되어 PRIMEX™ (pressureless metal infiltration process)로 알려진 이 방법에 의하면, Al 합금 중에 일정 함량 이상의 Mg와 일정 농도 이상의 질소분위기 환경이 유지되면 외부압력이나 진공 등의 도움 없이 자발적으로 용융Al이 세라믹 preform 또는 filler 내로 침투하여 Al기 복합재가 제조된다. 이와 같은 새롭고 간편한 MMCs 제조법은 연속섬유, 입자 및 휘스카와 같은 강화상의 형상이나 크기에 구애받지 않고 또한 탄화물, 산화물, 질화물 및 붕화물 등 세라믹 종류에도 제한없이 넓은 범위의 다양한 재료에 응용될 수 있고, 용융금속의 침투 장애물(barrier)을 이용하면 2차 가공이 거의 필요 없는 정형(net shape) 또는 준정형(near net shape)의 MMCs 주조도 가능하다고 보고되고

접수일 : 2005년 10월 7일
김형진(책임저자) : 경상대학교 기계항공공학부
E-mail : jhkim@gaechuk.gsnu.ac.kr Tel. 055-640-3124
김재동 : 경상대학교 해양산업연구소
고성위 : 부경대학교 기계공학부

있다. 실제로 피스톤, 컨택팅 로드 및 브레이크 디스크와 같은 자동차 부품이나 전자패키지용 재료 등이 Lanxide사와 합작한 특화된 회사들로부터 이미 생산되고 있다. 한편 국내에서는 가압주조법과 용탕단조법 등과 같은 액상주조법 및 분말야금법에 관한 연구는 많이 이루어지고 있으나, 무가압합침법에 관한 연구는 최근 제조법과 관련한 연구가 일부 발표되고 있으나⁴⁾ 연구 결과는 아직 미진한 실정이다.

본 연구에서는 무가압합침법에 의해 상용의 AC8A합금에 SiC 및 Al₂O₃ 입자를 조합하여 다양한 알루미늄 기지 금속복합재료의 제조를 시도하였으며, 제조변수인 Mg의 첨가량, 강화상 입자크기 및 강화상의 부피분율이 기계적 성질에 미치는 영향을 고찰하였다.

2. 실험방법

2.1 복합재료의 제조

본 연구에 사용된 기지재료는 내연기관의 피스톤 재료로 주로 사용되는 주조용 AC8A합금으로 화학적 조성은 Table 1과 같다. 입자 크기가 기계적 성질에 미치는 영향을 조사하기 위해 평균입경이 각각 26 μ m, 38 μ m 및 100 μ m인 3종류의 SiC입자를 사용하여 SiC_p/AC8A 복합재료를 제조하였다. 또한 강화상 부피분율의 영향을 조사하기위해 평균입경이 45 μ m인 Al₂O₃입자를 사용해 부피분율이 각각 20, 30 및 40%인 Al₂O_{3p}/AC8A 복합재료를 제조하였다. 한편 기지재료인 AC8A합금의 Mg 함유량(약 1wt%)으로는 Al합금의 자발적 침투가 불가능하므로^{5,6)} 기지재의 세라믹 입자 속으로의 무가압합침을 위한 반응재료로 전체 기지금속에 대하여 3~10wt%의 Mg를 부가하여 SiC 및 Al₂O₃ 입자 강화 복합재료를 제조하였으며, 이때 Mg 첨가량이 이들 복합재료의 기계적 성질에 미치는 영향을 조사하였다. 또한 열처리(T6)에 의한 기계적 성질의 변화를 조사하기 위하여 기지재료와 제조된 복합재료를 520℃에서 3시간 용체화처리한 후 소입시키고, 170℃에서 8시간 시효처리 하였다.

복합재료의 제조는 다음과 같다. 우선 부피분율이 일정하게 조성된 세라믹 입자와 일정량의 Mg분말을 혼합하여 약 200cc의 원통형 알루미늄아 도가니에 넣고, 이 혼합분말 위에 기지재인 AC8A합금 잉곳을 놓은 다음 분위기로에 넣었다. 분위기로는 진

공펌프로 1 x 10² torr까지 진공시킨 다음, 질소가스를 연속 주입하면서 출구에서 미량의 질소가스를 배출시킴으로 노 내에는 항상 질소 분위기 환경을 유지하도록 하였다. 분위기로는 300℃/h로 승온하였으며 700℃에 이른 후 3시간 유지시켜 기지금속이 세라믹 입자와 Mg의 혼합분말 속으로 자발적으로 침투하도록 하였다. 이후 산화방지를 위하여 500℃까지 노냉을 시킨 다음, 노에서 꺼내 대기 중에서 실온까지 냉각시켰다. 제조된 복합재료는 다이아몬드 정밀절단기로 중량을 자른 후 시험편으로 제작하였다.

Table 1 Chemical composition of AC8A alloy

Elements	Cu	Si	Mg	Ni	Al
wt%	1.10	11.33	1.07	1.20	Bal.

2.2 미세조직

제조된 복합재료는 정밀연마 후 0.5% HF로 약 10초 동안 부식시킨 후 광학현미경 및 SEM으로 강화상의 크기 및 부피분율 변화에 따른 분산상태와 미세조직을 관찰하였다. 또한 아르키메데스의 원리를 이용한 비중계로 밀도를 측정하고 혼합법칙에서 얻어진 이론밀도로부터 기공율을 계산하였다.

2.3 기계적 성질

기계적 성질은 3점굽힘시험을 행하여 얻었고, 경도는 마이크로 비커스경도기로 측정하였다. 3점굽힘시험은 조도의 영향을 최소화하기 위해 #1000 사포로 최종 연마하여 표면 조도를 균일하게 한 6 x 8 x 35mm 크기의 시험편을 만능재료시험기(Shimadzu AGS-1000G)에 스펠길이 30mm인 3점굽힘용 지그를 부착하여 0.5mm/s의 변위제어 속도로 하중을 가하여 실험하여, 식 (1) 및 (2)에 의해 굽힘강도(σ_f), 굽힘탄성계수(E_f) 및 굽힘파단변형률(ϵ_f)을 구하였다.

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (1)$$

$$E_f = \frac{L^3 m}{4bh^3} \quad (2)$$

여기서 P 는 파단하중, L 은 스펠 길이, b 는 시험편 폭, h 는 시험편 두께, m 은 하중-변위선도 초기 선형구간의 기울기이다.

경도의 측정은 3점굽힘시험 후의 시험편을 비커

스경도기(Shimadzu HMV)로 압입하중 500g, 유지 시간 10초의 조건에서 12번 측정하여 최상값 및 최하값을 제외한 평균치로 구하였다.

또한 3점굽힘시험편의 파단면을 SEM으로 관찰하여 파괴기구를 고찰하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 미세조직

Fig. 1은 평균입경이 각각 100, 38, 26 μm 인 SiC강화상에 전체 기지조성에 대하여 3wt%의 Mg을 혼합한 혼합분말 속으로 기지재인 AC8A합금을 침투시켜 제조한 SiC_p/AC8A 복합재료의 미세조직을 광학현미경으로 관찰한 것이다. 일반적으로 입자의 크기가 작아짐에 따라 균일한 분산이 어려워지고 입자/기지간의 계면이 증가하여 젖음성(wettability)이 더욱 문제가 된다. 입자의 분포가 불균일할 경우 입자간의 접촉을 증가시켜 오히려 강도 저하의 원인이 될 수 있다. 본 제조법에 의한 금속기지복합재료는 기존의 고압주조법이나 용탕교반법에서와 같은 가압이나 교반을 하지 않았음에도, 강화상의 입경에 관계없이 용융금속이 입자사이로 자발적으로 침투하여 뭉침이 없이 비교적 균일하게 강화상이 분산된 것으로 나타났다.

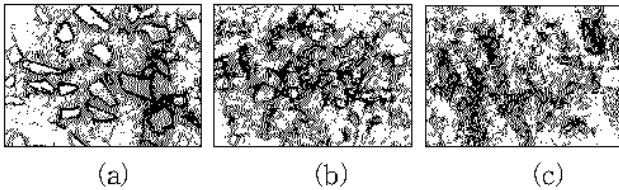


Fig. 1 Micrographs of SiC_p/AC8A composite with various particle sizes : (a) 100 μm , (b) 38 μm and (c) 26 μm SiC particle reinforced composite.

Fig. 2는 Mg의 첨가량이 5wt%이고 강화상의 부피분율을 각각 20%, 30% 및 40%로 조성하여 제조한 Al₂O_{3p}/AC8A복합재료의 미세조직을 광학현미경으로 관찰한 것이다. 강화상의 부피분율이 20%와 30%의 경우 Al₂O₃ 입자가 기지재료 속에 비교적 균일하게 분포된 것을 알 수 있으나, 부피분율이 40%인 Al₂O_{3p}/AC8A복합재료의 경우 입자가 군집되어 커다란 강화상의 형태를 나타내는 조직이 있는 것을 알 수 있으며, 현미경 관찰에서 기지재료가 침투되지 못하여 기공을 보이는 조직이 관찰되었다.

Fig. 3은 Mg의 첨가량 변화에 따른 SiC_p/AC8A 복합재료의 미세조직을 광학현미경으로 관찰한 것이다. Mg 첨가량이 많아짐에 따라 강화상의 분산이 약간 분균일하게 되고 기공으로 생각되는 검은 상이 많아지고 있다. 또한 입자 계면에는 Mg의 반응에 의해 석출물이 생성되어 검게 나타나고 있다.

무기압합침법에 의한 MMCs 제조에 있어서 기공의 발생은 유기물질과 용탕간의 반응시 연소에 의해 발생된 가스가 응고시 미처 용탕표면 밖으로 빠져나가지 못할 때 발생될 수 있으며, 또한 군집화된 강화상간의 공극으로 용탕충진이 미약할 때 발생될 수 있을 것이다. 그러므로 부피분율 40% Al₂O_{3p}/AC8A복합재료의 경우 용탕의 강화입자 사이의 침투에 필요한 압력은 증가할 것이고 이로 인해 동일 부피에 대한 용탕의 침투력(infiltration kinetics)이 저 부피분율 복합재료에 비해 작아지므로 기공율이 높아진 것이라 생각된다.

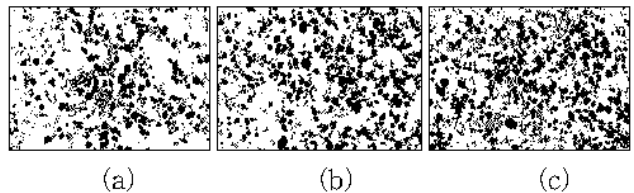


Fig. 2 Micrograph of Al₂O_{3p}/AC8A composites with different volume fraction : (a) 20vol.%, (b) 30vol.% and (c) 40 vol.% Al₂O_{3p}/AC8A composite

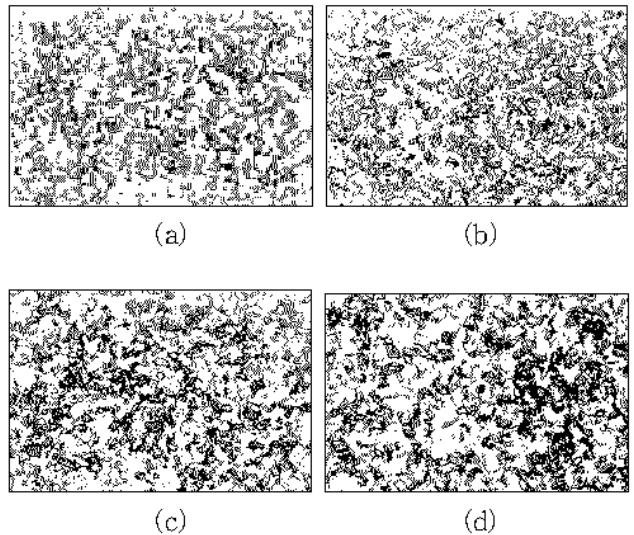


Fig. 3 Micrographs of SiC_p/AC8A composite with additive Mg amount : (a) 3wt%, (b) 5wt%, (c) 7wt% and (d) 10wt% Mg additive SiC particle reinforced composite.

3.2 Mg 첨가량의 영향

Table 2는 기지재료인 AC8A합금, Mg이 5wt% 첨가되어 제조된 복합재료 및 열처리(T6)한 복합재료의 경도와 3점굽힘실험에 의한 기계적 성질의 결과를 나타냈다. 복합재료의 경도는 세라믹 입자의 첨가에 의해 SiC_p/AC8A 복합재료는 약 40%, Al₂O_{3p}/AC8A 복합재료는 약 22% 기지재료에 비해 상승하였으나, 강도와 연성은 두 복합재료 모두 기지재료에 비해 약간 저하하는 것으로 나타났다.

복합재료의 연성은 경질의 세라믹 입자의 첨가에 의해 인성 및 가공성과 더불어 저하될 것이다. 입자강화 금속복합재료의 강화기구는 입자의 첨가에 따른 복합재료 구성원의 열팽창계수 차이 등에 의한 기지 미세조직의 변화와 이로 인한 기지재 소성 흐름의 구속 및 입자 강화상으로서의 하중전달에 기인한다고 할 수 있다. 이러한 강화기구에 따르면 강화상의 부피분율, 형상비 및 기지재의 인장강도 증가에 따라 복합재료의 강도는 증가하는 것으로 예측되어 진다. 그러나 입자강화 금속기지복합재료는 전술한 바와 같이 제조법과 이에 따른 제조변수에 의해 기계적 성질이 기지재료에 비해 저하하기도 하는데, 본 제조법에 의한 복합재료의 강도 저하는 다음에 기인한다고 생각된다. 즉, 본 제조법에 의한 복합재료의 제조 시 기지와 강화상의 젖음성을 증가시키는 반응원료로 사용한 Mg이 과도한 반응에 의해 저융점을 갖는 Mg-Al화합물의 형성을 야기하고⁷⁾, 또한 본 제조법은 타 제조법에 비하여 Al합금이 고온의 용탕으로 존재하는 시간이 길어지므로, 기지 내에서 석출된 석출물이 거칠고 크게 성장하는 것이 그 원인이라고 생각되어 진다.

한편 열처리에 의해 기지재인 AC8A합금의 경우 12%의 경도상승을 보이고 있는데 반해, SiC_p/AC8A 복합재료는 약 18%, Al₂O_{3p}/AC8A복합재료는 약 58%의 경도 상승을 보이고 있어 복합재료가 기지재료보다 열처리에 의한 경도의 증가율이 높은 것을 알 수 있다. 열처리에 의한 경도의 상승은, 용체화처리 후 수냉시 기지재와 강화재와의 큰 열팽창계수 차이에 의해 도입되는 다량의 전위강화에 기여하는 중간상의 핵생성 장소로 작용하여 미세한 중간상을 고밀도 석출시키기 때문이다.

Fig. 4는 SiC_p/AC8A 복합재료의 Mg 첨가량에 따른 복합재료의 경도와 굽힘강도의 변화를 나타낸 것이다. Mg 첨가량의 증가에 의해 경도는 점진적으로 상승하나, 강도는 5wt%까지는 미량 상승하나, 7wt% 이상에서는 감소하는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 부피분율 20% Al₂O_{3p}/AC8A복합재료의 Mg 첨가량의 증가에 따른 경도와 굽힘강도의 변화를 나타냈다. Mg의 첨가량 증가에 의해 경도는 상승하나, 굽힘강도는 5~7wt% 첨가시 가장 높은 강도를 나타냈고, 10wt% 첨가시는 상당량 감소하는 것으로 나타났다.

Table 2 Mechanical properties of Al matrix alloy and metal matrix composites

Materials	Particle Size (μm)	Hv	σ _f (MPa)	E _f (GPa)	ε _f (%)
AC8A	-	111.8	375.1	18.9	4.23
AC8A-T6	-	124.7	451.5	21.4	4.61
SiC _p /AC8A	38	157.8	335.0	27.1	1.23
SiC _p /AC8A-T6	38	186.8	400.8	29.4	1.30
Al ₂ O _{3p} /AC8A	45	136.8	311.0	29.0	1.10
Al ₂ O _{3p} /AC8A-T6	45	217.6	365.7	29.5	1.15

Mg 첨가량 증가에 따른 경도의 상승은 계면과 기지상에서 형성되는 경질의 반응생성물에 의한 것으로 생각되며, 다량의 Mg 첨가시 석출물은 거칠게 커져 균열의 전파경로로 작용되어지기 때문에 강도는 저하하는 것으로 생각된다.

한편 제조된 SiC_p/AC8A 복합재료의 밀도와 혼합법칙에서 얻어진 이론밀도에 의해 기공율을 계산한 결과, Mg의 첨가량이 3wt%와 5wt%의 경우 0.5~0.6%의 기공율을 보이는데 반해, 7wt%의 경우 0.9%, 10wt% 첨가의 경우 1.5%의 기공율을 나타냈는데, 이러한 Mg 첨가량의 증가에 따른 기공율의 상승은 석출물의 형상이 거칠게 성장하면서 기공을 발생시킨 것에 기인한 것이라 생각된다. Fig. 6은 SiC_p/AC8A 복합재료의 Mg 첨가량에 따른 기공율과 굽힘강도의 변화를 나타낸 것이다.

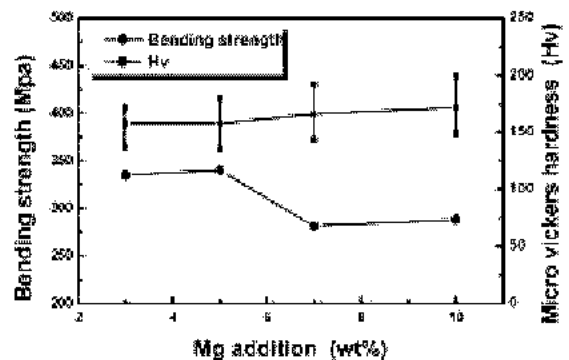


Fig. 4 Variation of bending strength and hardness of SiC_p/AC8A composites with increase of additive amount of Mg

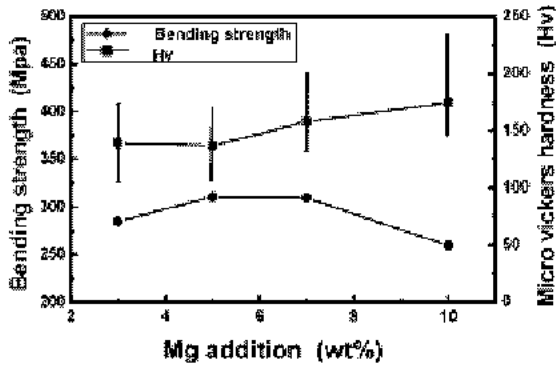


Fig. 5 Variation of bending strength and hardness of $Al_2O_{3p}/AC8A$ composites with increase of additive amount of Mg

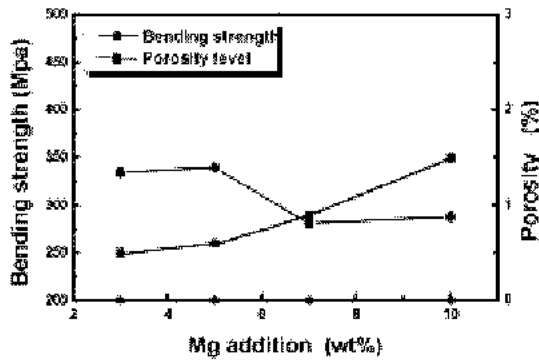


Fig. 6 Variation of bending strength and porosity level of $SiC_p/AC8A$ composites with increase of additive amount of Mg

3.3 입자 크기의 영향

Fig. 7은 입자크기에 따른 $SiC_p/AC8A$ 복합재료의 기계적 성질 변화를 나타냈다. 그림에서 강화상 입자의 크기가 작아짐에 따라 경도와 강도는 상승하는 것을 알 수 있다. 입자간의 평균 자유분포거리 (λ)는 입경의 크기 (d_p)와 입자의 부피분율 (V_f)에 의해 다음과 같이 나타내어진다.

$$\lambda = 2d_p(1 - V_f)/3V_f \quad (3)$$

강화상의 입자 크기가 작을수록 경도가 상승하는 것은, 강화상의 크기가 작은 경우 동일한 부피분율에서 입자간의 평균 자유분포거리 즉 강화상 간의 거리가 짧아지고, 단위 면적 당 입자수가 증가하므로 이에 따라 강화상에 의해 전위의 이동이 방해받아 기지의 소성변형이 억제되기 때문이다.

입자크기에 따른 강도의 변화는 본 제조법의 제조공정상의 특성에서 찾을 수 있다. 즉, 다공질의

세라믹 예비성형체에 가압을 하여 용융금속을 침투시키는 고압주조법이나, 기지금속의 용탕에 세라믹 입자를 주입하며 교반에 의해 강화상의 침투와 균일 분산을 도모하는 용탕교반법과 같은 액상주조법에 의한 입자강화 복합재료의 제조에서는, 강화상 입자의 크기가 작아지면 용융금속은 작은 반경으로 변형되어야 하므로, 식 (4)에서 알 수 있는 바와 같이 젖음을 위한 에너지 즉, 침투에 필요한 압력이 증가하게 된다.

$$P = (2\gamma_{LV}\cos\theta)/r \quad (4)$$

여기서 P 는 침투에 필요한 압력, γ_{LV} 는 표면장력, θ 는 액체-고체 접촉각, r 은 모세관 반경이다. 그러나 본 제조법에 의한 복합재료의 제조는 입자와 기지의 계면에서의 반응에 의해 침투가 자발적으로 일어나기 때문에 전술한 제조법과는 달리 입자의 크기가 작아지면 젖을 수 있는 표면적이 커지므로 오히려 침투가 향상된다. 그러므로 작은 입자의 경우 자발적 침투에 의한 젖음성이 향상되므로 계면의 강도가 증가하여 큰 입자의 경우 보다 기계적 성질이 좋아지는 것으로 추정된다.

3.4 부피분율의 영향

Fig. 8은 $Al_2O_{3p}/AC8A$ 복합재료의 강화상 부피분율에 따른 경도와 굽힘강도의 변화를 나타냈다. 부피분율이 증가함에 따라 복합재료의 경도는 증가하나 강도는 부피분율 40%의 경우 크게 저하하는 것으로 나타났다. 강화상의 부피분율이 40%인 $Al_2O_{3p}/AC8A$ 복합재료의 경우 미세조직 관찰에서 여러 부위에서 기공과 기공주위에 입자가 뭉쳐져 있는 조직을 보였는데, 이러한 균일하지 못한 입자의 분포와 높은 기공율이 취약효과로 작용하여 강도가 저하한 것으로 생각된다.

Fig. 9는 부피분율에 따른 $Al_2O_{3p}/AC8A$ 복합재료의 기공율을 나타내고 있다. 평균기공율은 부피분율이 증가함에 따라 각각 2.2%, 2.7%, 7.7%로 증가하는 것으로 나타났으며, 부피분율이 40%인 $Al_2O_{3p}/AC8A$ 복합재료의 경우 기공율도 높을 뿐만 아니라 측정부위에 따른 기공율의 편차가 크게 나타났다.

한편 불연속강화 금속복합재료의 경우, 강화상의 부피분율이 35% 이상에서는 강도 개선의 효과가 없다고 알려져 있는데⁸⁾, 강화상의 부피분율이 높아짐에 따라 계면분리로 생기는 파괴는 증가할 것이 고^{9,10)} 파괴인성은 저하할 것이므로⁵⁾, 높은 강도와

파괴인성을 요구하는 구조재료로의 이용에는 한계가 있음을 알 수 있다.

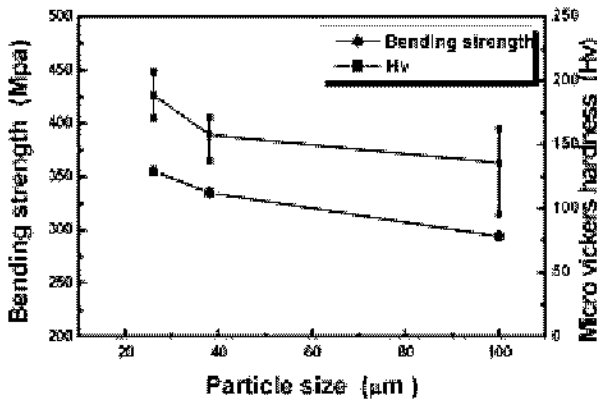


Fig. 7 Variation of bending strength and hard -ness of SiC_p/AC8A composites with varying particle size

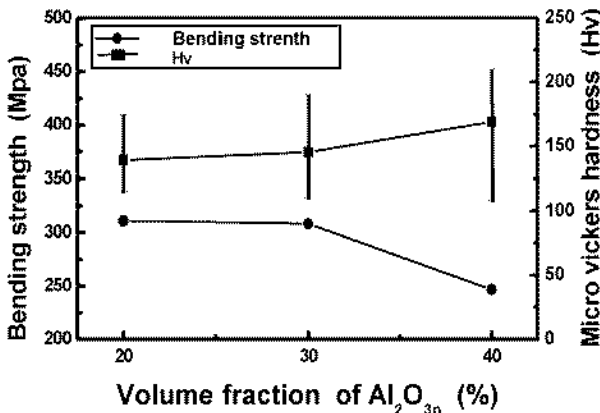


Fig. 8 Variation of bending strength and hard- ness of Al₂O_{3p}/AC8A composites with varying volume fraction of particle

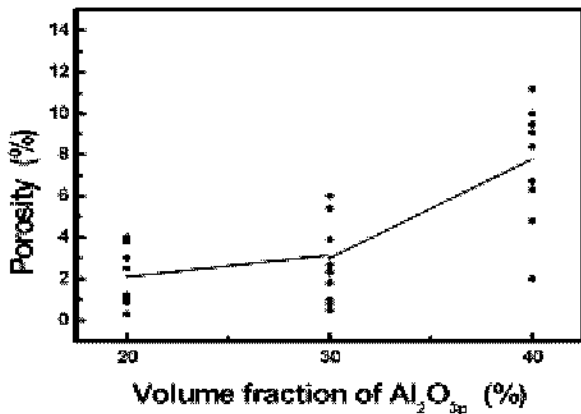


Fig. 9 Variation of porosity level with volume fraction Al₂O_{3p}/AC8A composite

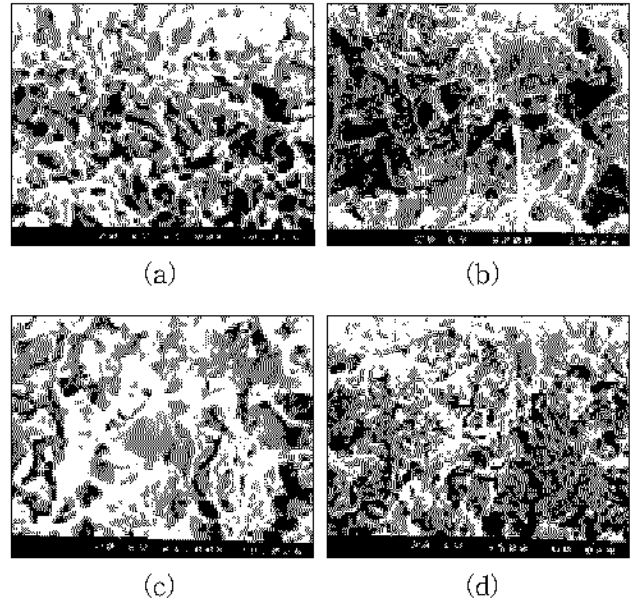


Fig. 10 SEM fractographs of AC8A alloy and MMCs : (a) AC8A alloy, (b) SiC_p/AC8A composite (particle size of 100μm), (c) SiC_p/AC8A composite (particle size of 38 μm), (d) Al₂O_{3p}/AC8A composite (Vf:40%)

3.4 파면 해석

Fig. 10은 기지재료로 사용한 AC8A 합금과 금속 복합재료의 3점굽힘시험에 의한 파단면의 형태를 나타내고 있다. AC8A 합금인 (a)의 경우 작고 많은 덩풀이 관찰되어 전형적인 연성파괴를 나타내고 있으며, 강화상의 평균입경이 100μm인 SiC_p/AC8A 복합재료의 경우, (b)에서 볼 수 있는 바와 같이 입자와 계면이 분리(debonding)되고 강화입자가 뽑혀나가(pull out) 소성변형의 흔적이 없는 매우 취성적인 파단면을 나타내고 있다. 한편 강화상의 평균입경이 38μm인 SiC_p/AC8A 복합재료의 경우, (c)에서 볼 수 있는 바와 같이 기지의 소성변형에 의한 덩풀 패턴과 파괴된 입자가 관찰되고 있다. (d)는 부피분율이 40%인 Al₂O_{3p}/AC8A 복합재료의 파단면으로 파면에 기공이 존재함을 확인할 수 있으며 기공으로부터 발생한 균열이 입자의 계면으로 전파되어 재료 전체가 파괴되고 있음에 비추어 기공이 강도 저하의 가장 큰 원인임을 알 수 있다. 입자강화복합재료의 경우 크랙의 개시와 성장 시 입자는 소성영역에서 파괴되거나 기지재료와의 계면에서 분리되는데, 기지와 입자의 계면결합이 좋은 경우 입자의 파괴가 많아지는 반면에 취약한 계면에서는 입자의 분리가 많아지게 된다¹¹⁾. 그러므로 강화상의 평균입경이 38μm인 SiC_p/AC8A 복합재료의 경우가

강화상의 평균입경이 100 μ m인 SiCp/AC8A복합재료보다 계면결합이 좋은 것을 알 수 있고, 기지와 강화상과의 계면결합강도는 강화입자의 크기에 영향을 받으며 파괴과정에서 매우 중요한 역할을 하여 강도에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

무가압침투법에 의해 제조된 세라믹 입자강화 알루미늄 기지 금속복합재료에 있어서, Mg의 첨가량과 강화상 입자의 크기 및 부피분율의 변화가 복합재료의 기계적 성질에 미치는 영향을 고찰하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Mg 첨가량의 변화는 세라믹입자 강화 알루미늄 기지금속복합재료의 굽힘강도와 경도에 상반된 결과를 나타냈다. 즉 Mg 첨가량의 증가는 경도의 점진적 상승을 가져왔으나, 과도한 Mg 첨가 시 석출물의 조대화와 기공율의 증대를 초래해 굽힘강도를 저하시켰다.
- 2) 강화입자의 크기가 작아짐에 따라, 경도와 굽힘강도는 상승하였다. 경도의 상승은 강화입자의 기하학적 분포에 의한 소성변형의 억제작용에 기인하며, 굽힘강도의 상승은 자발적침투를 유도하는 본 제조법의 특성 때문이다.
- 3) Al₂O₃/AC8A복합재료의 경우 강화상의 부피분율이 40% 이상 될 때는 기공율의 상승으로 저부피분율의 복합재료보다 강도가 낮아졌다.

참고 문헌

1. A. W. Urquhart, 1991, "Novel reinforced ceramics and metal : a review of Lanxide's composite technologies", Mat. Sci. & Eng., Vol. A144, pp.75~82.
2. M. K. Aghajanian, M. A. Rocazella, J. T. Burke and S. D. Keck, 1991, "The fabrication of metal matrix composites by pressureless infiltration technique", J. of Mat. Sci., Vol.26, pp.447~454.
3. M. K. Aghajanian, 1993, "Reinforced Aluminum Metal Matrix Composites Via Pressureless Metal Infiltration", Research Guideline for Aluminum Product Application in Transportation and Industry : ASME

Workshop, pp.45~53.

4. 김재동, 정해용, 고성위, 1999, "In-Situ 반응에 의한 Al₂O₃/Al기 복합재료의 제조", 한국복합재료학회, 제12권 3호, pp.36~44.
5. M. K. Aghajanian, R. A. Langensiepen, M. A. Rocazella, J. T. Leighton and C. A. Anderson, 1993, "The effect of particulate loading on the mechanical behavior of Al₂O₃/Al Metal-Matrix composites", J. of Mat. Sci., Vol.28, pp.6683~6690.
6. H. Nakata, T. Chou and N. Kanetake, 1994, "Development of Spontaneous Infiltration in-situ Production Process for Fabrication of Particulate Reinforced Aluminum Composites", J. of Japan Inst. of Met., Vol.58(7), pp.803~809.
7. K. Sukumaran, S. G. K. Pillai, R. M. Pillai, V. S. Kelukutty, B. C. Pai, K. G. Satyanarayana and K. K. Ravikumar, 1995, "The effects of magnesium additions on the structure and properties of Al-7Si-10 SiC_p composites", J. of Mat. Sci., Vol.30, pp.1469~1473.
8. A. G. Franck, J. M. Quenisset and R. Naslain, 1987, "Discontinuously-Reinforced Aluminum Matrix Composites", Comp. Sci. & Tech., Vol.30, pp.155~183.
9. T. S. Sirvatsan, 1996, "Microstructure, tensile properties and fracture behaviour of Al₂O₃ particulate-reinforced aluminium alloy metal matrix composites" J. of Mat. Sci., Vol.31, pp.1375~1388.
10. T. S. Sirvatsan and J. Viattingly, 1993, "Influence of heat treatment on the tensile properties and fracture behaviour of an aluminium alloy-ceramic particle composites", J. of Mat. Sci., Vol.28, pp.611~620.
11. M. J. Hadinfard, J. Healy and Y. W. Mai, 1994, "The influence of temperature on the mechanical and fracture properties of a 20vol% ceramic particulate-reinforced aluminium matrix composite", J. Mat. Sci., Vol. 29, pp.3906~912.