

In-situ Vacuum Hot Press 공정을 이용한 SiCp/Al 복합재료의 제조

최세원 · 홍성길 · 김영만 · 장시영* · 강창석

전남대학교 금속공학과
*한양대학교 금속재료공학과

Fabrication of SiCp/Al Alloy Composites by In-situ Vacuum Hot Press Process

Se-Weon Choi, Sung-Kil Hong, Youngman Kim, Si-Young Chang* and Chang-Seog Kang

Department of Metallurgical Engineering, Chonnam National University, Kwangju, 500-757

*Department of Metallurgy and Materials Science, Hanyang University, Ansan, Kyunggi-do, 427-791

(2001년 2월 27일 받음, 2001년 6월 25일 최종수정본 받음)

초 록 본 연구에서는 특별하게 고안된 In-situ VHP 제조 공정을 이용하여 상온에서 500°C까지의 진공 열간 압축과 canning 작업 없이 520°C에서 연속 압출을 하여 SiCp/pure Al과 SiCp/2024Al MMCs를 제조하였다. 복합재료의 인장강도와 미세 구조에 영향을 주는 SiC 입자크기, 체적률, 압출비에 대해서 조사하였다. 압출비 10:1의 경우에는 SiCp/pure Al과 SiCp/2024Al 복합재료 둘 다 건전한 외형과 SiCp의 일정한 분산을 가지면서 SiCp의 균열이 없는 좋은 미세 구조를 가지고 있었다. 그러나 압출비 16:1의 경우에는 체적률이 증가할수록 파괴된 SiC 입자의 수가 증가하였으며 2024Al 기지내의 복합재료와 순수한 Al 기지재 복합재료를 서로 비교하였다. 동일한 체적률과 압출비의 경우에는 SiCp의 크기가 작은 복합재료가 SiCp가 큰 복합재료보다 인장강도가 더 높았다.

Abstract SiCp/pure Al and SiCp/2024Al MMCs were fabricated by in-situ VHP process designed specially just in this study which is composed of the vacuum hot press at range from R.T. to 500°C and the continuous extrusion without canning process at 520°C. It was investigated the effect of SiC particle size, volume fraction and extrusion ratio on the tensile properties and micro structure in all composites. In case of the 10:1 extrusion ratio, but SiCp/pure Al and SiCp/2024Al composites were shown a sound appearance and a good micro structure without crack of SiCp as well as uniform distribution of SiCp. However, in case of the 16:1 extrusion ratio, the number of cracked SiC particles more than increased in a higher volume fraction composite and 2024Al matrix composite compared with pure Al matrix one. The tensile strength of the composites reinforced smaller SiCp was higher than that of the bigger SiCp reinforced in same volume fraction and extrusion ratio.

Key words : SiCp/pure Al, SiCp/2024Al, vacuum hot press(VHP), microstructure, tensile strength, elongation

1. 서 론

단섬유 강화 금속기복합재료(MMC : Metal Matrix Composite)는 단일 금속에 비해 고비강도, 고비탄성률 및 제조방법에 따라서 경제적이면서도 요구되는 물성을 필요에 따라 설계할 수 있는 등의 장점을 가지고 있다. 이런 MMC의 제조 방법은 기지재료인 금속의 상태에 따라서 크게 세 가지로 분류할 수 있다. 첫째 고상 금속을 확산이나 소성변형을 이용하여 강화재와 복합시키는 고상법, 둘째 액상금속을 강화재의 예비성형체 내의 미소 공극으로 채워서 응고시키는 액상법, 셋째 반응용 상태의 기지재와 고상 상태의 강화재를 혼합하여 교반하거나 프리폼에 가압하는 반응용법 등으로 나눌 수 있다.¹⁾ 한편 최근에는 in-situ 반응을 이용한 제조법이 개발되어 실용화되고 있다.²⁾ 각각의 제조법은 장단점을 지니고 있어서 제품의 특성과 용도에 알맞은 제조방법의 선택이 요구된다.

고상법에 속하는 분말야금법은 제조 공정이 비교적 복잡

하지만 용탕단조(혹은 고압주조)^{3,4)}나 반응용법인 컴포캐스팅 등에 비하여 낮은 온도에서 복합재료를 제조하므로 강화재와 기지사이의 화학반응이 상대적으로 억제되어 계면 반응에 의한 악영향을 줄일 수 있고, 휘스커, 단섬유, 입자 등의 강화상의 체적률 조절이 용이하여 저체적률에서부터 고체적률의 복합재료를 비교적 편리한 방법으로 균일하게 분포시킬 수 있는 장점을 가지고 있다.^{5,6)} 그러나 원재료인 분말이 고가여서 주조법에 비하여 상대적으로 제조단가가 비싸고 제조환경이 대기중인 경우에는 입자간의 공극에 가스나 공기의 혼입으로 인한 산화물발생이나 원재료인 분말 표면의 산화물이 복합재료 내에 존재하게되어 결합으로 작용할 수 있다.⁷⁾ 따라서 산화물발생을 억제하기 위하여 고진공의 챔버 내에서 고온·고압으로 성형하는 HIP(hot isostatic press)을 이용하여 제조하는 방법을 사용하였으나 제조비용이 고가여서 제품에 따라서는 저진공에서 열간가압 성형하는 VHP(vacuum hot pressing)법을 이용하기도 한다. 그러나 VHP공정에서는 혼합된 분말내의 가스 함

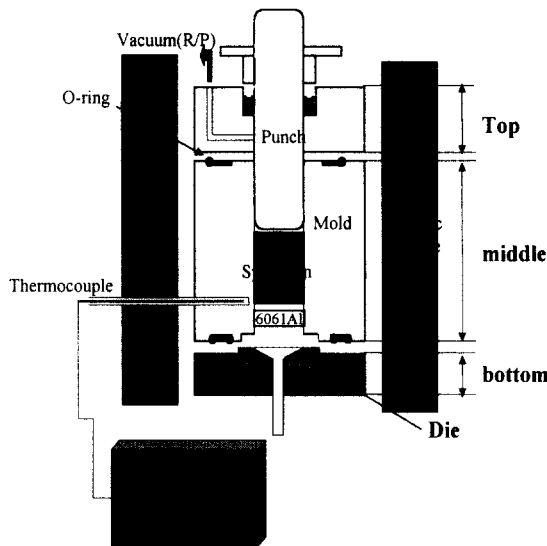


Fig. 1. Schematic of apparatus for in-situ VHP and extrusion.

유량을 최대한 낮게 하여 압축밀도를 높이고 산화물과 같은 이물질의 함유량을 감소시키기 위하여 압출하기 전의 공정으로 필히 진공으로 canning하여 제조하는데 이러한 canning 공정에 의하여 결과적으로 제조단가가 높아지게 된다.

따라서 본 연구에서는 SiCp/Al합금 복합재료에 대하여 VHP법을 이용하여 압축성형한 후 canning 공정을 거치지 않고 직접 압출 공정을 연속적으로 행하는 소위 in-situ VHP 제조공법을 독자적으로 창안하여 강화재 입자의 크기, 체적률, 압출비 등의 공정변수에 따른 복합재료의 미세 조직과 기계적 특성에 대한 영향을 조사하였다.

2. 실험 방법

In-situ VHP법에 의하여 SiCp/Al합금 복합재료를 제조하였다. 강화재는 평균 입도 $5\mu\text{m}$ 와 $20\mu\text{m}$ 의 크기분포를 가지는 불규칙한 다면체 형상의 SiC입자(일본 제일 Grinding Wheel 社)를 사용하였다. 기지재로서는 순수한 Al분말(일본 동양알루미늄(주))은 평균 입도가 약 $27\mu\text{m}$ 인 구형의 입자와, 용탕분무법으로 제조된 평균입자크기 $45\mu\text{m}$ 2024Al분말을 본 실험에서 사용하였다. 기지재 분말인 순수한 Al분말의 조성은 0.007wt.%Si, 0.005wt.%Fe, 0.005wt.%Cu를 포함하고 있었고, 2024Al분말은 일반적인 2024Al의 조성이다.

2-1. In-situ VHP

그림 1에 in-situ VHP에 사용된 장치도를 개략적으로 나타내었다. 복합재료 성형을 위해 사용된 몰드는 고온에서도 진공을 유지할 수 있도록 설계되었고, 압축 하부다이와 압출 다이와의 교체용 몰드를 감싸고 있는 노는 개폐 가능한 원통형 노를 설치하였다. 몰드 내의 진공도는 로타리 진공펌프를 이용하여 1.3Pa 정도의 진공을 얻었다.

기지재와 강화재인 SiCp의 균일한 혼합을 위하여 두 가지 입도를 가지는 SiC입자($5\mu\text{m}$, $20\mu\text{m}$)를 각각 체적률 10,

20, 30, 40V/o로 환산하여 기지재 분말과 함께 70cc의 원통형 용기에 장입한 후 3축 진동 혼합기를 이용하여 200rpm으로 30분간 기계적 교반을 행하였다. 이렇게 혼합된 분말을 몰드에 장입한 후 분말이 진공펌프로 역류하는 것을 막기 위해 상온에서 150MPa로 1분간 2회 압축한 후 로터리 펌프로 초기진공이 1.3Pa가 되었을 때 100°C 로 승온시켰다. 이렇게 하여 500°C 까지 승온하는 과정에서 각 100°C 마다 20분씩 유지한 후 450MPa의 압력으로 1분간 2회씩 반복하여 가압하였다. 탈 가스 처리를 행하면서 고온 압축이 끝나면 압출 하부다이를 압출용 다이로 교체한다. 압축된 시료와 압출다이 사이에는 피복재로 성형성이 우수한 6061Al 피복재를 압축된 시료의 10% 두께를 가지도록 장입한 후 다시 온도를 520°C 까지 승온하였다. 520°C 에서 30분간 유지한 후 1.5mm/sec의 램 속도로 SiCp/pure Al은 10:1, SiCp/2024Al은 10:1과 16:1의 압출비로 각각 압출하였다. 압출재는 직경이 8mm로 길이는 조건에 따라 조금씩 다르나 대략 300mm 정도를 얻을 수 있었다. 이때의 압출 다이각은 60° 이다.

2-2. 밀도측정 및 인장시험

압출된 복합재료의 압출비에 따른 밀도변화를 알아보기 위해 밀도측정을 실시하였다. 밀도측정은 ASTM 규격(C914-95)을 이용하여 SiC입자 체적률에 따라 각각 3회 측정된 것을 평균하였다. 이렇게 평균된 밀도는 이론밀도로 나누어 상대밀도를 계산하였고 각 제조조건에 따른 밀도변화를 비교하였다.

압출비 변화에 따른 기계적 특성을 알아보기 위해 인장시험은 진공열간가압 성형 후 압출을 실시한 봉상의 SiCp/2024Al 복합재료를 이용하여 제작하였다. 인장시험은 만능인장시험기(STM-5)를 이용하여 ASTM 규격(D638)을 사용하였다. 크로스헤드 속도는 0.033mm/sec로 일정하게 유지하면서 상온에서 인장하였다. 인장시험 후 파단면의 관찰은 SEM을 이용하여 관찰하였다.

2-3. 계면생성을 관찰

SiCp/2024Al 복합재료의 제조시 계면에서의 생성물 발생 유무를 알아보기 위해서 전해 추출법으로 SiCp만을 추출하였다. 전해추출은 33% HNO_3 과 67% H_2O 를 혼합한 전해용액을 사용하였고, 전류는 DC 5Volts, 25 Amp.를 사용하였다.⁹⁾ 또한 전해액에 의해 계면생성물의 분해가 발생할 수 있어서 시편표면에 남아있는 잔류 전해액을 알코올로 제거 건조한 시편을 SEM을 이용하여 그 표면을 관찰하였고, 계면생성물은 XRD를 이용하여 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3-1. 공정조건(압출비, 기지재, 체적률, 입자크기)과 조직

압출 조건은 모든 시편에 대하여 일률적으로 상온에서부터 500°C 까지 압축과정을 반복하면서 압축된 복합재료에 대하여 압축 하부다이를 압출다리로 교환 후 6061Al 피복재를 넣고 520°C 까지 승온 시켜 30분간 유지 후 압출하였다. 그림 2에 강화재인 SiCp의 크기가 $5\mu\text{m}$ 일 때 순수한

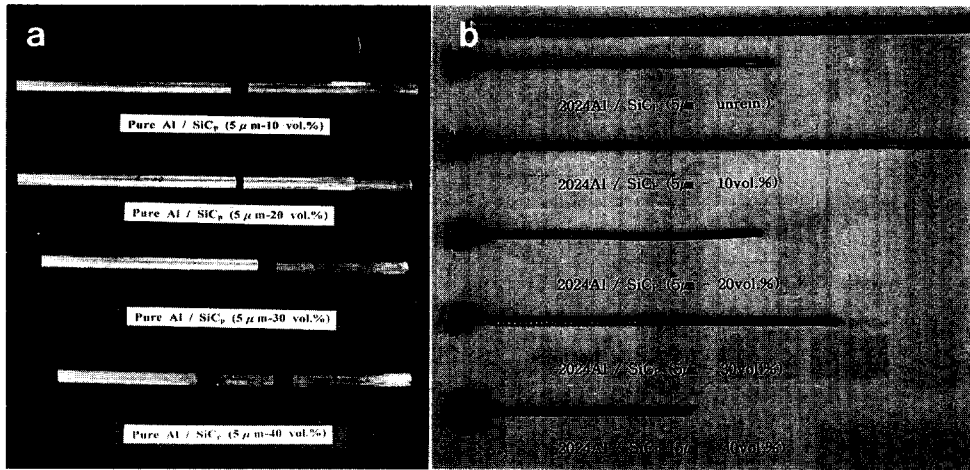


Fig. 2. Photographs of extruded SiCp/Al composites.
(a) SiCp(5 μ m)/pure Al(extrusion ratio 10:1). (b) SiCp(5 μ m)/2024Al(extrusion ratio 16:1).

Al과 2024Al에 압출비를 각각 10:1과 16:1로 하였을 때의 압출한 복합재료의 외관사진을 SiCp의 체적률에 따라서 나타내었다. SiCp/pure Al의 경우 강화재 체적률이 40V/o로 상승하여도 압출재의 외관에는 결함이 존재하지 않았다. 그러나 2024Al을 기지재로 사용한 복합재료의 경우에는 순수한 Al을 기지재로 사용한 경우에 비하여 압출비가 다르긴 하지만 그림 2(b)에 나타난 SiCp/2024Al(5 μ m, 30V/o)의 시편에서 볼 수 있듯이 심한 가로균열이 발생하기도 하였다. 이러한 가로균열은 압출 다이의 중심과 가장자리에서의 물질의 유동속도차이 때문에 생기므로 다이의 온도와 압출 속도에 민감한 영향을 받는다고 알려져 있다.⁹⁾ 그러나 동일한 SiCp/2024Al(5 μ m)의 경우에 있어서 압출비를 16:1에서 10:1로 낮춘 경우에 강화재의 체적률이 30, 40V/o의 고체적률에 있어서도 표면에서의 가로균열이 없고 강화재가 균일하게 분포한 건전한 압출재를 얻을 수 있었다.¹⁰⁾ 다시 말하여 SiCp가 5 μ m이고 압출비가 16:1로 큰 경우에는 10, 20V/o의 비교적 저체적률에서는 시편제조가 용이하였으나 30, 40V/o에서는 가로균열이 발생하거나 압출이 잘 되지 않았고 압출 압력을 높여도 압출이 곤란하였다. 이것은 압출비의 상승이 가로균열과 관련이 있으며 특히 520 $^{\circ}$ C의 압출 온도에서 순수한 Al에 비하여 유동성이 나쁜 2024Al의 경우에는 중심부와 가장자리의 유동속도의 차이가 커서 가로균열이 발생하였을 것으로 생각된다.¹⁰⁾

관련 이미 보고한 바 있지만⁹⁾ 강화재 크기가 20 μ m의 경우에는 10, 20V/o에서는 비교적 건전한 시편을 얻을 수 있었으나 30~40V/o에서는 극심한 가로균열이 발생되었다. 압출을 용이하게 하기 위해 다이의 온도를 550 $^{\circ}$ C로 높이고 압출 속도를 1mm/sec로 낮추었을 경우에도 가로균열이 극심하게 발생하여 건전한 시편제조가 거의 불가능하였다.⁹⁾ 즉 강화재인 SiCp의 입자크기가 클수록 압출시의 기지재의 유동성을 저해하고 동시에 입자가 받는 압력저항이 커서 가로균열이 심해지고 또한 체적률이 높은 경우에는 압출 온도

를 높여도 압출이 불가능하게 된 것으로 생각된다. 제조된 복합재료의 압출에 따른 기지재 내의 강화재 분포를 알아보기 위해 광학현미경으로 미세 조직을 관찰하였다. 그림 3과 그림 4는 SiC 입자의 평균크기가 각각 5 μ m, 20 μ m인 SiCp/pure Al을 10:1의 압출비로 압출한 강화재 체적률이 각각 10, 20, 30, 40V/o인 복합재료의 단면 미세 조직이다. 강화재인 SiCp의 크기에 관계없이 균일하게 분포하고 있으며, 그림 4에서 볼 수 있듯이 입자크기가 20 μ m인 경우에 있어서도 10:1의 압출비로 압출시 입자가 손상을 받지 않고 원형 그대로 존재하며 동시에 계면에서의 결합은 관찰되지 않음을 알 수 있다. 그림 5는 SiC 입자의 크기가 각각 5 μ m, 20 μ m인 SiCp/2024Al을 압출비 10:1로 압출한 체적률이 비교적 낮은 10, 20V/o의 복합재료시편의 단면 조직이다. 강화재의 분포가 비교적 균일하며 SiC 입자의 현저한 손상은 크게 관찰되지 않는다. 그러나 SiCp 체적률이 30, 40V/o로 높아지면 그림 2의 압출재 외관사진에서도 볼 수 있듯이 가로균열이 발생하고, 압출비가 10:1처럼 낮은 경우에도 압출이 되지 않았다. 이러한 현상은 2024Al 분말의 조성중에 Al의 고온소성유동성을 저해하는 Cu 및 Mg 원소가 다량 함유되어 있기 때문으로 생각된다. 즉 고온 강도를 증대시키는 원소의 첨가에 의하여 압출시의 기지재의 소성변형에 대한 저항이 커서 낮은 압출비임에도 불구하고 압출이 어려웠다고 생각된다.

그림 6과 그림 7은 압출비를 높여서 16:1로 압출한 SiCp/2024Al 복합재료의 단면조직이다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 SiC 입자의 크기가 작은 5 μ m의 경우에는 압출비가 높음에도 불구하고 SiCp의 체적률이 높아져도 입자의 분포도 균일하며 입자의 손상이 관찰되지 않는다. 그러나 그림 7처럼 SiC 입자가 20 μ m으로 큰 경우에는 화살표로 나타난 것처럼 압출시 과도한 소성변형 저항에 의하여 입자가 부분적으로 파괴됨을 알 수 있으며, 체적률이 10V/o에서 30, 40V/o로 높아질수록 SiC 입자가 많이 파괴되어 원래의 평균입자크기보다 작아짐을 알 수 있다. 큰 강화재의 파괴는

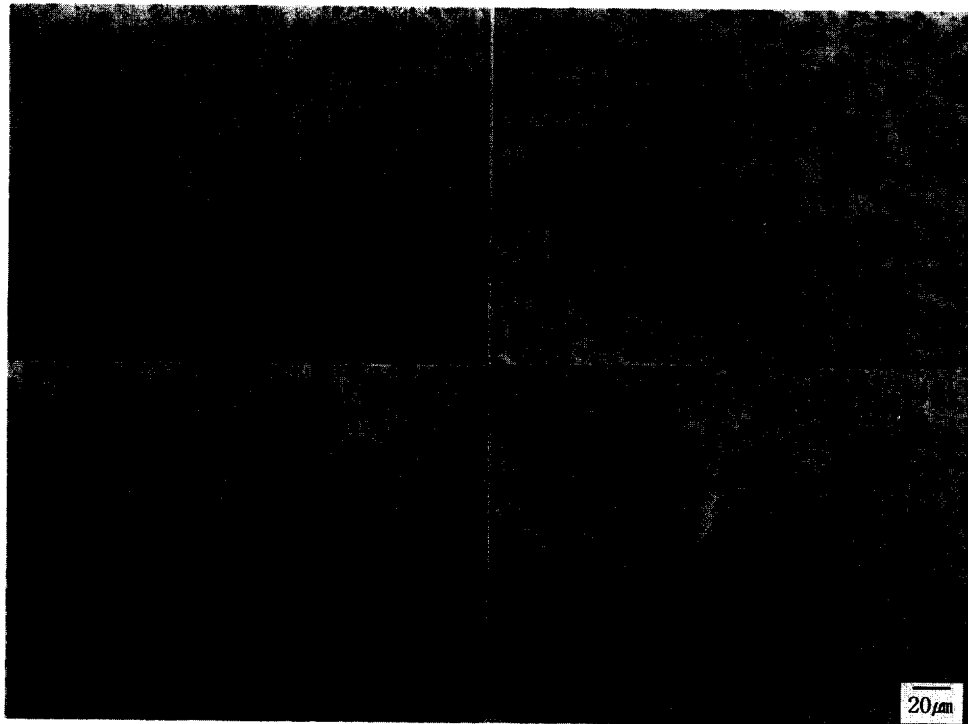


Fig. 3. Microstructure of extruded pure Al with 10 to 40% by volume SiCp(5µm)(extrusion ratio 10:1). (a) 10V/o (b) 20V/o (c) 30V/o (d) 40V/o

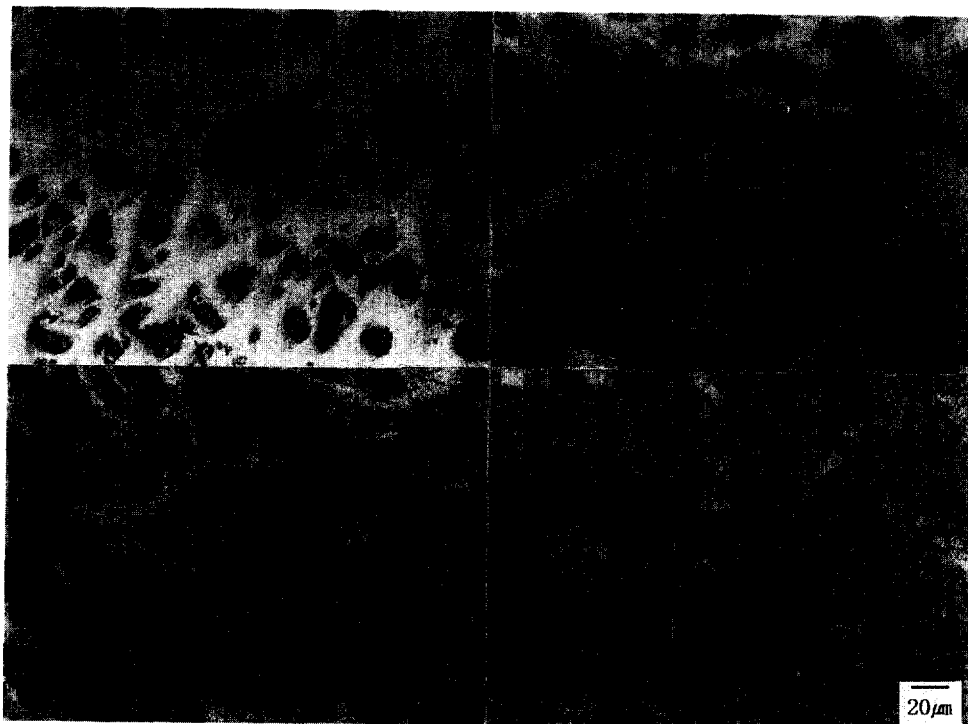


Fig. 4. Microstructure of extruded pure Al with 10 to 40% by volume SiCp(20µm)(extrusion ratio 10:1). (a) 10V/o (b) 20V/o (c) 30V/o (d) 40V/o

처음부터 입자크기가 미세한 강화재를 사용한 경우에 비하여 계면에서의 결합력이 저하하여 인장강도를 크게 감소시키는 원인으로 생각된다. 따라서 압출비를 증가시킬 때는 기지재의 고온 소성변형 저항을 고려하여 강화재의 크기를

선택할 필요가 있다고 판단된다.

3-2. 밀도변화

그림 8은 SiC입자의 크기가 다른 SiCp/pure Al에 대하여 10:1의 압출비로 압출 제조한 복합재료에 대하여 각 체

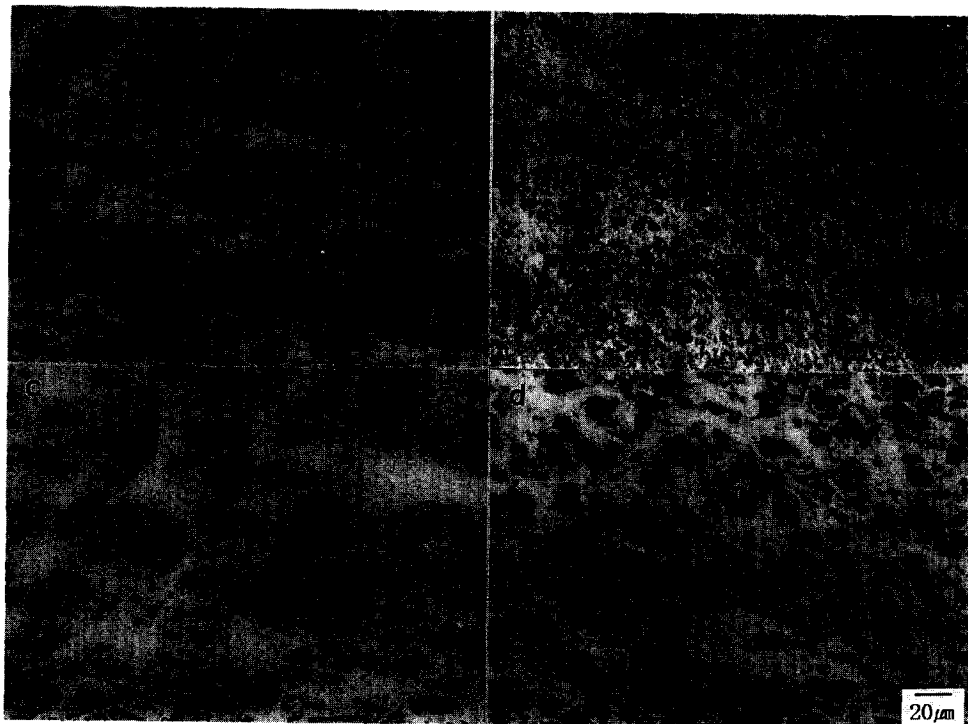


Fig. 5. Microstructure of extruded SiCp/2024Al composites(extrusion ratio 10:1).

(a), (b) SiCp(5 μ m)/2024Al with 10 to 20% by volume SiCp. (c), (d) SiCp(20 μ m)/2024Al with 10 to 20% by volume SiCp.

적들 별로 상대밀도를 측정한 결과이다. 기지재가 순수한 Al인 경우에는 모든 압출비 하에서 SiC입자의 체적률이 증가함에 따라 상대밀도가 약간 감소함을 알 수 있다. 이는 SiC입자의 체적률이 증가할수록 SiC입자 사이의 공극 및 기지재와 강화재간의 계면에서 발생할 수 있는 결합의 빈도가 증가하기 때문에 상대밀도가 저하된 것으로 생각된다. 그러나 SiCp/pure Al의 경우에는 고체적률의 경우에도 본 연구에서 사용한 제조법을 이용하여 10:1의 압출비로도 상대밀도가 아주 높은(98% 이상) 우수한 압출재를 제조할 수 있음을 알 수 있다.

그림 9는 압출한 SiCp/2024Al 복합재료의 상대밀도에 있어서 SiC 입자크기 및 압출비의 영향을 체적률로 나타낸 결과이다. 그림 8의 결과와는 달리 기지재가 순수한 Al에서 2024Al으로 변경됨에 따라서, 동일한 10:1의 압출조건에서 제조한 복합재료의 상대밀도가 크게 저하함을 알 수 있다. 또한 SiCp/2024Al 복합재료의 밀도는 SiC입자의 크기와 관계없이 압출비가 10:1에서 16:1로 증가함에 따라 모든 체적률에서 상대밀도가 증가됨을 알 수 있다. 이는 압출비가 증가할수록 SiC입자와 기지재의 계면에서 미세한 공극들의 생성이 억제되기 때문으로 생각된다.⁹⁾ 그러나 SiC입자 크기가 20 μ m처럼 큰 경우에는 압출 과정에서 SiC입자의 파괴가 두드러져 파괴된 입자 사이에 공극이 늘어나는 현상이 발생하였고 이러한 공극이 밀도 측정에 많은 영향을 미친 것으로 생각된다. SiC입자의 크기가 큰 20 μ m의 경우에 5 μ m의 경우와 달리 체적률 20V/o에서 특히 상대밀도가 급격히 감소하였는데 그 특별한 원인은 알 수 없었다. 그림 10은 520 $^{\circ}$ C에서 압출한 복합재료의

SiC입자의 크기와 체적율의 변화에 따른 압출 압력을 나타내고 있다. 여기에 나타난 압출 압력은 압출시 최대가 되는 압력을 나타낸 것이고, 그림에서 보는 바와 같이 SiC입자의 체적률과 크기가 증가할수록 압출 압력이 비례적으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 SiC입자의 체적률이 증가할수록, 입자크기가 증가할수록 압출에 있어서의 소성변형 저항이 증가함을 의미한다.

3-3. 인장특성

압출비의 변화가 인장강도에 미치는 영향을 알아보기 위해 10:1과 16:1로 각각 압출된 SiCp/2024Al 복합재료를 가지고 인장시험을 실시하였다. 그림 11은 분말압출된 각 시편의 SiC입자의 체적률에 따른 인장강도와 연신율의 변화이다. 압출비가 10:1인 경우(그림 11 a) SiCp 체적률의 증가에 따라 인장강도가 선형적으로 증가하고 반면 연신율은 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 동일한 체적률의 경우에는 강화재의 입자크기가 작을수록 인장강도가 높아지고 연신율은 거의 대등한 값이 되는 것을 알 수 있다. 한편 압출비를 16:1로 높인 경우(그림 11 b)에는 동일한 체적률에서 역시 강화재의 크기가 미세할수록 인장강도는 증가함을 알 수 있다. SiC 입자크기가 5 μ m로 동일한 경우에는 압출비가 증가함에 따라서 SiCp 체적률이 10V/o의 경우 SiCp(5 μ m)/2024Al의 인장강도가 148MPa에서 332MPa로, 20V/o의 경우 170MPa에서 335MPa로 2배 이상 증가함을 알 수 있다. 이러한 현상은 SiCp(20 μ m)/2024Al의 경우처럼 강화재의 입자가 클 경우 체적률이 높은 복합재료의 압출에 어려움이 있기는 하지만 압출비의 증가에 따라 인장강도가 크게 증가함을 알 수 있다. 이처럼

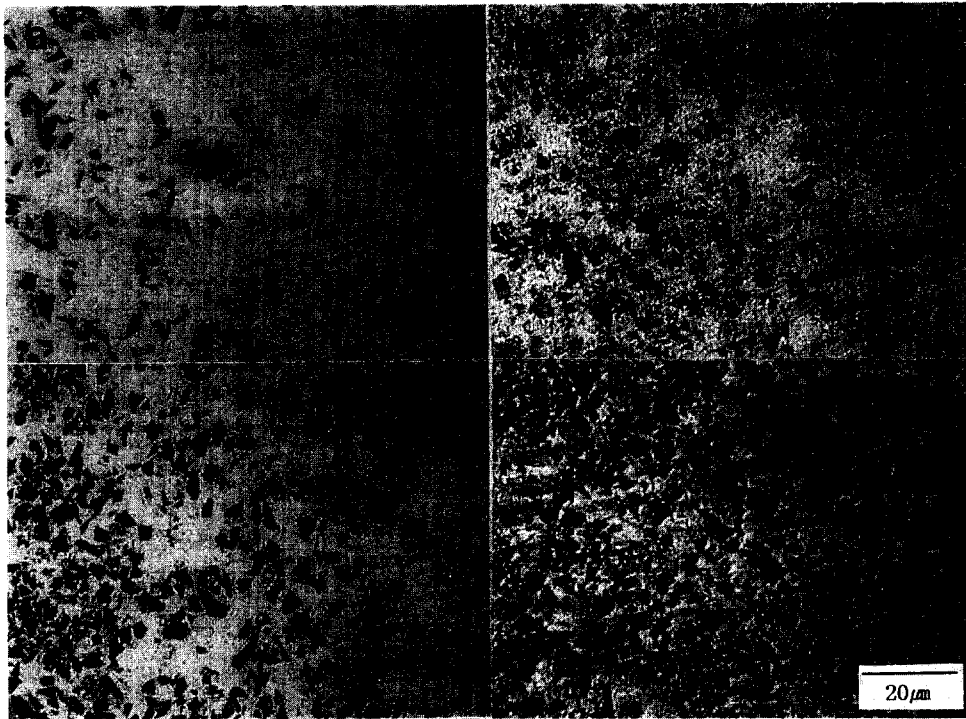


Fig. 6. Microstructure of extruded 2024Al with 10 to 40% by volume SiCp(5µm)(extrusion ratio 16:1). (a) 10V/o (b) 20V/o (c) 30V/o (d) 40V/o

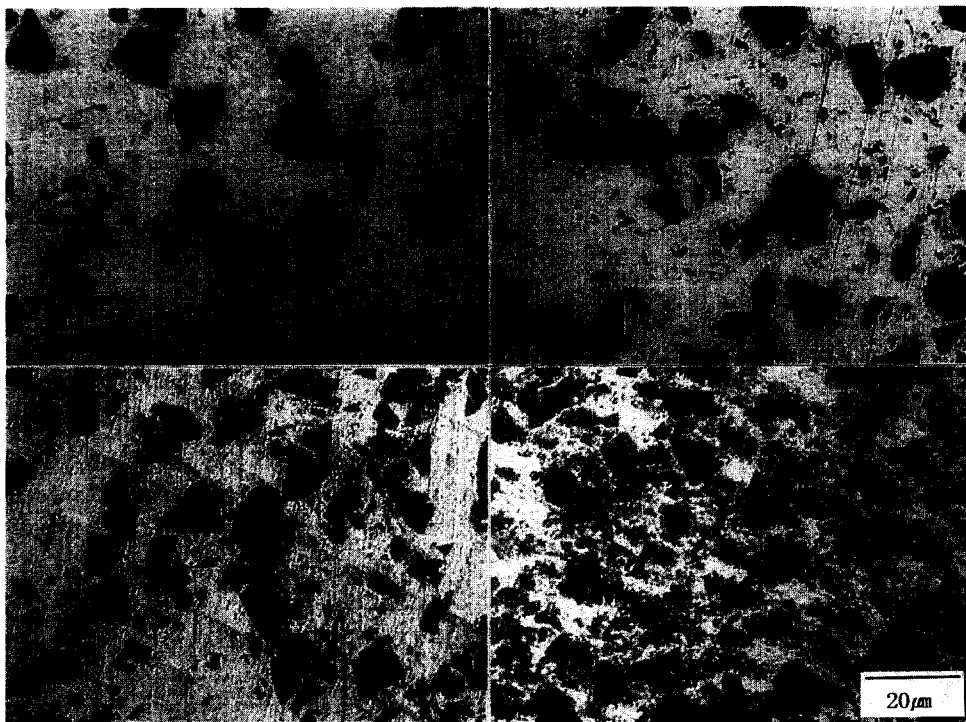


Fig. 7. Microstructure of extruded 2024Al with 10 to 40% by volume SiCp(20µm)(extrusion ratio 16:1). (a) 10V/o (b) 20V/o (c) 30V/o (d) 40V/o

압출한 SiCp/2024Al 복합재료의 인장강도가 동일한 체적률에 있어서 압출비의 증가에 따른 인장강도의 커다란 증가는 압출비의 증가로 인해 기지재와 SiCp계면의 밀착성이나 결합력이 증가하여 응력 전달이 더욱 효율적으로 발생하였

기 때문으로 생각된다.^{11~13)} 한편 연신률에 있어서는 인장강도와 반대로 압출비의 증가로 인하여 크게 감소하며, 강화재의 입자크기가 작은 복합재료가 상대적으로 연신률이 높음을 알 수 있다.

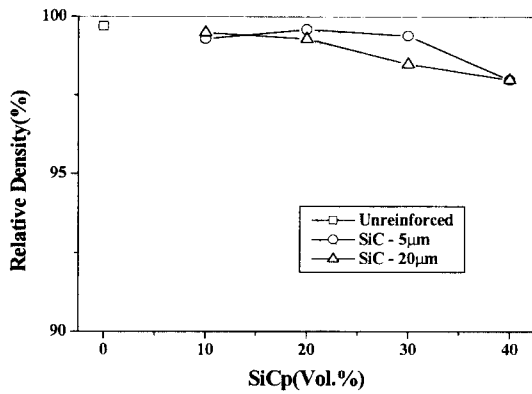


Fig. 8. Relationship between the SiC particle content and relative density for the SiCp/pure Al composites extruded with extrusion ratio of 10:1.

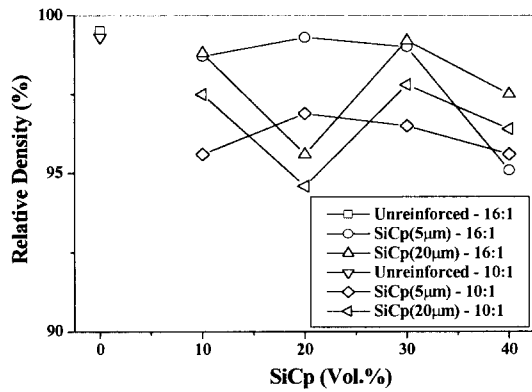


Fig. 9. Relationship between the SiC particle content and relative density for the SiCp/2024Al composites extruded with extrusion ratio of 10:1 and 16:1.

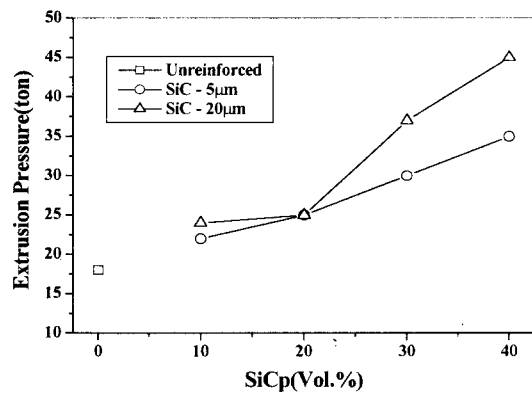


Fig. 10. Relationship between the SiCp volume fraction and extrusion pressure for the SiCp/pure Al composites.

그림 12는 SiCp의 크기가 20μm인 SiCp/2024Al 압출 복합재료의 상온에서의 인장시험 후 파단면의 SEM 사진이다. 압출비 10:1로 압출한 10, 20V/o 복합재(그림 12 a, b) 및 16:1로 압출한 10V/o 복합재료의 파단면은 전체적으로 강화상 주변의 dimple 파면(그림 12 c)을 관찰할 수 있지만, 압출비 16:1의 20V/o 경우의 복합재(그림 12 d)는 강화상이 파괴되어 있거나 강화재가 기지재와의 계면에

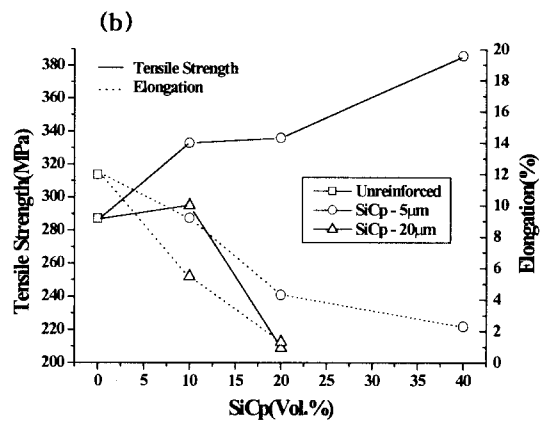
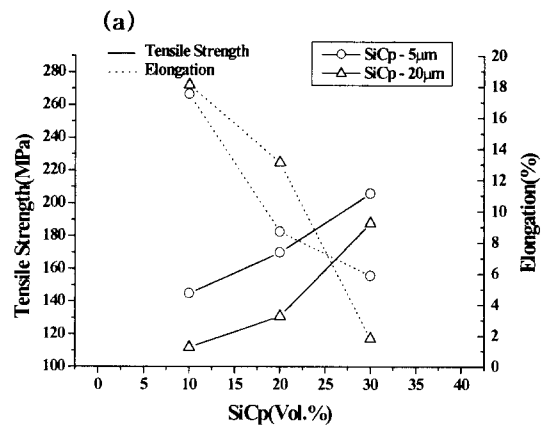


Fig. 11. Comparison of tensile strength and elongation on SiCp/2024Al composites with extrusion ratios. (a) Extrusion ratio of 10:1 (b) Extrusion ratio of 16:1

서 분리된 거친 취성파면을 관찰할 수 있다. 이렇게 SiC 입자의 크기가 크고 체적률이 20V/o처럼 높은 복합재의 경우에 있어서 SiC 입자의 파괴가 많이 관찰되는 것은 그림 11 b의 결과에서도 20V/o의 경우에는 인장강도가 급감한 것으로 보아 인장시험전의 압출 과정에서의 소성변형 저항이 커서 SiC는 입자가 파괴된 것으로 추측된다.

그림 13, 14는 SiCp/2024Al 압출 복합재료에 대하여 전해 추출법으로 추출된 SiCp의 표면을 SEM으로 관찰한 사진과 XRD분석 결과이다. SiCp 표면에서는 뚜렷한 계면 생성물의 발생을 관찰할 수 없었으며 XRD분석에서도 SiC만이 검출될 뿐 MgAl₂O₄와 같은 계면생성물은 검출되지 않은 것으로 보아 본 연구와 같은 고상법에 의하여 제조할 경우 액상법에서 최우선적으로 생성되는 스피넬 타입의 MgAl₂O₄와 같은 계면 생성물은 극소량에 불과하다고 생각된다. 그러나 강화재인 SiCp의 표면을 강제 산화시켜 표면에 SiO₂를 생성시킨 후 본 연구와 동일한 방법으로 제조한 복합재료에서는 SiCp 표면에 다량으로 MgAl₂O₄가 생성함이 확인되었다.¹⁴⁾

4. 결 론

순수한 Al 및 2024Al 합금 분말과 SiC 입자의 크기가

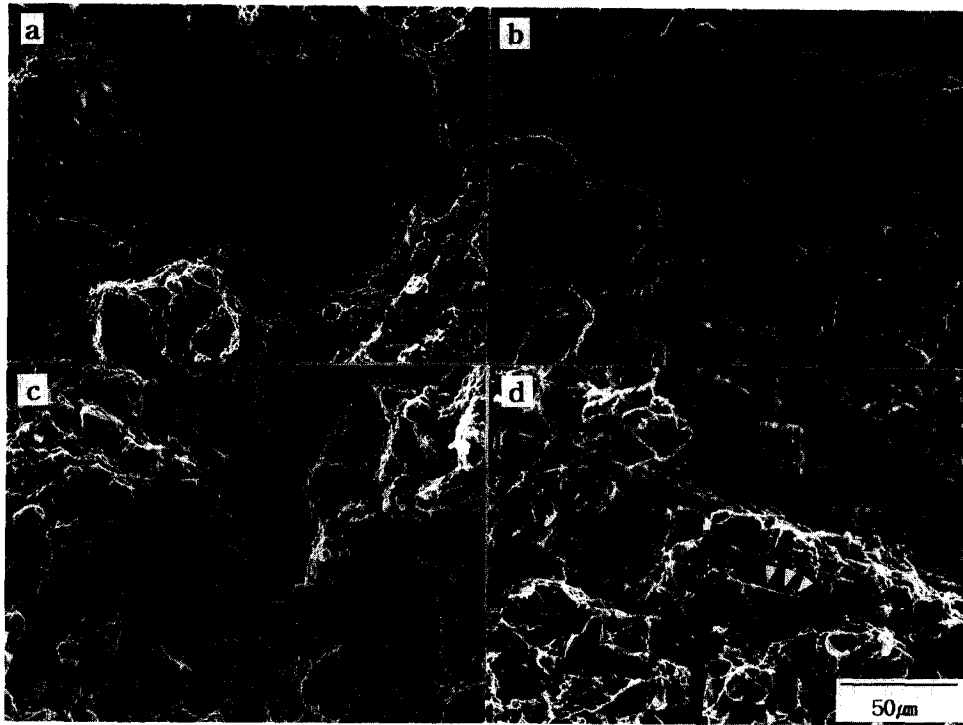


Fig. 12. SEM fractography of SiCp/2024Al composites at R.T. tensile test. (a), (b) SiCp(20µm) with 10 to 20V/o(extrusion ratio 10:1). (c), (d) SiCp(20µm) with 10 to 20V/o(extrusion ratio 16:1).



Fig. 13. SEM micrograph showing the surface morphology of SiCp extracted from SiCp/2024Al.

다른 복합재료를 in-situ VHP법에 의해 압출비를 10:1과 16:1로 달리하여 각각의 체적률에 대하여 제조하여 기계적 특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 압출비가 10:1의 경우에는 6061Al 피복재를 사용해서 압출한 결과 압출 속도 1~2mm/sec에서 가로균열의 발생이 없는 건전한 시편을 얻을 수 있었다. 압출비가 16:1의 경우, 체적률이 증가하면 극심한 가로균열이 발생하여 시편제작이 곤란하였다.

2) 압출비가 10:1일 때는 강화재의 크기(5, 20µm)에 관계없이 강화재의 파괴 현상을 관찰할 수 없었으나, 압출비가 16:1로 커졌을 때는 압출시의 큰 소성변형을 이기지 못한 강화재의 파괴 현상이 강화재의 크기가 클수록 또한 기

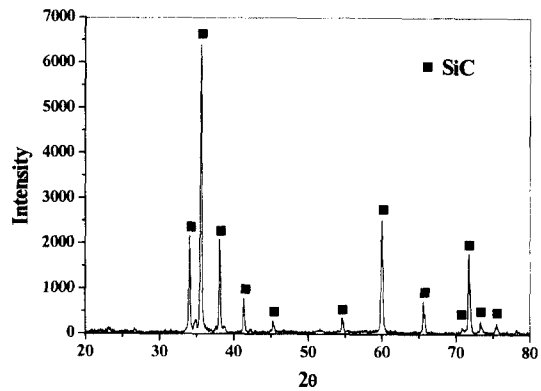


Fig. 14. X-ray diffraction pattern of SiC particles in SiCp/2024Al.

지재가 2024Al의 경우 더욱 두드러졌으며, 강화재의 체적률이 증가할수록 파괴되는 입자의 수도 증가하였다.

3) 고온 압축성형을 통해 이론밀도에 가까운 상대밀도를 얻을 수 있었고, 압출비가 증가할수록 상대밀도는 증가하였으나 SiCp/2024Al 복합재료 중 강화재 크기가 20µm인 경우에는 압출 과정에서 강화재의 파괴가 밀도에 많은 영향을 주었다.

4) 인장강도는 강화재의 크기가 작으면서 체적률이 높아지면서 동시에 압출비가 클수록 증가하였으나, 강화재가 큰 경우에는 체적률이 높아질수록 압출시의 큰 소성변형 저항으로 강화재가 파괴되어 오히려 인장강도가 크게 저하하였다.

5) 본 실험에 사용한 압출 공정은 일반적인 P/M공정에

비하여 캐닝 공정을 생략하는 공정단축으로 생산성이 향상되었고, 용탕단조에 비하여 훨씬 낮은 온도에서 제조할 수 있으므로 기지재와 SiC 입자간의 계면반응을 억제하여 전전한 금속기복합재료를 얻을 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 1998~1999년도 전남대학교 학술연구비 지원에 의하여 수행된 것으로 이에 감사 드립니다.

참고 문헌

1. Shiro Kohara, 輕金屬, **40**, 703 (1990).
2. Takao Choh, 輕金屬, **46**, 195 (1996).
3. 洪性吉, 手塚餘裕康, 神尾彰彦 : 輕金屬, **43**, 82 (1993).
4. 洪性吉, 手塚餘裕康, 神尾彰彦 : 輕金屬, **43**, 328 (1993).
5. D.L. Erich, Int. J. Powder Metall., **23**, 45 (1987).
6. F.Kloucek, Int. J. Powder Metall., **23**, 701 (1987).
7. J. L. Estrada, J. Duszczyk, J. Mat. Sci., **26**, 3909-3913 (1991).
8. Jae-Chul Lee, Ji-Young Byun, Sung-Bae Park and Ho-Lee : Acta mater., **46**, 1771 (1998).
9. 이동녕 : 소성가공학, 문운당 (1998).
10. Ki-Hyun Cho, Kyungmin Lee, Sung-Kil Hong and Youngman Kim, J. Kor. Inst. Met. & Mater., **37** (9), 1069 (1999).
11. I. Dutta, C.P. Harper and G. Dutta : Metall. Trans. A, **25**, 1591 (1994).
12. T. Christman and S. Suresh : Acta Metall., **36**, 1691 (1988).
13. C.Y. Barlow, N. Hansen : Acta Metall., **39**, 73 (1991).
14. Jong-Hoon Jeong, Jae-Chul Lee and Youngman Kim, J. Kor. Inst. Met. & Mater., **38** (9), 1240 (2000).