

|||||||
論 文
|||||||

SiC 입자로 분산 강화된 고력 알루미늄 합금 복합재료의 기계적 성질

이의길 · 최 운* · 남승의*

Mechanical Properties of High Strength Aluminum Alloy Composites Reinforced by SiC Particulates

Eui-Gil Lee, Woon Choi* and Seung-Eui Nam*

Abstract

Mechanical properties of aluminum-matrix composites, fabricated by dispersion of fine SiC particulates of which size was less than 1 μm into 2024 and 7075 aluminum alloys, have been investigated. Homogeneous mixing between the matrix and SiC particulates could be achieved by jar milling for 8 hours with appropriate processing agent. At temperatures below 473K, high-temperature tensile strength of the composites was higher than that of the 2024 and 7075 aluminum alloys which were used as matrix materials. However, tensile strength of the composites was approximated to that of the matrix materials at 573K. Thus, it could be suggested that effects of particle dispersion on tensile strength of aluminum alloys was diminished at temperatures higher than 573K. (Received November 23, 1996)

1. 서 론

현대산업이 고도로 발달함에 따라 이에 필요한 공업재료의 용도와 기능이 다양화하고 있다. 이러한 각종 요구를 충족시킬 수 있는 재료 중에서 복합재료(Composites Material : CM)는 서로 다른 2종 또는 그 이상의 다른 소재를 거시적 또는 미시적으로 조합하여 복합화 함으로서 일반적인 방법으로는 얻을 수 없는 특성을 부여한 재료이다.

1940년대 최초로 섬유강화 복합재료(Fiber Reinforced Plastics)가 연구 발표된 이후 이 재료는 우주항공 등의 첨단산업 뿐만 아니라 자동차, 레저 스포츠 산업분야에 이르기까지 광범위하게 응용되고 있다[1-4]. 그러나 FRP의 기지인 플라스틱은 천이온도 이상에서 급격히 기계적 성질이 변화하여 고온에서 사용할 수 없는 단점을 가지고 있다. 이러한 내열특성을 보완하기 위하여 금속기 복합재료의 연구 및 개발이 1970년대부터 Carbon, Boron, Silicon Carbide, Alumina 및 세라믹 휘스커 등의 고성능 섬유로 보강한 금속기 복합재료를 중심으로 이루어 졌으며, 이들은 내열성, 고비강도, 고비탄성을 및 고온 내마모성 등의

특성을 만족할 수 있는 재료로서 최근 각광을 받기 시작하였다[5-8].

불연속 섬유강화 복합재료의 경우는 강화재로 사용되는 Whisker의 재료비가 비교적 비싸기 때문에 제조비용이 높은 단점을 가지고 있지만, 금속을 모재로 하여 입자를 분산시킨 입자보강 복합재료는 불연속 섬유강화 복합재료에 비하여 제조원가도 작고 등방성이며, 압연, 압출과 같은 소성가공이 용이하고 성형성도 우수한 이점을 지니고 있다[9,10].

따라서 본 연구에서는 2024 및 7075 고력 알루미늄 합금을 기지로 하여 고강도 고탄성의 실리콘 카바이드 입자를 부피분율 변화 즉 5%, 15%, 25% 및 최대 30%의 부피분율로 보강한 복합재료를 제조하여 기계적 성질변화를 알아보고자 하였다. 특히 보강되는 입자는 1 μm이하의 매우 작은 크기 입자를 보강하여 최적의 분산 혼합 분말을 얻기 위하여 일반적인 불밀 혼합방법을 이용하여 최적화 시키고, 최적 혼합상태에서 압출기를 이용하여 복합재료를 제조하여 기계적 성질을 조사하고자 하였다.

2. 실험방법

대전산업대학교 금속공학과 (Dept. of Metallurgical Eng., Taejon Nat. Univ. of Technol., Taejon)

*홍익대학교 금속·재료공학과 (Dept. of Metallurgical & Material Sci., Hong Ik Univ., Seoul, 121-790)

2.1 기지재 2024 및 7075 알루미늄 합금분말 제조 및 혼합

기지금속으로 사용할 2024 및 7075 알루미늄 합금 분말은 상용되고 있는 알루미늄 합금(2024, 7075)의 조성에 근접한 성분 및 조성을 얻기 위하여 시판되고 있는 2024알루미늄 주괴와 7075 plate를 사용하여 유도 용해로에서 용해한 후 재용해된 용융금속은 가스 분무(gas atomization)방식인 고압가스분무기(High Pressure Atomizer)를 이용하여 합금분말로 제조하였으며, 제조된 합금분말의 성분분석 결과를 Table 1에 나타내었다. 본 실험에 사용된 기지 분말은 105 μm 이하이며, 강화재는 미국 세락사(Cerac)의 실리콘 카바이드(순도 99.9%, -1 μm)입자를 사용하였다.

기지재와 강화재 분말의 균일한 분포를 얻기 위하여 일반적인 볼밀링(jar mill)법으로 혼합하였다. 혼합비는 부피분율로 강화재인 실리콘 카바이드를 각각 5%, 15%, 25% 및 30%로 하였으며, 강화재와 기지재 분말의 총량은 200 g을 칭량하여 500 ml용량의 용기 속에 장입하였다. 또한 혼합의 효율성을 좋게 하고 불순물의 혼입을 방지 하기 위하여 알루미나볼을 사용하였으며, 분말과 볼은 2:1의 무게비로 하고 분말의 산화방지 및 유동성을 좋게 하기 위하여 공정제어제로 메칠 알코올을 100 ml 첨가하였다. 이와 같이 준비된 상태에서 용기를 볼밀링에 장착하여 100 rpm의 회전속도로 최대 12시간까지 혼합하였다.

2.2 분말의 성형 및 압출

일반적인 볼밀방법으로 분산 혼합된 분말을 알루미늄 캔($\phi 40$ mm)에 장입하고 이론밀도의 60~70%가 되도록 7000 psi 압력으로 냉간 압축 성형한 후 배기봉을 제외한 나머지 부분을 용접하였다.

분말표면의 수산화물과 가스를 제거하기 위해서 회전펌프로 523 K에서 2시간동안 탈가스처리하여 캔 내

부를 10^{-3} torr까지 진공 배기시킨 후 밀봉하였다. 진공 밀봉된 캔을 553 K로 유지되어 있는 가열로에서 1시간동안 유지한 후, 150 ton용량의 프레스에서 압출(압출비, 25:1)하였다.

2.3 압출재의 기계적 성질 및 미세조직관찰

압출재의 인장강도 측정은 최대 하중 25 ton인 만능 시험기(Shimadzu사 DCS-25T)로 측정하였다. 이때 chart speed는 2.5 mm/min, crosshead speed는 0.5 mm/min으로 하고 시험하중은 1250 Kg으로 하였다.

시험조건은 용체화 처리한 시편은 상온, 473 K 및 573 K의 온도변수로 인장시험을 행하였으며, 인장시편의 규격은 ASTM-E8을 기준으로한 비례시편으로 제작하였다.

강화재의 부피분율 변화에 따른 압출재의 경도 변화를 알아보기 위하여 미소경도기(Akashi MVK-E microvickers hardness tester)를 이용하여 50 gf의 하중으로 측정하였으며, 제조된 복합재료의 미세조직을 관찰하기 위하여 광학 현미경 및 주사전자 현미경(Hitachi S-2500 C)을 이용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 볼밀링을 이용한 기지재와 강화재의 혼합공정

분말야금법을 이용한 금속기 복합재료에서는 무엇보다 초기의 공정으로서 기지재와 강화재간의 분산정도가 최종적으로 복합재료의 기계적 성질에 큰 영향을 미치기 때문에 매우 중요하다고 생각된다.

이와 같은 중요성 때문에 본 실험에서도 여러 가지 혼합방법을 이용하여 최적의 혼합공정을 얻고자 하였다.

사진 1은 볼밀링을 이용하여 2024알루미늄기지 분말에 부피분율로 25%실리콘 카바이드 입자를 첨가하여 시간 변수로 볼밀링하여 기지재와 강화재간의 혼합정도를 알아보기 위하여 관찰한 주사전자 현미경의 분말 외관 관찰사진이다.

Photo. 1(a)는 1시간 동안 혼합한 분말의 외관 관찰 사진으로서, 50 μm 이상의 분말들은 기지재인 2024 알루미늄 합금 분말이며, 미세한 입자들 즉 1 μm 이하의 크기를 갖는 작은 입자들은 강화재로 첨가된 실리콘 카바이드들이다. 사진에서 볼 수 있듯이 큰 분말들 표면과 분말과 분말들 사이의 공극에 작은 입자의 실리콘 카바

Table 1. Chemical composition of rapidly solidified 2024 and 7075 aluminum powders (wt%)

	Analysied Composition								
	Cu	Mg	Mn	Si	Zn	Fe	Ti	Cr	Al
2024 Powder	3.88	1.40	0.65	0.41	0.16	0.15	0.019	0.008	Bal.
7075 Powder	1.36	2.35	0.041	0.07	5.28	0.15	0.012	0.17	Bal.

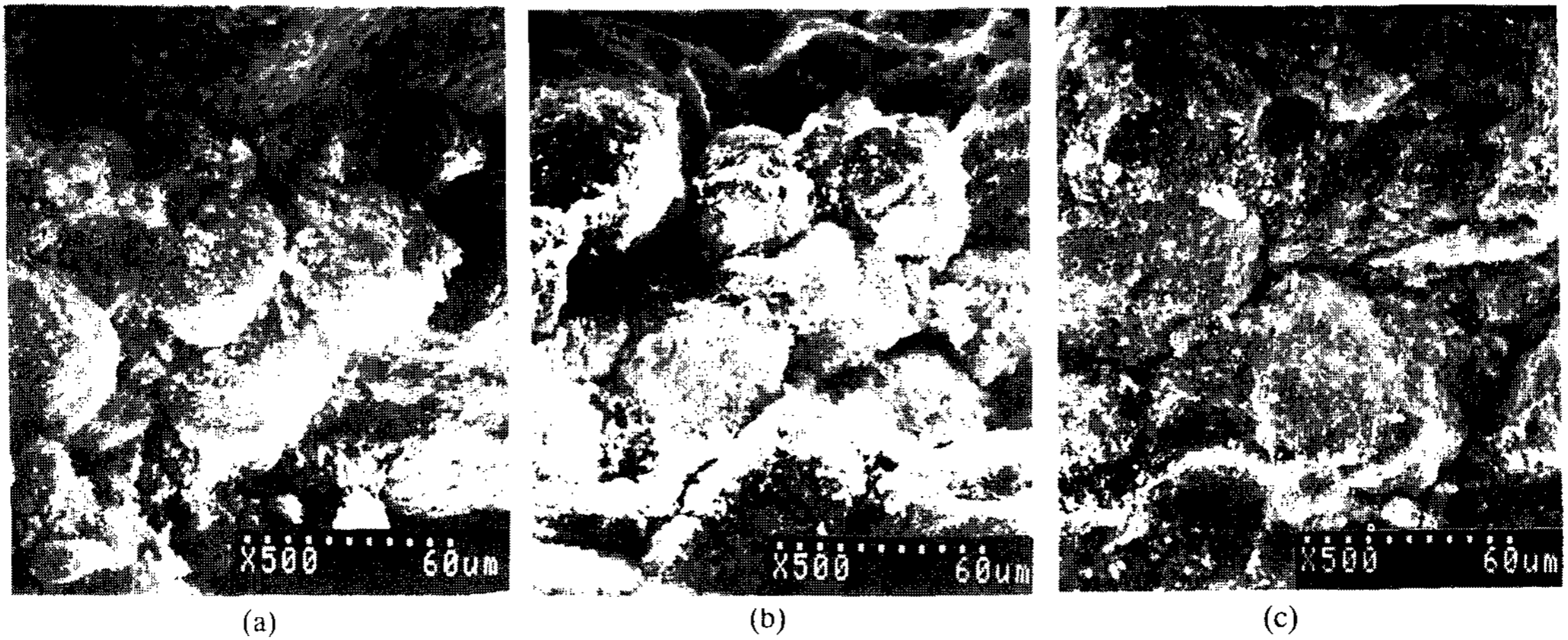


Photo 1. SEM photographs of 25 V_t SiCp/2024 Al matrix powders milled for various time by jar mill. (a) 1 hr (b) 4 hr (c) 8 hr.

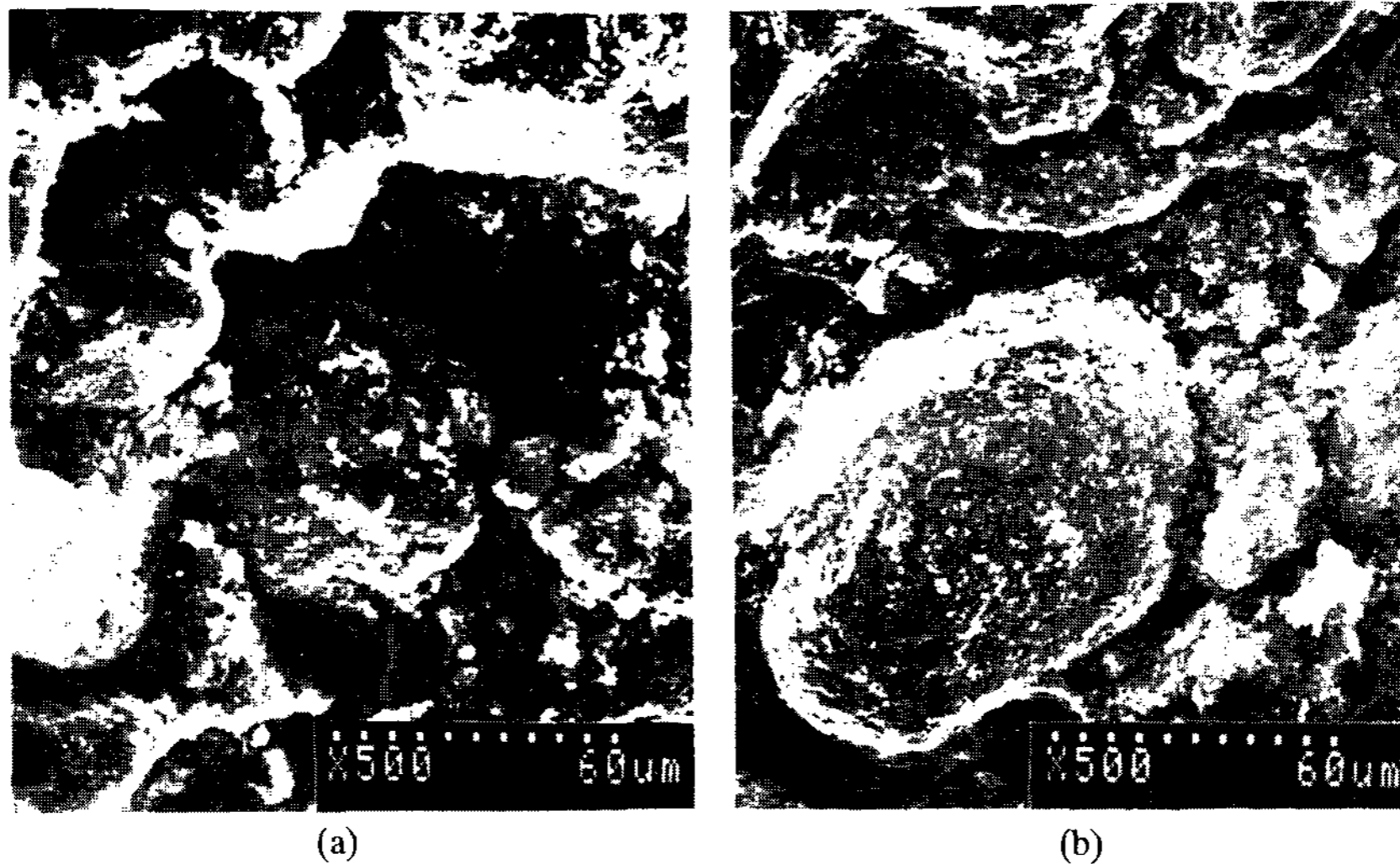


Photo 2. SEM photographs of 25 V_t SiCp/7075 Al matrix powders milled for various time by jar mill. (a) 2 hr (b) 8 hr.

이드들이 뭉쳐져 존재하고 있는 것을 볼 수 있다.

Photo 1(b)는 4시간동안 볼밀링에서 혼합한 분말의 외관 관찰 사진이다. 사진 1(a)에서와 마찬가지로 강화재인 실리콘 카바이드들이 알루미늄 분말간의 계면에 편석되어 있는 것을 볼 수 있다.

Photo 1(c)는 8시간 동안 혼합한 분말의 외관을 보여주는 사진으로서, 알루미늄 분말들간의 계면을 따라 강화재인 실리콘 카바이드들의 편석된 양이 많이 감소된 것을 관찰 할 수 있다.

Photo 2는 기지재를 7075알루미늄 합금 분말로 하여 부피분율 25%실리콘 카바이드를 첨가한 후 시간 변화 즉, 최소 1시간에서 최대 12시간까지 볼밀링을

이용하여 혼합 후 기지재와 강화재간의 혼합 정도를 살펴보기 위하여 혼합 분말의 외관을 관찰한 주사 전자 현미경 관찰 사진이다.

Photo 2(a)는 2시간동안 혼합한 분말의 외관을 관찰한 사진이다. 전반적으로 강화재인 실리콘 카바이드들이 기지재인 알루미늄 분말들 표면과 공극들 사이에 응집된 형태로 있는 것을 볼 수 있다.

Photo 2(b)는 8시간 동안 혼합한 외관 관찰 사진으로서, 비교적 강화재들이 균일한 분산 분포를 나타내고 있다. 또한, 혼합공정시간은 대부분 8시간 이후에는 기지재와 강화재간의 균일한 혼합상태를 갖는 정상상태에 도달되는 것으로 사료된다.

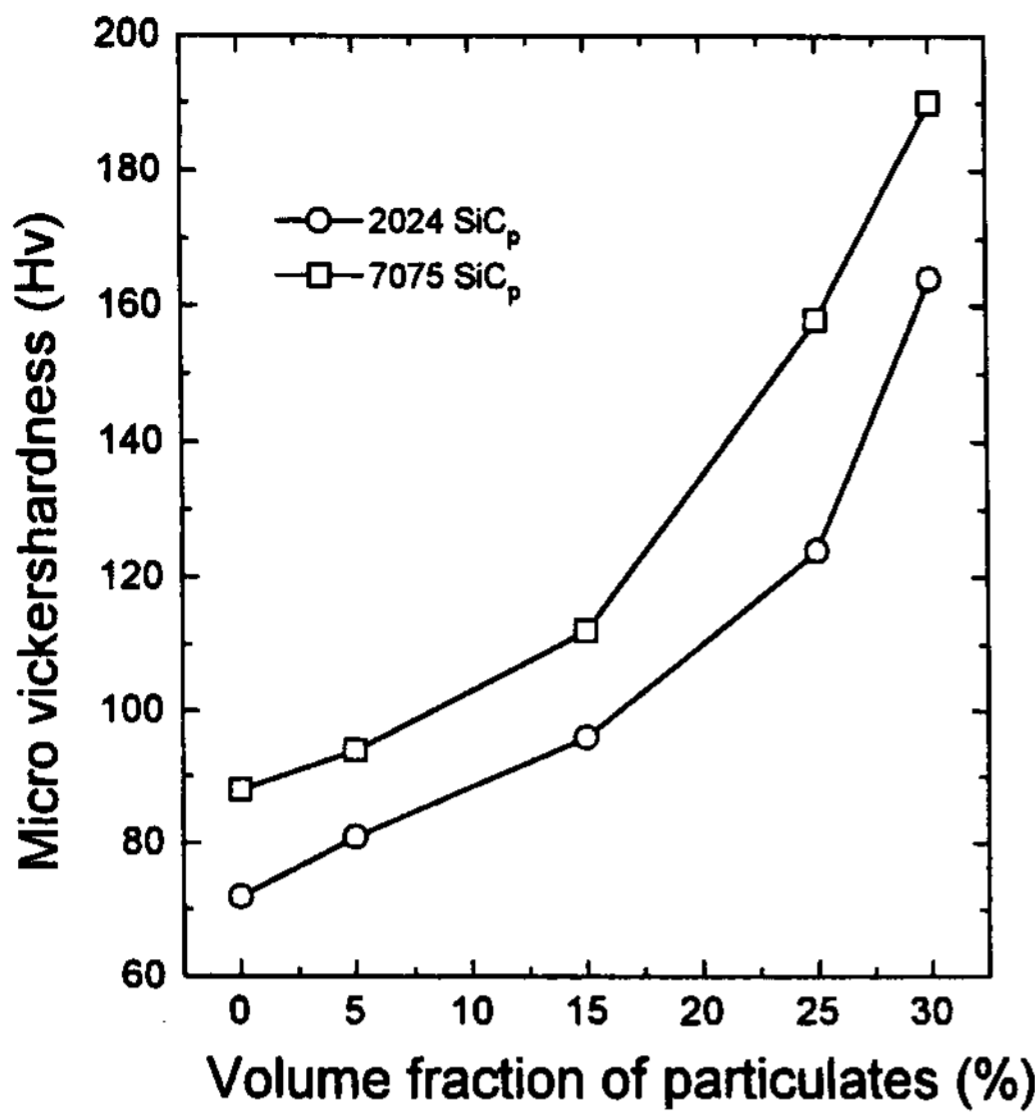


Fig. 1. Variation of micro vickers hardness of the extruded composites with volume fraction of particulates.

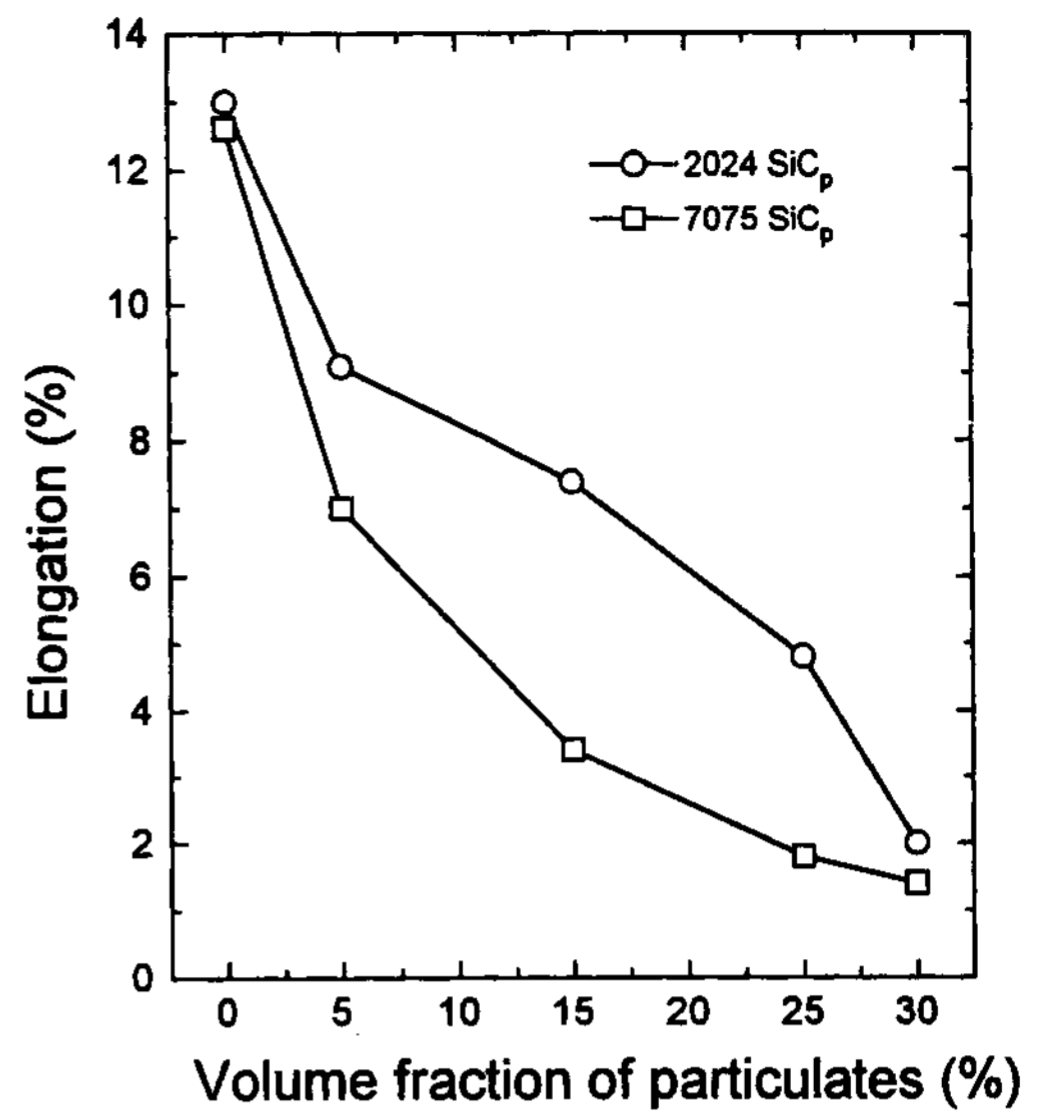


Fig. 3. Variation of elongation of the extruded composites with volume fraction of particulates.

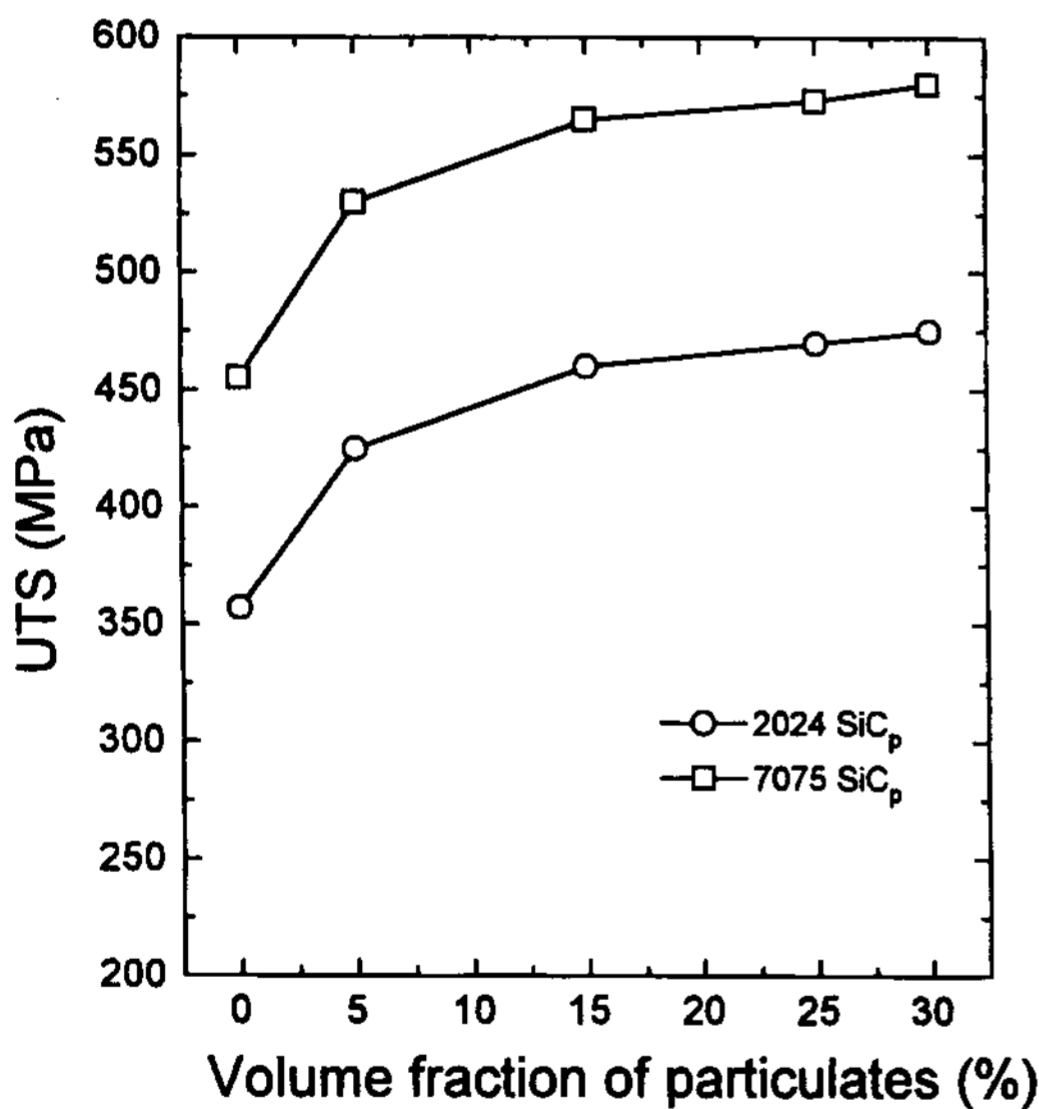


Fig. 2. Variation of ultimate tensile strength of the extruded composites with volume fraction of particulates at room temperature.

3.2 압출재의 미소경도 변화

Fig. 1은 강화재의 부피분율 변화에 따라 압출한 복합재료의 미소경도를 나타낸 것이다. 강화재의 부피분율이 증가할 수록 복합재료의 경도 값은 증가하는 경향을 나타내고 있다. 즉, 강화재가 첨가되지 않은 알루미늄합금의 경도 값은 72 Hv(2024)와 88 Hv(7075)

의 경도 값을 갖지만, 강화재를 최대 30%까지 첨가했을 때는 163 Hv(2024)에서 190 Hv(7075)의 경도 값을 나타냈다. 2024의 경우는 강화재를 첨가함으로써 56%의 경도값 증가를 나타냈고, 7075의 경우는 2024에 비하여 약간 낮은 53%의 경도값 증가를 나타냈다. 이와 같이 강화재 부피분율이 증가할수록 경도 값의 증가는 강화재로 첨가된 실리콘 카바이드가 보강재로서의 역할에 기인된 것으로 생각된다.

3.3 복합재료의 인장특성

Fig. 2 및 3은 강화재 부피분율 변화에 따른 상온 인장강도 및 연신률을 나타낸 것이다. 강화재의 부피분율이 증가할수록 복합재료의 인장강도는 증가하는 경향을 나타내고 있다. 기지재인 순수한 알루미늄 합금 압출재의 경우 357 MPa(2024) 및 455MPa(7075)의 인장강도를 나타낸 반면, 연신률은 13%(2024) 및 12.6%(7075)를 나타냈다. 이같이 기지재의 인장강도는 2024에 비하여 7075가 약 21%정도 높은 인장특성을 가지고 있다. 따라서 부피분율이 증가해도 항상 7075가 2024보다 높은 인장강도를 나타내게 된다. 또한 강화재의 부피분율 증가에 따른 인장강도의 증가 경향은 강도가 큰 세라믹 강화재의 부피분율이 증가함에 따라 기지재의 소성변형이 제약을 받아 기지재의 가공경화에 의한 강도 증가로 사료되며, 부피분율

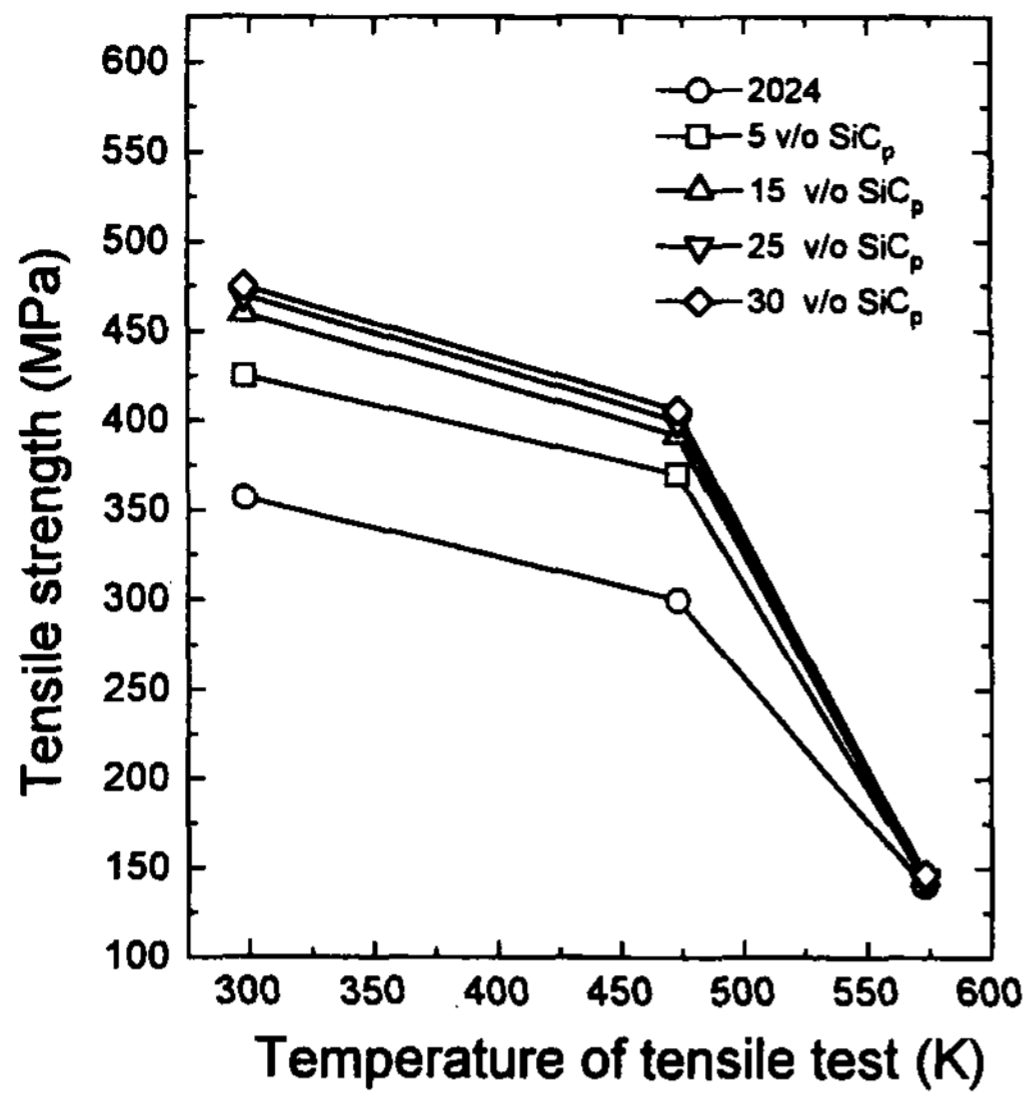


Fig. 4. Variation of tensile strength of the extruded SiC_p/2024 Al with temperature.

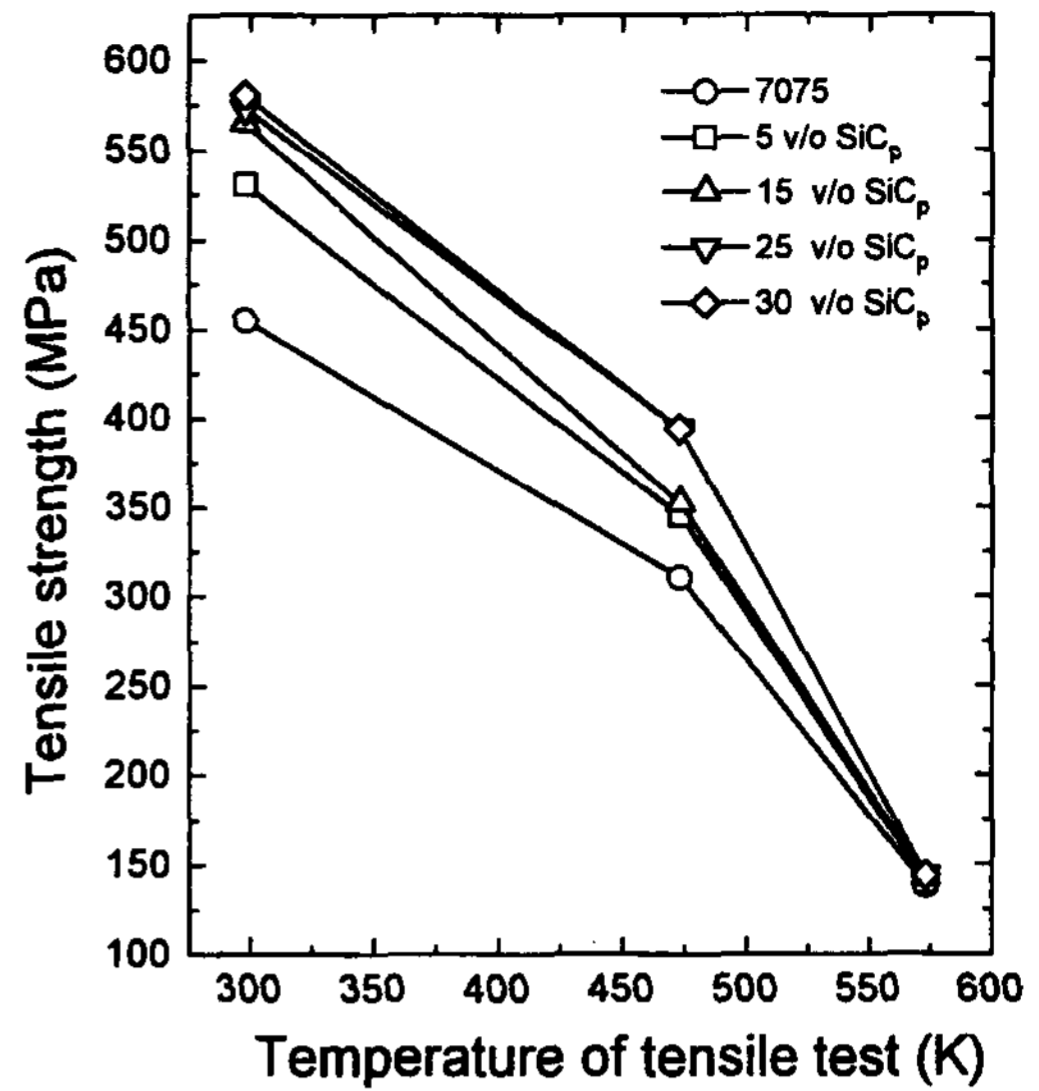


Fig. 5. Variation of tensile strength of the extruded SiC_p/7075 Al with temperature.

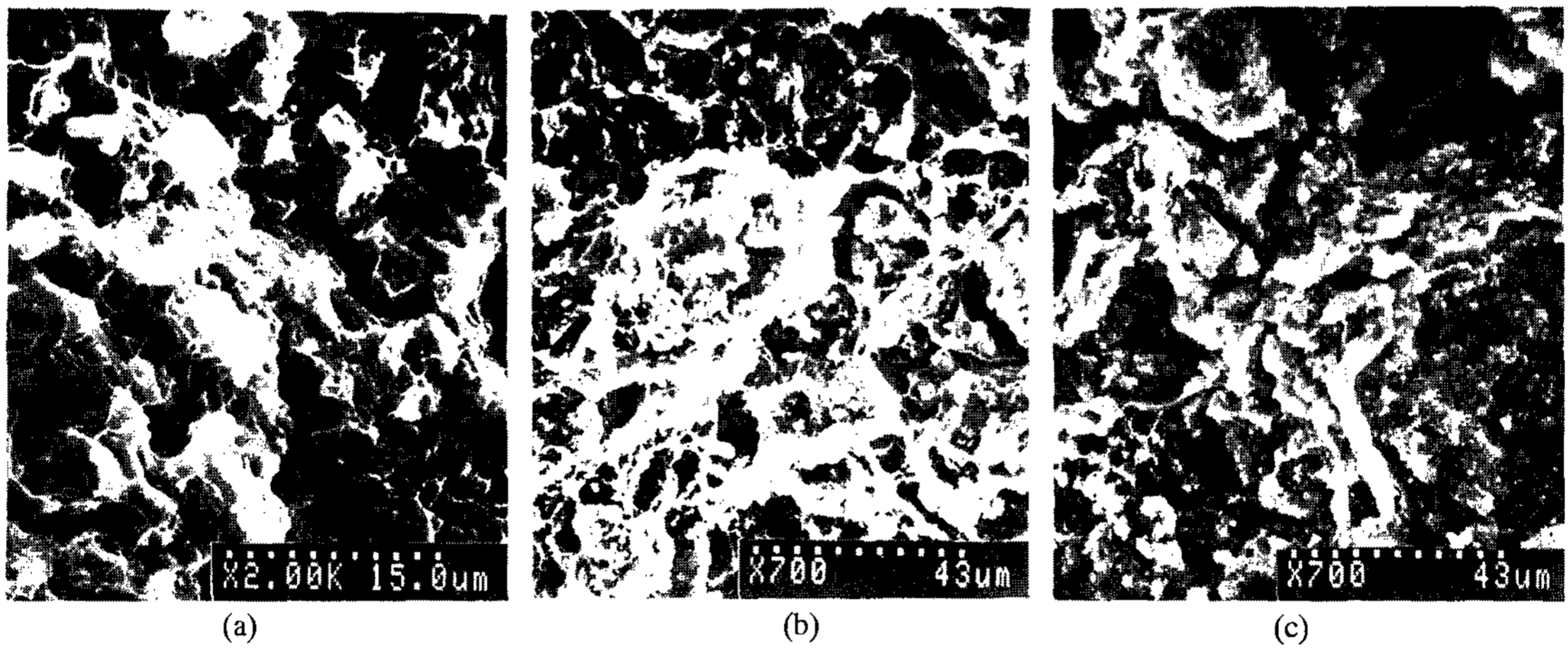


Photo 3. SEM fractographs of SiC_p/2024 Al extruded composites tensile test at room temperature. (a) extruded 2024 Al powder (b) 15 V_f SiC_p/2024 Al extruded composites (c) 30 V_f SiC_p/2024 Al extruded composites.

증가에 따른 연신율 감소는 강화재의 계면이 많아짐에 따라 인장시험 도중에 충분한 기지조직의 연신이 어려워진 것에 기인한 것으로 사료된다.

Fig. 4 및 5는 압출된 복합재료의 강화재 부피분율 증가에 따른 고온인장성질을 나타낸 것이다. 앞에서 언급한 바와 같이 상온에서는 강화재의 부피분율이 증가할수록 압출된 복합재료의 인장강도는 증가하는 경향을 나타내며, 강화재의 부피분율이 증가함에 따라 인장강도는 비슷해지는 경향을 나타낸다. 그러나

고온 인장강도에서 보면 복합재료는 473 K 아래 온도에서 기지재인 알루미늄 합금(2024 및 7075)보다 높은 강도를 나타내지만 573 K의 온도에서는 복합재료의 인장강도가 기지재인 알루미늄 합금의 인장강도와 거의 같은 강도를 나타낸다. 이와같이 고온에서 복합재료의 인장강도의 급격한 감소는 알루미늄 합금 기지의 전단강도 감소로 인한 것으로 사료된다. 따라서 입자로 보강된 복합재료에서 573 K 이상의 온도에서는 전반적으로 입자 보강의 효과가 없는 것으로 사료

된다. 그리고 온도가 증가함에 따라 알루미늄 합금 기지의 연화로 인하여 연성의 증가를 나타내는 것으로 생각된다.

3.4 파면관찰

Photo 3은 2024 알루미늄 합금에 실리콘 카바이드 입자로 보강된 복합재료의 상온 인장시험 후의 파면 관찰 사진이다. (a)는 순수한 2024 알루미늄 합금의 압출재이며, (b)는 부피분율 15%의 실리콘 카바이드가 보강된 복합재료이고, (c)는 30% 실리콘 카바이드 입자로 보강된 복합재료의 파면 사진이다. 순수한 알루미늄 합금의 경우에는 파면 전체에서 입계파괴의 전형적인 형태인 dimple 형태의 파면을 나타낸다. 강화재 양이 증가할수록 입계파괴형태의 dimple 형태 양은 점차 줄어들어 가는 경향을 나타내며, 30%로 보강된 경우는 일부 dimple 형태는 관찰되지만 강화재 입자간의 계면을 형성하여 파괴된 양상이 보다 지배적으로 관찰된다. 이것으로 보아 인장강도가 강화재 양의 증가에 따라 강도는 증가하지만 연신률이 감소한 것을 알 수 있다.

4. 결 론

입자로 보강된 고력 알루미늄 금속기지 복합재료의 제조 및 기계적 성질에 관한 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 불밀링을 이용한 혼합조건은 공정시간이 대부분 8시간 이 후에는 정상상태에 도달되어 기지재와 강화재간의 균일한 혼합 분말을 얻었다.
2. 압출된 복합재료의 미소경도변화는 강화재의 부피분율(V_f)이 증가할수록 증가하는 경향을 나타냈으

며, 2024 알루미늄 합금기지인 경우 즉 V_f 0% 일 때 72 Hv에서 30%로 증가함에 따라 163 Hv였으며, 7075기지인 경우는 88 Hv에서 190 Hv로 증가하였다.

3. 고온 인장강도는 473 K이하온도에서 복합재료의 인장강도가 알루미늄 합금의 인장강도보다 높은 강도를 나타낸 반면, 573 K에서는 복합재료와 알루미늄 합금의 인장강도가 거의 같은 강도를 나타냈다.

후 기

본 연구는 1995년도 대전산업대학교 학술연구 조성비 지원에 의하여 수행된 연구로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] W. D. Brentnall : "Metal Matrix Composites for high Temperature Turbine Blades", TRW, ER-7634-F. NASC, (1975)
- [2] C. J. Hilado : "Boron Reinforced Aluminum System", vol. 6, Material Technology Series, Technomic, (1974)
- [3] C. Zweben : "Metal Matrix Composites Overview", Pub. No. 523, MMC IC, Feb. (1985)
- [4] I. G. Greenfield : "Dependence of Abrasive and Sliding Wear in a Metal Matrix Composites", Proc. of ACC, Dec. (1985)
- [5] K. Marden : J. of Metal, Jun. (1985), 59.
- [6] K. Lasai : J. of JCIM, 5(1976) 1, 26.
- [7] S. Yajima : J. Mat. Sci., 16(1981), 3033
- [8] S. Towata and S. Yamada : J. of JIM, 47(1983), 2, 159.
- [9] M. Taya and K.E. Lulay : Acta Metall., 39(1991), 73.
- [10] 日本 次世代 金屬複合材料 研究開發協會 : 複合材料 次世代 技術動向 調査研究 上 (1988), 175.