

보강재의 형태와 종류가 금속복합재료의 기계적 물성에 미치는 영향 연구

남현욱* · 조종인** · 한경섭***

Effects of Reinforcements Type on Mechanical Properties of Metal Matrix Composites

H.W. Nam, J.I. Jo and K.S. Han

KEY WORDS : Short fiber, Particle, Hybrid MMCs, Tensile & Compressive strength, Wear property

ABSTRACT

In this research, the effects of reinforcements type on mechanical properties of MMCs were studied. Six kinds preform were fabricated by using Saffil short fiber, HTZ short fiber, Al_2O_3 particle, and SiC particle. MMCs were fabricated by using squeeze casting methods. Various tests were conducted to show the effects of reinforcements type on mechanical properties of MMCs. Tensile and compressive properties of MMCs depend on short fiber, however wear properties depend on particle reinforcement. Generally, properties of fiber/particle hybrid MMCs were excellent than those of MMCs with short fiber.

1. 서론

금속복합재료는 고온 강도, 고내마모성을 가지 는 기능성 소재로서 주목 받으며 많은 연구들이 진행되어 왔으며, 현재는 실제 산업 현장에 응용 할 수 있는 응용 분야를 확보하기 위한 많은 노력들이 진행되고 있다. 현재 금속복합재료의 응용에 가장 큰 문제가 되고 있는 것은 경제성 문제와 가공성 문제이다. 가공성 문제를 해결하기 위해서 금속복합재료를 제조할 때부터 최종 형상 에 가깝게 만들어 가공을 최소화하는 방법들이 개발되고 있으며, 경제성 문제는 저렴한 보강재를 개발하는 방향으로 연구가 진행되고 있다[1~4].

휘스커나 단섬유 형태의 보강재는 강건한 예비성형체의 제작이 가능하지만 상용화 하기에는

경제성이 떨어지며, 입자형태의 보강재는 경제성 은 있지만 예비성형체의 제조가 어려워 용탕 주조법을 이용하여 금속복합재료로 제조 하기에 어려운 점이 있다.

본 연구에서는 이러한 점을 상호 보완할 수 있는 단섬유/입자 혼합 금속복합재료를 개발하였 으며, 이 재료의 기본적인 물성들을 확보하고 사용한 보강재들이 금속복합재료의 물성에 미치는 영향을 연구하였다.

2. 실험 방법

사용 재료

본 연구에서는 기지체로서 A356, 보강재로서 SAFFIL short fiber, HTZ short fiber, SiC particle 및 Al_2O_3 particle 을 사용하였다. A356 는 주조용 합금으로 강도, 연성 및 내식성 같은 성질과 더불어 유동성(fluidity) 및 주입성(feeding ability) 같은 주조 특성도 함께 지닌 합금이다. A356 의

* 포항공과대학교 기계과 연구원

** 포항공과대학교 기계과 석사과정

*** 포항공과대학교 기계과 교수

Table 1 Specification of various reinforcements

Material	Density (g/cm ³)	Dia. (μ m)	Length (μ m)	T.S (GPa)	Modulus (GPa)
SAFFIL	3.3	3.0	150	2	310
HTZ	2.7	3.5	150	1.4	100
Al ₂ O ₃ p	3.95	50	-	-	380
SiCp	3.2	30	-	-	410

주요 화학 성분은 Si 와 Mg 이며 항공기나 미사일의 구성 재료로 사용되는 재료이다[5]. 보강재로 사용된 Saffil(RF grade)는 영국의 ICI 에서 생산되는 것으로 밀도는 3.3g/cm³ 이며, HTZ 단섬유는 국내의 ㈜금강에서 생산되는 단섬유로 주요 성분은 Al₂O₃, SiO₂(46.9%), ZrO₂(22.3%)이며, 밀도는 2.7g/cm³ 정도이다. Al₂O₃ 입자는 일본 NGK 사에서 생산되는 알루미늄으로 밀도는 3.95g/cm³ 이며, SiC 입자는 미국의 Imperial poly chemicals 사에서 생산되는 것으로 밀도는 3.2g/cm³ 이다. 각 보강재에 관한 사양 및 기본 물성은 Table 1 에 나타내었다.

예비성형체 및 금속복합재료의 제조

예비성형체의 제조는 보강재를 물과 바인더를 혼합하여 slurry 를 제조한 다음 수분을 제거하는 방법으로 제조하였다. 보강재를 원하는 부피비가 되도록 계량한 다음 성형제인 SiO₂ 와 혼합하여 교반기를 이용하여 교반하였다. 이 때 SiO₂ 는 3%의 수용액으로 만들었다. 수분은 진공압 추출법을 이용하여 수분을 일차 제거하였으며, 예비성형체의 종류에 따라 적절한 건조 방법을 선택하여 건조시켰다. 제조한 예비성형체의 종류는 Saffil (10 vol.%), HTZ(10 vol.%), Saffil/Al₂O₃(20 vol.%), HTZ/Al₂O₃(20 vol.%), Saffil/SiCp(20 vol.%), HTZ/SiCp (20 vol.%)의 6 가지 종류의 예비성형체를 제작하였다. 이 때 혼합 예비성형체의 단섬유와 입자의 부피비는 1:3 이다.

제조된 예비성형체는 용탕 주조법을 이용하여 금속복합재료로 제조하였다. 알루미늄은 780°C 에서 용해시켰으며, 금형과 예비성형체는 450°C 로 예열하였다. Casting 시 가압 속도는 2cm/sec 와 가압력은 25MPa 를 사용하였으며, 60 초 동안 압력을 유지하였다.

시험 방법

제조된 잉곳은 T6 열처리 하였다. T6 열처리는 540°C 에서 4 시간 동안 용체화 처리한 다음 155 °C 에서 8 시간동안 인공 시효시켰다. 인장 시험은 ASTM E8 을 기초로 물림부만 수정하여 제작하였

으며, MTS(100kN, USA)을 이용하여 0.1kN /sec 의 변위제어로 수행하였다. 연신율은 10mm 의 gage length 를 가지는 extensometer 를 이용하여 측정하였다. 인장 시험은 2~3 개의 시험을 수행한 후 결과를 산술 평균하였다. 압축 시험은 가압 방향의 수직한 면에서 시편을 채취하였으며 3 개의 시편을 시험하였다. 시험은 UTM(Shimadzu, 5ton)을 이용하여 2mm/min 의 변위 제어로 수행하였으며, PCL 818 을 이용하여 신호를 얻었다. 마모 시험은 Pin on disk 형태로 수행하였다. 마모 시험기는 R&B 사의 PD-102 로, 최대하중 200N 까지 가할 수 있으며, 상온 및 고온, 건식 및 습식 마모 시험이 가능하다. 본 마모 시험은 상온, 건식 조건에서 수행되었다. 마모 시편은 가압 방향에서 채취하였으며, 사포로 2000 까지 연마한 후 마모 시험을 수행하였다.

3. 결 과

예비성형체 및 금속복합재료의 제조

본 연구에 사용한 보강재는 단섬유 2 종, 입자 2 종 등 4 종류이다. 이 중 단섬유는 단일 재료를 이용하여 예비성형체를 제조하였으나 입자 형태의 보강재는 단섬유와 혼합한 형태로 제작하였다. 이것은 입자만으로는 충분한 성형성을 가지는

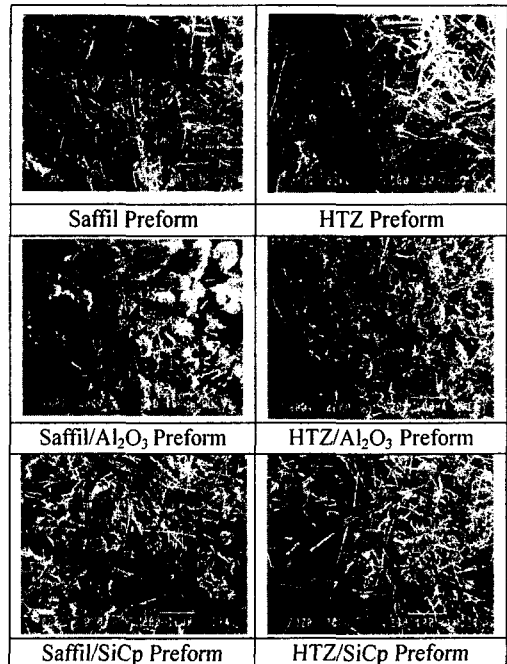


Fig. 1 SEM Photograph of fabricated preform

예비성형체의 제작이 어렵고, 혼합하여 예비성형체를 제작할 경우 단섬유나 휘스커만을 이용한 예비성형체에 비하여 가격이 낮기 때문이다.

예비성형체 제작에 있어서 중요한 문제가 되는 수분의 원만한 제거와 균일한 분포 문제이다. 본 연구에서 사용한 예비성형체는 부피비가 높아 진공압 추출법을 이용하여 수분을 제거하는데 문제가 있을 것으로 예상하였으나, 수분 제거 속도만 좀 느려질 뿐 별다른 문제가 발생하지 않았다.

또한 혼합예비성형체의 경우 HTZ/Al₂O₃ 와 같이 심한 경우 밀도차가 1g/cm³ 정도 차이가 발생하여 섬유층과 입자층의 분리 문제가 발생할 우려가 있었으나 교반을 적절하게 수행하여 이러한 문제 역시 나타나지 않았다. Fig. 1 에 제조한 예비성형체의 SEM 사진을 나타내었다. Saffil 이나 HTZ 예비성형체는 단일 보강재를 이용한 경우로 모두 균일한 분포를 가지는 것을 볼 수 있다.

다만, HTZ 의 경우 Saffil 에 비하여 단섬유의 크기나 형상이 균일하지 않는 것을 볼 수 있으며, 휘어지거나 손상된 섬유들이 많이 보이는데, 이러한 점들은 금속복합재료에 악영향을 미치는 것으로 보인다.

혼합예비성형체인 HTZ/Al₂O₃, Saffil/Al₂O₃, HTZ/SiCp, Saffil/SiCp 는 모두 단섬유와 입자가 균일하게 분포되어 있었다. 이것은 단섬유나 입자의 밀도가 어느 정도 차이가 있지만 단섬유의 형상이 무질서한 혼합에 적합한 형상이고 본 연구에서 사용한 예비성형체의 높이가 2cm 로 높지 않기 때문이라 사료된다.

금속복합재료 제조 과정에서도 침투나 예비성형체의 변형 등의 문제는 발생하지 않았다. 광학사진 촬영한 결과 보강재들이 무질서하면 서도 균일하게 분포가 된 것을 미루어 양호한 제조가 이루어졌음을 알 수 있었다. 특히, 혼합금속복합재료의 경우 상부와 하부의 입자형태의 보강재의 분포가 비교적 균일하게 나타났다.

인장 실험

Fig. 1 에 각 금속복합재료의 응력-변형률 선도를 나타내었다. 섬유/입자 혼합 금속복합재료의 인장 강도는 섬유만을 사용한 금속복합재료에 비하여 매우 우수한 특성을 나타내었다. 이러한 혼합 금속복합재료의 물성은 바와 같이 사용한 단섬유의 종류에 의해 기본적인 강도가 결정되고 입자 보강재의 첨가에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. HTZ/A356 의 물성은 모재보다 더

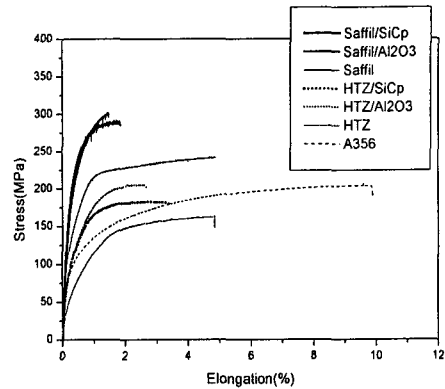


Fig. 2 Stress - strain curve for various MMCs

저하되었다. 이것은 HTZ 단섬유가 SiO₂ 를 많이 함유하고 있는 섬유이기 때문에 계면에서의 결합력이 약한 것이 기인하는 것이라 생각된다. HTZ 계열의 혼합금속복합재료의 인장강도는 HTZ/A356 에 비하여 15~25%정도 강도 향상이 발생하였다. Saffil 계열의 금속복합재료는 모재에 비하여 상당히 강도가 향상이 되는 결과를 보였다. 또한 Saffil 계열의 혼합금속복합재료에서는 20~30%의 강도 향상을 나타내었다. 특히, 강도 측면에서는 SiCp 보다 Al₂O₃ 입자를 사용하는 것이 더욱 좋은 결과를 나타내었는데, 이러한 결과는 금속복합재료의 강도에 모재와 보강재의 경계면의 특성이 매우 중요한 역할을 한다는 것을 뒷받침 한다.

압축 실험

Fig. 2 에 금속복합재료의 압축선도를 나타내었다. 압축 선도는 하중의 증가에 따라 항복이 발생한 다음 일정한 소성 구간을 거치면서 파괴

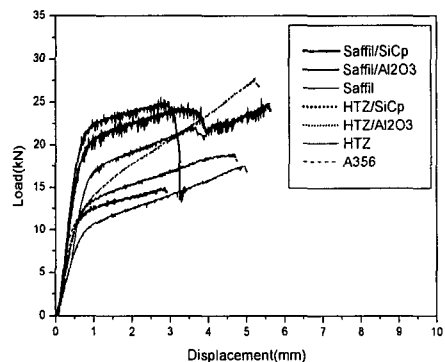


Fig. 3 Compressive curve for various MMCs

되는 경향을 나타내었는데, 모재와 HTZ 를 사용한 복합재료의 경우 취성 파괴의 특성을 나타내지 않았다. 인장 특성에서와 같이 금속복합재료의 압축 특성도 단섬유의 종류에 따라 기본적인 특징이 결정되었다. 즉, HTZ 를 이용한 경우 모재보다 낮은 압축강도를 가지면서 입자 보강재의 첨가에 따라 압축 강도가 향상되는 결과를 나타내었으며, Saffil 을 이용한 경우 모재에 비하여 상당히 높은 압축 강도를 가졌으며, 입자 보강재의 첨가에 따라 압축 강도가 향상되었다. 압축 강도의 향상은 Al_2O_3 를 이용한 경우 SiCp 를 이용한 경우보다 높은 값을 나타내었다.

마모 실험

마모 시험은 5kgf, 300rpm 에서 1000sec 동안 수행하였는데, A356, HTZ/A356, Saffil/A356 의 경우 마모가 너무 심하게 발생하여 정확한 데이터를 얻을 수 없었다. Fig. 4 는 이들 재료를 제외한 나머지 재료들의 마모 시험 결과이다. 마모 시험의 결과는 인장이나 압축 시험의 결과와는 다르게 HTZ/SiCp 의 물성도 상당히 우수한 값을 나타내었다. 이것은 시편이 인장이나 압축을 받을 경우 계면 전체가 영향을 받게 되고, 이 경우 계면 약하다면 계면이 균열 개시점으로 작용하여 강도 저하에 지배적인 역할을 하지만, 마모의 경우 계면이 문제가 되는 부분은 상대재와 접촉하는 부위에 한정이 되며, 이것도 보강재가 계면에서 뿔치지 않을 정도의 결합력만 유지된다면 계면의 상태가 마모 특성에 많은 영향을 끼치지 않기 때문이라 생각된다. 따라서 금속복합재료의 마모 특성은 사용한 보강재의 영향을 많이 받으며, 마모 시험의 결과로부터 마모 특성은 단섬유 보다는 입자형태의 보강재에 더 많은 영향을 받는 것을 알 수 있다.

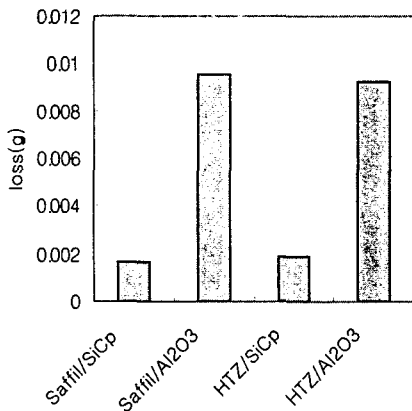


Fig. 4 Wear weight loss of various MMCs

HTZ/SiCp/A356 역시 우수한 마모 특성을 나타내었는데, 인장이나 압축 등의 특성이 중요하지 않은 분야에서는 이러한 형태의 금속복합재료 역시 사용해 볼만할 것으로 기대된다.

4. 결론

1. 금속복합재료의 인장 및 압축 특성은 단섬유에 지배적인 영향을 받으며, 입자 보강재의 첨가에 따라 특성이 향상 되었다.
2. 마모 특성의 경우 단섬유의 종류에 관계없이 입자 보강재에 많은 영향을 받았다.
3. 단섬유/입자 혼합 금속복합재료의 기계적인 특성은 단섬유만을 이용한 금속복합재료에 비하여 우수한 특성을 나타내었다.

후 기

이 논문은 2001 년도 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었으며, 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) 남현욱, 전호찬, 민병렬, 한경섭 "예비성형체 및 금속복합재료에 미치는 바인더의 영향에 관한 연구", 대한기계학회 추계학술대회 논문집 A, 1997, pp. 233-238
- (2) 남현욱, 김상엽, 김성철, 임태원, 한경섭 "HTZ/AC8A 금속복합재료의 기계적 성질과 피로 거동", 한국복합재료학회지 제 11 권, 제 5 호, 1998, pp. 84-95
- (3) S.F.Moustafa and T.A. El-Bassyouni, "Squeeze casting of α -alumina fiber containing Al-22% Si composite, APSFS, 1993, pp. 43-46
- (4) T.W.Clyne and M.G. Bader, "Analysis of a squeeze infiltration process for fabrication of metal matrix composites, ICCM V, 1986, pp.755-771
- (5) 한원희, *금속재료(조직과 성질을 주로 한)*, 탑출판사, 1982