

예비성형체 및 금속복합재료에 미치는 바인더의 영향에 관한 연구

남현욱* · 민병렬* · 이종해* · 한경섭**
(1998년 6월 29일 접수)

Effects of Binder on the Mechanical Properties of Preform and MMCs

Hyun Wook Nam, Byung Ryoul Min, Jong Hae Lee and Kyung Seop Han

Key Words: Preform(예비성형체), MMCs(금속복합재료), Binder(바인더), Compressive Strength(압축강도), High Temperature Tensile Strength(고온인장강도)

Abstract

The effects of binder on the mechanical properties of the preforms and metal matrix composites (MMCs) were studied. Fibers were $9Al_2O_3 \cdot 2B_2O_3$ (Alborex), HTZ and Al_2O_3 fibers(Saffil) and binders were organic binder, inorganic binder, polyacrylamide under various PH conditions. Compressive strength of the preform increased with the addition of inorganic binder. The polyacrylamide did not improve the permeability of the preforms. PH of the slurry should be controlled because it affects the viscosity of the slurry. Good preforms were obtained under following conditions : 3 wt% inorganic binder, 0.1 wt% organic binder, 0.1 wt% polyacrylamide and PH 9. Tensile tests of MMCs were conducted at 20°C, 150°C, 250°C, 350°C using MTS(100KN USA). Wear tests were conducted under various sliding speeds. High temperature(250°C) tensile strengths of Alborex/Saffil/AC8A and HTZ/AC8A are 80% and 75% of the room temperature tensile strengths respectively. The tensile and wear properties of the Alborex/Saffil/AC8A are superior to that of the HTZ/AC8A. The wear behavior of HTZ/AC8A shows more orthotropic characteristic than that of Alborex/Saffil/AC8A.

1. 서론

금속복합재료는 기존의 구조용 소재에 비하여 비강도가 뛰어나고 고온 강도, 크리프 특성 등이 우수하여 새로운 신소재로서 각광을 받고 있다^(1~3). 최근 이러한 금속복합재료는 자동차, 항공기 분야의 대체 소재로서 많은 연구가 진행되고 있으며 주목할 만한 예로는 Toyota가 개발한 Al/Al_2O_3 디젤 엔진 피스톤과 Honda가 개발한 $Al/Al_2O_3/C$ 실린더 라이너가 있다⁽⁴⁾. 특히 알루미늄

기지 금속복합재료는 내마모성이 뛰어나고 질량 감소에 효과적이어서 관심의 대상이 되고 있다.⁽⁵⁻⁷⁾

금속복합재료는 보강섬유종류에 따라 단섬유, 장섬유 보강재료로 구분되며, 기지금속으로는 Al, Ti, Mg, Cu합금과 강화재료는 고강도, 내열, 내마모성이 우수한 알루미늄, 실리콘 카바이드, 탄소, 보론 등이 사용되고 있다. 장섬유 보강 복합재료의 경우 보강재의 부피비를 50%이상 높임으로 인해 매우 높은 비강도와 비강성을 얻을 수 있는 장점이 있으나 장섬유 보강재와 금속복합재료 제조의 어려움과 2차 가공시의 어려움 등의 문제점을 가지고 있다.⁽⁸⁾ 단섬유보강 금속복합재료는 장섬유보강 금속복합재료에 비하여 강도는 떨어지지만 보강재 및 금속복합재료를 비교적 쉽게 제조할 수 있는 장점 때문에 많은 연구가 진행되고

* 포항공과대학교 대학원 기계공학과

** 회원, 포항공과대학교 기계공학과

있다. 그러나 금속복합재료는 기존의 재료에 비해 제조 비용이 매우 높은 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근에는 알보렉스라는 비교적 저렴하면서도 기존의 보강재와 비슷한 물성을 가지는 단섬유와 함께 단섬유((주)금강)가 개발되었으며, 이를 이용한 금속복합재료 제조에 관한 연구의 필요성이 대두되고 있다.

양호한 금속복합재료를 제조하기 위해서는 양호한 예비성형체의 제조가 필수적이며, 이러한 예비성형체는 보강 단섬유의 종류에 따라 성형체의 양과 종류가 달라지고 건조방법이나 소결온도 등이 달라질 수 있으므로 이에 관한 체계적인 실험이 필요하다.

이와 같은 연구 배경을 바탕으로 본 연구에서는 건전한 염가예비성형체 및 금속복합재료의 제조의 일환으로 유·무기 바인더 및 응집체에 따른 예비성형체의 특성을 압축강도를 중심으로 연구하였으며 용탕 단조법을 이용하여 금속복합재료를 제조함으로써 그 기계적 특성을 연구하였다.

2. 이론적 배경

2.1 예비성형체의 제조

진공압추출법에 의한 예비성형체의 제조 인자로는 성형체의 종류 및 양, 수용액의 농도 등의 성형체 조건, 원하는 부피비로 제조하기 위한 보강재의 길이 및 종횡비 등의 보강재 조건, 그리고 진공압, 수행시간 등의 성형조건이 있으며, 이외에도 건조와 소결 온도, 분위기 조건 등이 중요한 인자로 작용된다.

성형체는 유·무기성형체 및 응집체가 사용되며, PH조정을 위하여 아세트산 알콜(CH_3COOH)을 사용한다. 유기성형체는 성형 건조후의 예비성형체에 강도를 주어 작업성을 향상시키는 효과가 있고 무기 성형체에는 소성 후에 작업성 향상과 용탕 주조시 발생하기 쉬운 예비성형체의 압축 변형률을 억누르는 효과가 있다. 응집체는 투수성 향상을 위해 사용되며, 아세트산은 PH를 조절하여 무기 바인더를 보강재에 쉽게 부착시키는 역할을 한다. 무기성형체로는 물유리(silica)가 유기 성형체로는 전분(Starch), 응집체로는 PAA

(polyacrylamide)등이 사용되고 있다.

이와 같은 성형체는 금속복합재료에서 보강재와 기지재의 경계면 사이에서 결합으로 작용하여 결합을 저해하기 때문에 기계적인 물성의 향상을 위해서는 성형체의 양을 적절히 결정할 필요가 있다. 즉, 주조시 예비성형체에 기지 금속의 용탕이 침투할 수 있도록 충분한 기공성을 가지게 하는 동시에 침투 가압력에 견딜 수 있는 압축 강도를 유지할 수 있도록 최소의 성형체를 사용하는 것이 바람직하다.

예비성형체는 적당한 건조과정을 거친 후 소결과정을 거치는데 소결 과정을 거치면 예비성형체가 가법계 되고 성형체의 강도가 올라가기 때문에 작업성이 향상되고 압축강도가 높아진다⁽¹¹⁾. 소성 온도나 시간 같은 소성 조건은 단섬유의 종류에 따라 달라지기 때문에 단섬유의 종류에 따른 적절한 소성 온도와 시간이 결정되어야 한다.

2.2 금속복합재료의 제조

금속복합재료의 제조법에는 분말 야금법(Powder metallurgy), 용탕 주조법(Squeeze casting), 복합 주조법(Compcasting process) 등이 있다.⁽⁹⁾

이 중 용탕 주조법은 복합화 공정이 비교적 간단하고, 제조원가가 저렴하며 목적하는 부분만을 국소 보강할 수 있는 등의 장점과 기존의 금속 제조에 사용되고 있는 용탕 주조의 기술을 그대로 응용할 수 있고 대량 생산에 적합하다는 장점 때문에 금속복합재료 제조방법으로 많이 사용되고 있다.

용탕 주조법을 이용하여 금속복합재료를 제조할 경우 용탕온도, 예비성형체 예열온도, 금형온도, 주탕량, 금형냉각속도, 가압력 등이 재료에 영향을 미친다. 용탕온도, 예비성형체 예열온도, 금형 온도가 높을수록 예비성형체의 변형이 적으나, 계면반응이 많고 조직이 조대화한다. 반대의 경우 계면반응과 조직은 미세화 되지만 금속복합재료 제조시 미함침부가 생길 가능성이 높아진다. 주탕량이 많을수록 금형이 찬찬히 냉각될수록 예비성형체의 변형이 적다. 가압력이 높을수록 금속복합재료의 강도가 높지만, 금형에 변형이 발생하기 쉬우므로 적당히 압력을 조절할 필요가 있다.

Table 1 Specification of various short fibers

Material	Density (g/cm ³)	Diameter (μ m)	Length (μ m)	Tensile Strength(GPa)	Modulus (GPa)
Al ₂ O ₃ (Saffil)	3.3	3.0	150	2.0	310
9Al ₂ O ₃ · 2B ₂ O ₃	3.0	1	30	7.8	394
HTZ	2.7	3.5	150	1.4	100

3. 실험 방법

3.1 사용 재료

이번 연구에 사용한 재료로는 기지재로서 AC8A를 사용하였으며 보강재로서 알루미늄아(Saffil)와 알보렉스(Shikoku Kasei), HTZ((주)금강)를 사용하였다.

Al-Si-Cu-Ni-Mg계의 AC8A는 불순물에 의한 물성의 저하가 적어 자동차 및 디젤기관의 피스톤, 선박용 피스톤으로 사용되고 있다. 보강재로 사용되는 알루미늄아는 ICI사의 Saffil알루미늄아 RF grade의 단섬유로서 δ -결정상이며 알보렉스는 직경 0.5~1.0 μ m, 길이 10~30 μ m의 단결정 9Al₂O₃ · 2B₂O₃ 휘스커이며, HTZ는 Al₂O₃-SiO₂(46.9%)-ZrO₂(22.3%)로서 평균섬유직경이 6 μ m이며 인장강도가 1.4GPa인 매우 경제적인 단섬유이다. 이들 보강재에 관한 사양 및 기본물성은 Table 1에 나타내었다.

3.2 금속복합재료의 제조

3.2.1 예비성형체 및 금속복합재료의 제조

· 알보렉스/Saffil-예비성형체 : 알보렉스와 Saffil을 3:1의 부피비로 혼합한 슬러리(slurry)를 3분간 교반한 다음 무기 바인더(silica)와 유기 바인더(starch)를 첨가하여 교반하였다. 이 때 무기 바인더의 양은 1~5%사이에서 변화시켰고 유기 바인더는 0.1% 첨가하였다. 마지막으로 응집제를 0.1%정도 첨가하였고, 아세트산을 이용하여 PH를 조절하였다. 제조된 예비성형체는 자연 상태로 3일간 방치한 후 전기로에서 80℃로 1일간 건조하고 1,000℃와 1,100℃의 두 가지 온도 조건에서 2시간 소결처리했다.

· HTZ-예비성형체 : 부피비(15%)를 만족하도록 보강재를 증류수와 교반한 후 알보렉스/Saffil-예비성형체에서와 마찬가지로 유, 무기 바인더,

응집제, 아세트산(CH₃COOH)을 이용하였으며, 무기 바인더의 양을 변화시키면서 예비성형체를 제조하였다. 제조된 예비성형체는 초음파 건조기를 사용하여 완전히 물기를 제거한 후 1000℃와 1100℃ 두 가지 온도 조건에서 2시간 소결처리했다. 금속복합재료의 제조는 용탕 주조법을 이용하였으며, 용탕 주조 조건은 다음과 같다.

용탕 온도 : 질소 분위기에서 780℃

금형 및 예비성형체 온도 : 450℃

가압 속도 및 가압력 : 2cm/sec, 30MPa

3.2.2 예비성형체의 압축시험

예비성형체의 압축 시험에 사용된 시편은 가로세로 각각 2cm의 크기를 가지도록 제작하였다. 압축시험은 각각 다른 양의 바인더를 사용하여 제조한 10종의 예비성형체에 대하여 2~3회씩 수행하였다. 시험기는 만능시험기(UTM : Shimadzu, 5ton)를 이용하였으며, 시험 속도는 0.05m/s의 변위 제어로 수행하였으며, 펜레코더를 이용하여 데이터를 얻었다.

3.3 상온 및 고온 인장 시험

상온 및 고온 인장 시험에 사용된 시험편은 ASTM E8을 기초로 몰립부만 수정하여 제작하였다. 시험편은 510℃에서 4시간 동안 용체화 처리 후, 담금질(Quenching)시킨 다음 170℃에서 시효 처리하는 T6열처리를 하였으며, T6 열처리하지 않은 경우와 비교하였다. 고온 인장 시험에 사용된 시험편은 열처리 없이 제조된 상태(as fabricated)로 제작하였다. 상온 인장 실험은 MTS(100kN, USA)를 이용하여 0.1kN/sec의 하중 제어로 수행하였다.

고온 인장 시험은 노(furnace)를 이용하였다. 온도유지 장치로 노를 이용하였기 때문에 변형률(elongation)은 측정하지 않았고 변위만을 측정하였다. 인장 시험은 각 재료마다 온도별로(20℃, 150℃, 250℃, 350℃) 시편 3-5개를 사용하였다.

3.4 마모 시험

마모시험은 회전 원판식 마모시험기(Riken-Ogoshi Co)를 사용하였다. 이 시험기는 접촉하중, 마모거리, 마모속도 등이 여러 조합의 기어비에 의해 조절되며, 상온 및 고온 분위기하에서 건식 및 습식 마모시험이 가능하다.

마모 시험편은 제조된 잉곳으로부터 가압방향의 수직한 면과 수평한 면에서 채취되었으며, 시험편의 크기는 50×40×5(mm)이고, 상대재는 SCM4강재를 사용하였다. 시험편과 상대재의 표면은 사포(sand paper) #800으로 각각 균일하게 연마하여 표면조도를 일정하게 하였다. 마모량은 10-5g까지 측정이 가능한 전자저울을 사용하여 마모전과 후의 질량을 비교하여 측정하였다. 보강재의 종류에 따른 마모 특성연구는 AC8A를 기지재로 한 복합재료에 대해서 상온에서 건식 마모 시험을 수행하였으며, 시험조건은 상대마모속도를 0.082, 0.94, 1.97, 3.53ms로 변화시켜 마모거리가 100m때 마모량의 변화를 관찰하였다. 접촉하중은 두 재료 모두 12.6kgf로 같게 하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 예비성형체 및 금속복합재료의 제조

양호한 예비성형체 제조에 있어서 중요한 인자로 수분 제거 방법과 바인더의 양과 종류를 들 수 있다. 일반적으로 투수성(permeability)에 영향을 미치는 인자들로는 보강재의 크기, 첨가물의 종류, 수분 제거 방법 등이 있다. 투수성을 높이기 위한 방법으로는 응집제(polyacrylamide)를 사용하는 방법과 여과포를 이용하는 방법이 있다.

그러나 이번 예비성형체의 제조 과정에서 응집제의 사용 유무는 투수성에 별다른 영향을 미치지 않았다. 오히려 응집제의 첨가로 빠른 교반과정을 필요로 하는 등 제조 공정을 추가하는 역할을 하여 작업 시간을 길게 하는 결과를 가져왔다. 사용한 여과포(500mesh)만으로 충분한 여과성을 얻을 수 있었다. 그러나 보강재의 크기 차이로 인해 생기는 투수성의 차이는 피할 수 없었다. 이번 시험에 사용한 보강재는 알보렉스와 알루미나(Saffil) 및 HTZ 단섬유로서 알보렉스/Saffil을 이용한 경우 HTZ를 이용한 경우보다 수분을 제거하는데 걸리는 시간이 길게 걸렸다.

무기 바인더를 알보렉스에 원만하게 부착시키

기 위하여 첨가하는 아세트산의 양도 투수성에 매우 많은 영향을 미치는데 아세트산의 양이 많으면 슬러리(slurry)를 겔(gel)상태로 만들어 투수성을 매우 악화시키고 금속복합재료 자체의 물성도 악화시킨다.

양호한 예비성형체를 제조하기 위한 또 하나의 조건은 바인더의 종류 및 양이다. 이번 시험에서는 이러한 바인더의 양을 결정하기 위하여 10가지 종류의 슬러리를 제조하였으며 각각의 제조조건을 Table 2에 나타내었다.(이하 각 본문과 Fig에 있는 번호는 Table 2의 예비성형체의 번호이다) 제조 조건의 변수는 무기바인더의 양과 유기바인더의 유·무에 두었다.

제조된 예비성형체의 평가를 위한 실험으로 압축 시험을 선택했다. 이것은 예비성형체가 금속복합재료 제조시 압축력에 가장 민감하기 때문이다. Fig. 1과 Fig. 2에는 각각 알보렉스/Saffil과 HTZ 예비성형체의 압축 시험의 결과를 나타내었다. 두 가지 섬유 모두 무기 바인더의 양이 클수록 압축 강도가 증가하는 경향을 보였고, 유기 바인더는 역시 예비성형체의 압축 강도를 향상시키는 결과를 보여 주었다. 또 섬유의 종류에 따라서는 알보렉스/Saffil의 경우가 HTZ에 비해서 압축강도가 높게 나타났다.

Table 2 Fabrication conditions of preform.

No.	Reinforcements	Inorganic Binder (%)	Organic Binder (%)	Starch (%)	Sin. Temp. (°C)
1	Alborex(3)+ Saffil(1)	1		0.1	1000
2	Alborex(3)+ Saffil(1)	3		0.1	1000
3	Alborex(3)+ Saffil(1)	1	0.1	0.1	1000
4	Alborex(3)+ Saffil(1)	3	0.1	0.1	1000
5	Alborex(3)+ Saffil(1)	3	0.1	0.1	1100
6	Alborex(3)+ Saffil(1)	5			1000
7	Saffil	5			1000
8	HTZ	1		0.1	1000
9	HTZ	3	0.1	0.1	1100
10	HTZ	5			1000

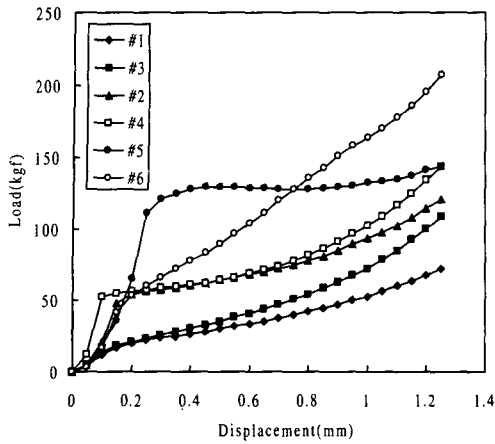


Fig. 1 Compressive curves of Alborex/Saffil preform.

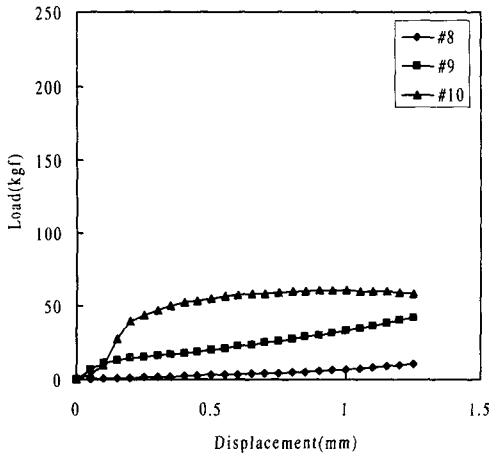


Fig. 2 Compressive curves of HTZ preform.

뒤에서 언급하지만 이런 바인더의 종류나 양은 금속복합재료의 물성에 영향을 주기 때문에 보강재의 종류에 따라 바인더 양의 조절이 필요한 것을 보여주고 있다. 예비성형체의 압축 강도에 영향을 미치는 또 하나의 중요한 요인은 소결 온도이다. 알보렉스/Saffil의 경우 소결 온도 100℃의 상승으로 인한 상당한 압축 강도의 향상을 가져왔다. 이것은 이 온도에서 물라이트(mullite)가 생성되는 임계점이기 때문이라고 사료된다. HTZ 단섬유의 경우에는 소결 온도의 상승이 많은 영향을 미치지 않았다. 이것은 두 소결 온도가 모두 임계 온도보다 낮기 때문에 어느 쪽도 물라이트가 생성되지 않았기 때문이라 사료된다. 이 소

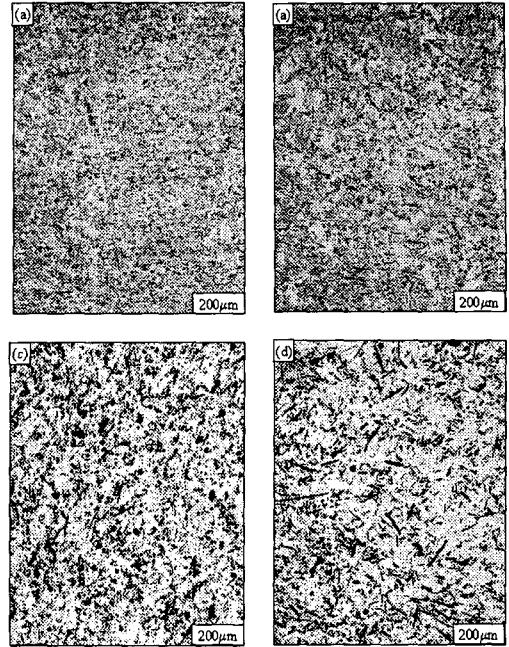


Fig.3 Microstructures of a)Alborex/Saffil/AC8A composites showing perpendicular and b)parallel to the applied pressure direction c)HTZ/AC8A composites showing perpendicular and d) parallel to the applied pressure direction.

결 온도는 금속복합재료 자체의 물성에도 영향을 미칠 것으로 예상되며 이에 관한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

압축시험의 결과로부터 금속복합재료 제조시 생길 수 있는 미소 크랙의 발생을 예상 할 수 있었다. 즉, 예비성형체의 압축 변위의 증가에 따라 하중이 증가하는 경향을 보이던 약간의 변형은 있을 수 있으나 미소 크랙은 발생하지 않지만, 예비성형체의 변위가 증가해도 하중이 떨어지는 경향을 보이던 금속복합재료 제조 압력이 높은 경우 미소 크랙이 발생할 가능성이 높은 것으로 사료된다.

Fig. 3에 제조된 금속복합재료의 광학 사진을 나타내었다. 두 복합재료가 상당히 다른 조직을 가짐을 알 수 있는데, 알보렉스/Saffil을 이용한 복합재료의 경우 그 보강재의 크기 때문에 매우 미세한 조직을 가지는 것을 볼 수 있다. 알보렉스/Saffil을 이용한 복합재료의 경우 가압 방향과 가압 방향에 수직인 경우에 대하여 방향성이 많이 보이지는 않으나 HTZ의 경우 가압 방향과

가압 방향에 수직인 경우에 대한 방향성이 명확히 보인다. 이것은 단섬유의 평균 길이의 차이 (HTZ 단섬유의 평균 길이 : 150 μ m, 알보렉스 단섬유의 평균 길이 : 30 μ m)의 영향이며, 뒤에서 언급할 마모시험에서 마모량의 변화에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

4.2 성형제와 열처리에 따른 금속복합재료의 물성

바인더 양에 따른 금속복합재료의 제조 상태와 물성을 조사하기 위하여 제조된 예비성형체 중 1, 5, 8, 9, 10번(Table 2 참조)의 예비성형체는 금속복합재료로 제조되었다. 금속복합재료는 예비성형체의 압축강도와 상관없이 비교적 양호하게 제조되었다.

일반적으로 예비성형체를 제조할 때 첨가되는 바인더의 양이 많을수록 예비성형체의 성형성은 좋아지고 금속복합재료의 물성은 떨어지는 것으로 보고되고 있다.⁽¹⁰⁾ 무기바인더(SiO_2)는 소결 후의 작업성 향상과 용탕주조시에 발생하기 쉬운 예비성형체의 압축변형을 억제하는 역할을 하지만 소결후에 강화재 표면에 잔존하기 때문에 Mg를 포함하고 있는 알루미늄 합금의 용탕 주조시 알루미늄 용탕과 예비성형체 내의 SiO_2 바인더와의 반응($3\text{SiO}_2+4\text{Al}=2\text{Al}_2\text{O}_3+3\text{Si}$)으로 강화섬유계면의 Mg 편석과 Si입자의 석출을 가져와 복합재료의 기계적 성질을 저하시킨다. 이러한 이유에서 금속복합재료 제조시 성형성을 유지하는 범위 내에서 가능한 바인더의 양을 적게 이용하는 방향으로 연구가 진행되고 있다. 예비성형체 제조시 이용되는 단섬유의 종류에 따라 바인더의 양이 예비성형체의 성형성 및 금속복합재료의 물성에 미치는 영향이 달라질 수 있으므로 서로 다른 양의 바인더를 사용한 금속복합재료를 이용하여 인장시험을 수행할 필요가 있다. 성형제의 양과 열처리 변화에 따른 상온에서의 인장 강도를 Table 3에 나타내었다.

전체적으로 HTZ 단섬유를 이용한 경우보다 알보렉스/Saffil을 이용한 금속복합재료의 물성이 우수하였다. 이것은 보강재 자체의 물성차이 뿐만 아니라 미세 조직에 기인한다. 즉, 미세한 알보렉스 단섬유를 보강한 금속복합재료의 경우 HTZ 단섬유를 이용한 경우에 비하여 그 조직이 매우 미세하기 때문에 전체적으로 균일한 분포를 가지면서 우수한 물성을 가진 것으로 사료된다.

Table 3 Tensile properties of fabricated MMCs tested at 20 $^{\circ}$ C.

Preform No.	Reinforcements	SiO ₂ (%)	H.T	T.S (MPa)	Elong. (%)
1	Alborex(3)+ Saffil(1)	1	As fab.	277	1.21
				278	1.26
				294	1.24
1	Albroex(3)+ Saffil(1)	1	T6	272	1.32
				262	0.90
5	Alborex(3)+ Saffil(1)	3	As fab.	319 313	1.46 1.32
8	HTZ	1	As fab.	197 210	1.01 1.08
8	HTZ	1	T6	196 200	1.08 1.23
9	HTZ	3	As fab.	245 247	1.30 1.28
10	HTZ	5	As fab.	237 225	1.24 1.00
10	HTZ	5	T6	213 169	1.27 0.69
7	Saffil	5	T6	308	0.42
	AC8A		T6	280	1.12

성형제의 양과 종류에 따른 금속복합재료의 물성은 무기 바인더를 매우 작은 양을 사용한 경우에 비하여 비교적 많이 사용한 경우의 물성이 좋게 나왔다. 이것은 무기 바인더가 상당히 많이 들어간 경우 석출등으로 금속내부에서 결함으로 작용하지만, 적절한 양의 바인더를 사용한 경우 Mg 편석이나 Si석출 등이 크게 문제가 되지 않는 것으로 사료된다. 또 바인더는 단섬유를 결합시켜주는 역할을 하는데, 바인더의 양이 충분한 경우 이러한 역할을 효과적으로 하지만 바인더의 양이 매우 부족할 경우 이러한 역할을 하지 못하는데, 이러한 점 역시 물성이 저하의 한 요인으로 사료된다. 앞에서도 언급하였듯이 바인더가 보강재에 얼마나 또 어떠한 방식으로 부착하는가 하는 것은 바인더 자체의 양도 중요하지만 PH의 정도 유기 바인더의 양에 따라 달라지기 때문에 이러한 다른 부대 조건에 따라 무기바인더의 양이 결정되어야 할 것으로 사료된다.

기지재(AC8A)의 경우 T6 열처리를 행하여 기계적 특성은 향상되고 있지만 두 가지 종류의 단섬유를 이용한 복합재료 모두 거의 동등 혹은 얼마간의 강도 저하가 보여진다. AC8A는 열처리에

의해 약 1% 포함되어진 Mg가 Mg₂Si로 합금 중에 석출하는 석출 경화형의 합금으로 강도와 경도가 상승한다. 그러나 금속복합재료에서는 Mg가 복합화 또는 열처리 시에 보강재와 반응하여 MgO · Al₂O₃을 형성하기 때문에 본래의 시효 경화를 얻을 수 없다고 여겨진다.

4.3 고온 인장 시험 및 마모 시험

고온 인장 시험을 수행한 금속복합재료는 상온 인장 시험에서 금속복합재료의 물성이 가장 우수하게 나타날 때 사용한 예비성형체 (무기 바인더 3 wt%와 유기 바인더 0.1 wt%, 응집제 0.1 wt%)를 사용하여 제조하였다. Fig. 4에 알보렉스/Saffil과 HTZ 섬유를 이용하여 제조한 금속복합재료의 온도에 따른 인장 시험 결과를 나타내었다. 알보렉스/Saffil을 이용한 복합재료의 경우 열처리 과정이 없었음에도 불구하고 기존의 Saffil 단섬유만을 사용한 복합재료와 거의 대등한 인장 강도를 가지는 것으로 나타났다. 특히 고온으로 갈수록 우수한 특성을 보였다.

HTZ 단섬유를 사용한 경우는 상온 인장 강도는 기지재보다 오히려 떨어졌다. 그러나 고온으로 갈수록 우수한 물성을 보였다. 고온(250℃)에서 상온 인장 강도의 75%정도를 유지하였으며, 이는 Saffil 단섬유만을 사용한 복합재료가 고온에서 가지는 강도에 필적하는 것이다.

Fig. 5에 보강재에 따른 전체적인 마모 시험의 결과를 나타내었다. 기지재의 마모 거동은 저속에서 중속으로 가면서 감소하다 고속으로 가면서 증가하는 경향을 보여주고 있다.

이것은 저속에서 주된 마모 기구로 작용하던 연삭 입자가 속도가 증가하면서 되박히는 현상이 발생하기 때문이라고 보여진다. 금속복합재료에서는 두 보강재 모두 저속에서 고속으로 갈수록 마모량이 감소하는 것을 보여주었다. 인장 시험의 결과와 마찬가지로 마모 시험의 결과도 알보렉스/Saffil을 이용한 경우 마모 특성이 좋았다.

금속복합재료는 예비성형체의 제작 단계에서 이방성을 지닌다. 따라서 이러한 방향성에 대한 마모 시험도 수행하였다. 마모시험의 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 가압 방향과 이에 수직한 방향을 기준으로 시험한 결과 알보렉스/Saffil을 이용한 경우에는 별 차이가 없었으나, HTZ 단섬유의 경우 가압 방향에 수직한 방향에서 마모의 특

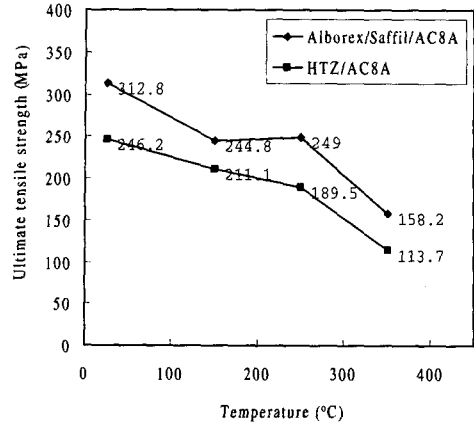


Fig. 4 Effect of testing temperature on tensile strength of various MMCs.

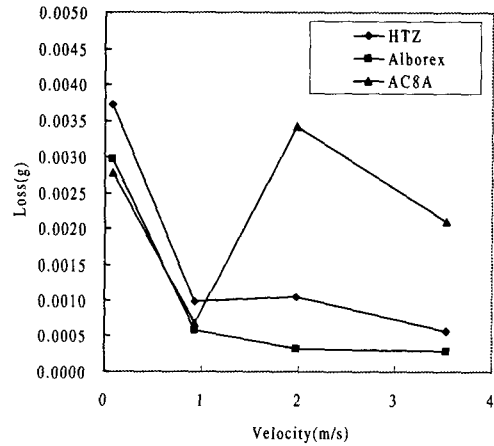


Fig. 5 Effect of sliding speeds on wear behavior of various MMCs.

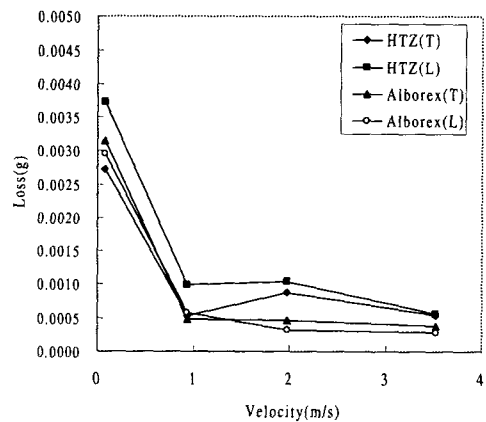


Fig. 6 Effect of pressure direction on wear behavior of various MMCs.

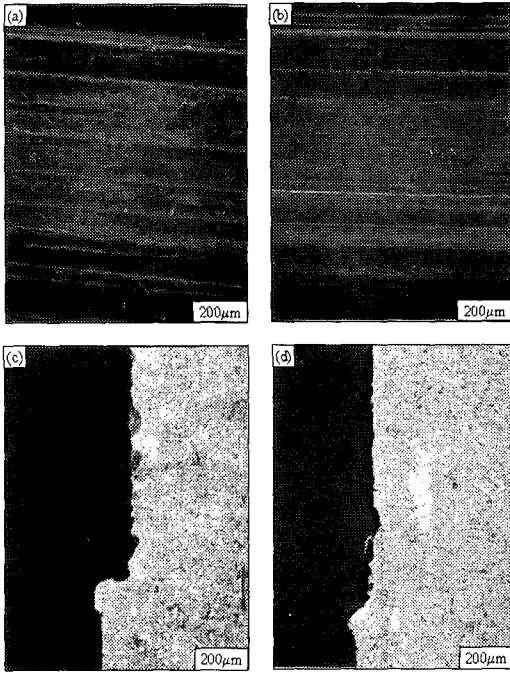


Fig. 7 Wear surfaces of Alborex/Saffil/AC8A a) 0.081 m/s b) 3.53m/s and optical microphotograph c) 0.081m/s d)3.53m/s.

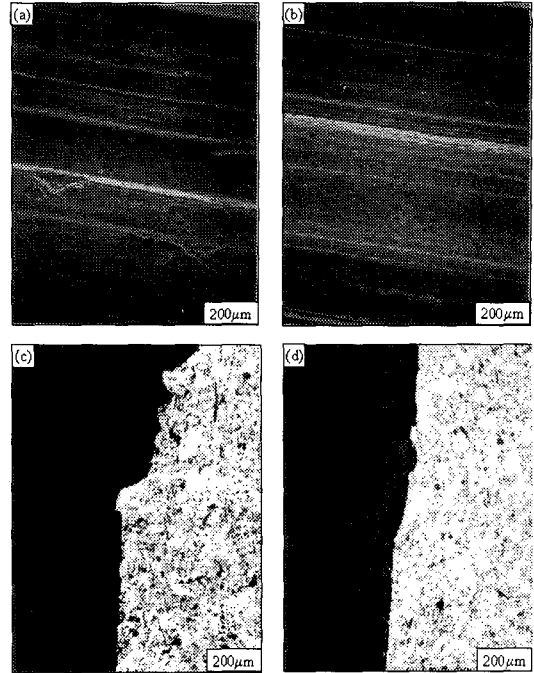


Fig. 8 Wear surfaces of HTZ/AC8A a) 0.081m/s b) 3.53m/s and optical microphotograph c) 0.081m/s d)3.53m/s.

성이 좋았다. 알보렉스/Saffil을 이용한 경우 금속 복합재료의 조직이 미세한 구조를 가져 방향성의 차이가 뚜렷하지 않는 반면 HTZ 단섬유의 경우 그 차이가 상당히 있음을 알 수 있다. 즉 가압 방향의 경우 단섬유들이 누워 있을 확률이 높기 때문에 단섬유가 상대재에 밀리기 쉬운 면이 있으나 가압 방향에 수직한 경우 단섬유들이 기지재에 세워져 박혀있기 때문에 비교적 밀리기 어렵다.

Fig. 7, 8에 각 재료의 마모면을 나타내었다. 각 재료모두 저속에서 골폐임현상으로 대별되는 연삭 마모 및 응착 마모의 흔적이 보인다. 그러나 고속의 경우는 재료의 밀림이나 응착현상은 보이지 않았으며, 이것은 실제 마모량의 감소와 일치한다.

5. 결론

(1) 무기바인더 3 wt%, 유기바인더 0.1 wt%, 응집제 0.1 wt%, PH9, 소결온도 1,100℃의 조건으로 양호한 알보렉스/Saffil 및 예비성형체를 제조하였다

무기바인더 양의 증가에 따라 예비성형체의 압축 강도가 증가하였으며, 유기 바인더의 첨가도 압축 강도 향상에 기여하였다.

(2) 응집제의 경우 투수성에 별다른 영향을 미치지 않았으며, 작업 효율향상 측면에서 첨가하지 않는 것이 바람직하다고 사료되며, PH의 조절이 투수성이나 무기바인더가 단섬유에 부착되는데 상당한 영향을 미치므로 무기 바인더 양에 따른 PH의 조절이 필요하다 사료된다.

(3) 금속복합재료의 상온시험결과 무기바인더를 매우 적게(1wt%) 사용한 경우에 비해 적당한 양(3wt%)을 사용하여 더 높은 인장 강도를 보였다. 알보렉스/Saffil을 이용한 금속복합재료의 경우 고온(250℃)에서 상온 인장 강도의 80%를 유지하였으며, HTZ 단섬유를 이용한 금속복합재료의 경우 상온 인장 강도의 75%를 유지하였다.

(4) 마모시험결과 HTZ 단섬유를 이용한 경우보다 알보렉스/Saffil 단섬유를 이용한 금속복합재료의 경우 더 우수한 특성을 나타내었으며, 단섬유의 크기가 클수록 금속복합재료의 방향성을 크게 해 재료의 방향에 따른 마모 특성에 영향을 주었

다.

후 기

본 연구는 상공부 G-7과제(경량 금속 복합재료 개발(V))의 지원으로 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) Dinwoodie, J., "Automotive Applications for MMCs Based on Short Staple Alumina Fiber," SAE Technical Paper series, No.870437.
- (2) Miura, N., Miyake, N., "Ceramic Fiber Reinforced Piston for High Performance Diesel Engines," SAE Technical paper series, No. 830252.
- (3) Folgar, F., 1989, "Fiber FP/metal Matrix Composite Connecting Rod : Design Fabrication and Performance," *Ceram. Eng. Sci. Proc.*, Vol. 9, pp. 561~578.
- (4) Subra, S., Andreas, M., and Alan, N., 1993, *Fndamentals of Metal Matrix Composites*, Butterworth-Heinemann, pp. 2~22.
- (5) Narayan, M., Surappa, M. K., and Pramila Bai, B. N., 1995, "Dry Sliding of Al Alloy2024-Al₂O₃ Particle Metal Matrix Composites," *Wear*, Vol. 181~183, pp. 563~570.
- (6) Perrin, C., and Rainforth, W. M., 1995, "The effect of alumina fiber reinforcement on the wear of Al-4.3% Cu alloy," *Wear*, Vol. 181~183, pp. 12~324.
- (7) Axen, N., Alahelisten, A., and Jacobson, S., 1994, "Abrasive wear of alumina fiber reinforced aluminum," *Wear*, Vol. 173, pp. 95~104.
- (8) Schulte, K., and Minoshima, K., 1993 "Damage Mechanisms Under Tensile and Fatigue Loading of Continuous Fiber-Reinforced Metal-Matrix Composites," *Composites*, Vol. 24, pp. 197~208.
- (9) 한경섭, 김영한, 1992, "금속복합재료의 제조 및 응용," 대한기계학회지, 제32권, 제1호, pp. 46~56.
- (10) 양유창, 송정일, 봉하동, 한경섭, 1995, "엔진 경량화용 Al/Al₂O₃ 금속복합재료의 제조조건," 한국복합재료학회지, 제8권, 제1호, pp. 22~33.
- (11) Kruger, G., Kainer, K. U., 1993, "Characterization of Ceramic Fiber Perform," *ICCM9*, Vol. 2, pp. 15~22.