

금속복합 재료의 제조 및 응용



● 1952년생
● 재료공학을 전공하였으며, 복합재료 역학 금속복합재료의 제조 및 물성평가에 관심을 가지고 있다.

한 경 섭

포항공과대학 기계공학과 교수



● 1967년생
● 생산공학을 전공하였으며, 복합재료의 제조 및 응용에 관심을 가지고 있다.

김 영 한

포항공과대학 기계공학과 대학원생

1. 머리 말

금속복합재료(MMC : metal matrix composite)는 금속기지(metal matrix)에, 분말(particle), 휘스커(whisker), 장섬유(long fiber) 및 단섬유(short fiber) 등의 형태를 갖는 보강재(reinforcement)를 포함시켜 상온 및 고온에서 우수한 기계적 성질을 가지고, 높은 내마멸성과 내열성 및 피로저항성 등을 갖도록 한 신소재이다. 개발 초기에는 주로 우주, 항공산업과 군사용 목적으로 연구되었으나, 최근에는 자동차 및 스포츠 레저산업 등에 그 응용의 폭이 확대되면서 관심이 더 해지고 있다.^(1,2)

금속복합재료는 보강재의 형태에 따라 입자분산강화합금(PSM : particle dispersed strengthened metal), 섬유강화합금(FRM : fiber reinforced metal) 휘스커강화합금(WRM : whisker reinforced metal) 등으로 나눌 수 있다. 입자분산강화합금은 1946년 스위스의 Irmann에 의해서 개발된 SAP(sintered aluminum product)에서 기원을 찾을 수 있는데, SAP의 우수한 고온강도가 알루미늄 중에 분산되어진 알루미늄 입자의 영향인 것이 알려지면서 분산강화법을 이용하여 복합재료를 제조하는 연구가 시작되었다. 입자분산합금의 강화기구는 입자 자체가 강도를 유지함으로써 생기는 것이 아니고, 균일 분산된 미립자들에 의해

서 금속기지의 자체변형 저항을 높이고, 고온하에서 탄성률, 강도 및 크립특성 등을 개선시키는 것이다. 섬유강화합금은 금속기지 중에 높은 강도와 강성을 가지는 강화섬유를 포함시켜 금속기지만으로는 얻을 수 없는 우수한 기계적 성질을 가지도록 한 것이다. 알루미늄, 마그네슘, 구리, 티타늄 등의 합금에 탄소, 탄화규소, 알루미늄, 보론 등의 보강재를 사용하여 상온 및 고온에서 높은 비강도와 비강성을 가지도록 하는 경량형 금속복합재료와 철-니켈 합금 등에 텅스텐, 탄화규소 등의 보강재를 사용하여 1000°C 이상의 고온에서 강도와 크립특성을 향상시킨 고온형 금속복합재료가 연구되어지고 있다. 휘스커강화합금은 장섬유나 단섬유에 비하여 극히 미세하고 짧은 휘스커(보통 직경 : 0.1~0.5 μ m, 길이 : 50~200 μ m)를 금속기지에 분산시켜 제조한 복합재료로 일반적인 금속복합재료가 가지는 장점 외에도 압연이나 압출 등의 2차 가공이 용이하다는 장점을 가지고 있다. 그러나 다른 금속복합재료에 비하여 제조단가가 너무 높아, 미국의 NASA에서 우주, 항공 및 군사용 목적으로 제한적인 연구가 진행되어 왔다. 그러던 중 1979년 미국의 Exxon Oil사가 왕겨(rise hulls)로부터 탄화규소휘스커를 낮은 생산단가로 제조하는데 성공함으로써 휘스커강화합금의 연구가 활성화되었다.

이 글에서는 금속복합재료의 대표적인 제조

공법을 소개하고, 재료가 가지는 기계적 특성에 대하여 비교 설명하며, 끝으로 현재까지 개발된 금속복합재료의 응용분야와 앞으로의 이용전망에 대해서 이야기하고자 한다.

2. 금속복합재료의 제조

현재까지 개발된 금속복합재료의 제조공정은 분말야금법(powder metallurgy)^(4~9) 가압용침법(squeeze infiltration method)^(10~17) 복합주조법(compocasting proces)^(18~32) 분사주조법(spray casting)⁽³³⁾ 등이 있고, 액상압출법(liquid phase hot extrusion), 진공용침법(vacuum infiltration method) 등도 연구되었다. 이 글에서는 이 중에서 대량생산에 적합하고, 우수한 기계적 성질을 얻을 수 있는 것으로 알려진 분말야금법, 가압용침법, 및 복합주조법에 의한 금속복합재료의 제조공정을 다음과 같이 소개한다.

2.1 분말야금법

단섬유보강 금속복합재료는 기존의 분말야금법을 응용하여 제조할 수 있다. 이는 휘스커나 단섬유 등의 보강재를 금속분말과 균일하게 혼합하여 냉간 또는 열간압축시킨 후 일정 시간 동안 소결(sintering)하여 성형하는 방법이다. 그 제조방법은 그림 1과 같고 이를 설명하면 다음과 같다. 혼합에 따른 보강재의 파손방지와 교반을 좋게 하기 위하여 알코올 등의 용매에 보강재를 넣고 초음파 분산시킨 후 교반시키면서 금속분말을 조금씩 첨가한다. 교반에 의해서 보강재와 금속분말이 균일하게 혼합되면, 여과지와 진공흡입장치 등을 이용하여 용매를 제거하고, 혼합물을 건조시킨다. 이 혼합물을 정해진 금형속에 넣고, 냉간 또는 열간 성형하는 데 압력이 적정압보다 크면 보강재의 파손이 심해지므로 가압력을 적절히 유지하여야 한다. 적정 시간 동안 소결시키면 금형의 형상과 같은 모양을 갖는 완성품을 얻게 된다.

분말야금법에서 금속분말과 보강재의 성형체

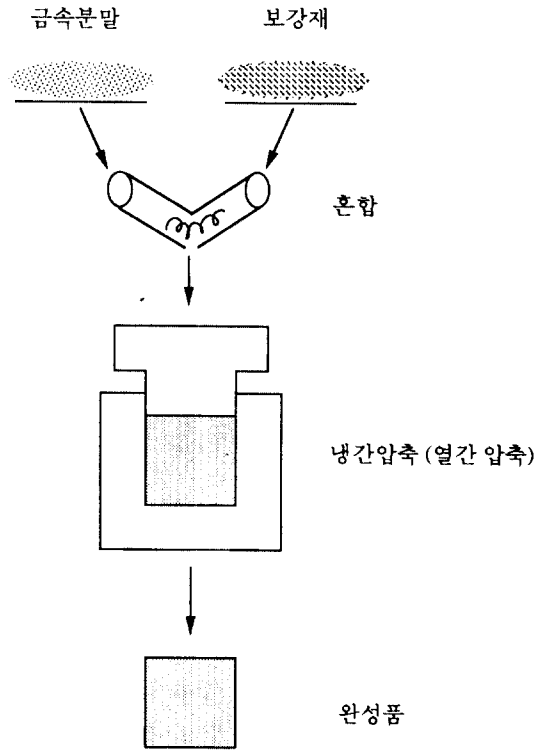


그림 1 분말야금법의 개념도

를 만드는 방법으로 밀봉한 금속분말과 보강재의 혼합물에 정수압을 이용하여 균일한 압력을 가함으로써 압축된 혼합물을 얻는 CIP(cold isostatic pressing)⁽⁶⁾가 있는데 성형하고자 하는 모양이 비교적 복잡하여도 가능하고, 밀도를 균일하게 유지할 수 있는 반면, 성형정밀도가 다이프레싱(die pressing) 등의 방법에 비하여 떨어지는 단점이 있다. 압축된 혼합물을 소결할 때 산화방지를 위하여 진공이나 질소, 아르곤 등의 불활성 가스 분위기하에서 행하기도 한다.⁽⁷⁾ 또한 커다란 압력용기 안에 단열된로(furnace)를 위치시키고, 헬륨, 네온, 아르곤 등의 가스를 이용하여 가압함으로써 혼합물의 압축과 소결을 동시에 하는 HIP(hot isostatic pressing)의 방법도 이용되고 있다.^(6,8) 이는 기공이 거의 없는 치밀한 조직과 고강도의 제품을 얻을 수 있는 장점이 있다.

분말야금법은 제조 후 수소 등의 잔류가스에 의해 생성되는 결함, 가압시 보강재의 손상과 불충분한 가압력 하에서 생기는 기공, 금속분말에서 생성되는 금속 간 화합물 등의 제어가 중요하며, 제조경비가 다른 공법에 비하여 고가인 것 등이 문제점이다. 그러나 금속기지와 보강재를 균질하게 혼합할 수 있으며, 우수한 기계적 성질을 기대할 수 있다. 이상의 분말야금법에 의해 제조된 금속복합재료를 필요에 따라 압연이나 압출 등의 2차 가공을 하여 기공을 감소시키고 균질한 조직을 갖게 함으로써 강도, 연신율 등을 증가시킬 수 있다.⁽⁹⁾

2.2 가압용침법

가압용침법은 유기 및 무기 성형재 (binder) 를 사용하여 보강재를 예비성형체 (preform) 로 만들고, 용융된 금속을 압력 상태에서 침투시킨 다음 응고함으로써 제조하는 방법이다. 그 제조공정의 개략도는 그림 2와 같다. 우선 금속기지가 예비 성형체 내부로 용침되는 동안 응고되는 것을 방지하고 보강재와의 접합성을 좋게 하기 위하여 적절한 온도로 예비성형체를 예열한다. 예열된 금형에 예비성형체를 장입하고, 목적에 따라 적정량의 용융된 금속을 주입한다. 그 다음 압력을 가하면 용융된 금속이 예비성형체 내부로 용침 (infiltration) 되면서 복합화가 이루어진다. 일정시간 동안 응고시키고, 탈형시키면 완성품을 얻을 수 있다.

가압용침법은 복합화공정이 비교적 간단하고, 제조 원가가 저렴하며, 목적하는 부분만을 국소보강할 수 있는 등의 장점과 기존의 금속 제조에 사용되고 있는 가압주조 (squeeze casting) 의 기술을 그대로 응용할 수 있고, 따라서 대량 생산에 적합하다는 장점을 가지고 있다. 그러나 보강재의 부피분율이 커짐에 따라 액체 금속의 용침이 어려워지고, 보강재의 파손과 가압에 의한 예비성형체의 수축 등이 문제점으로 남아 있다.

현재까지 가압용침법의 공정조건에 대해서 많은 연구가 수행되었다. 가압시 예비성형체의

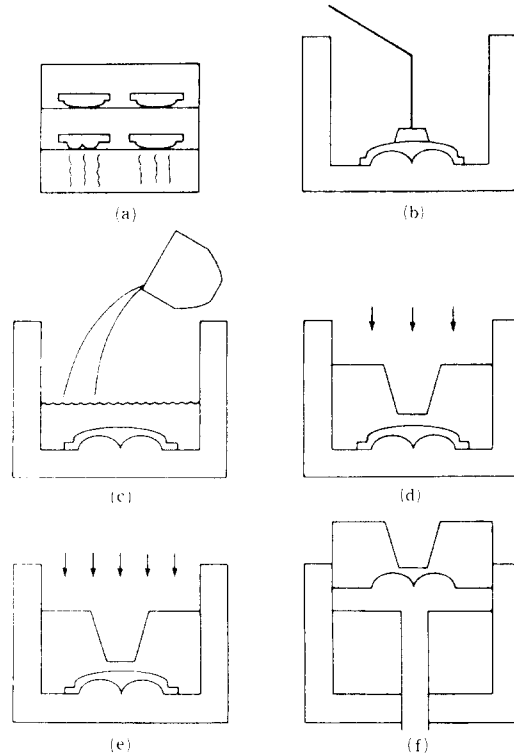


그림 2 가압용침법의 개념도

수축과 회복, 보강재 파손, 용융된 금속기지의 침투과정과 응고과정 등에 관한 연구⁽¹⁰⁾와 예비성형체의 수축에 의한 국부적인 부피분율의 증가현상⁽¹⁰⁾ 등이 보고된 바 있고, 수치해석을 이용한 최적공정조건에 대한 연구⁽¹²⁾ 등이 있었다.

2.3 복합주조법

복합주조법은 용융된 금속의 온도를 강하시켜 반고상화된 상태에서 기계적으로 교반시키면서 보강재를 투입하면 금속기지와 보강재 사이의 상호전단작용에 의해서 분산이 이루어진다는 것에 착안하여 개발되었다.⁽¹⁸⁾

복합주조법에 의한 금속복합재료의 제조장치는 그림 3과 같은 형태로 이루어지며, 그 제조공정은 다음과 같다. 금속기지를 용융시키고 목적하는 고상화율을 갖도록 온도를 조절한다.

기계적으로 용탕을 교반하면서 예열된 보강재를 투입한다. 교반이 끝나면 혼합물을 중력상태 또는 가압상태에서 주조하여 복합재료를 완성한다.

복합주조법은 용융된 금속을 기계적으로 교반시키면서 보강재를 침투시키는 방법으로 세라믹 보강재와 기지금속 사이의 젖음성(wettability)이 나쁘기 때문에 교반만으로는 보강재의 완전한 분산을 이루기 힘들고, 보강재의 첨가량에 제한을 받는다. 따라서 가압용침법이나 툰말야금법 등에 의하여 제조된 재료보다 낮은 물성을 가지게 된다. 이러한 공정상의 문

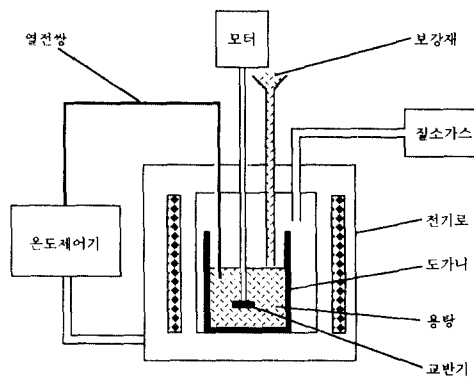


그림 3 복합 주조 장치의 개념도

표 1 보강재의 종류 및 특성⁽³⁾

특성 종류	길이 (mm)	직경 (μm)	밀도 (g/cm^3)	UTS (GPa)	E (GPa)
Particle					
Graphite	—	40-250	1.6	20	910
SiC	—	15-340	3.2	3	480
SiO ₂	—	53	2.3	4.7	70
MgO	—	2.7-3.6			
Si ₃ N ₄	—	46	3.2	3-6	360
TiC	—	46	4.9		320
BN	—	46	2.25	0.8	100-500
Mica	—	180			170
ZrO ₂	—	75-180	5.65-6.15	0.14	210
B ₄ C	—	40-340	2.5	6.5	480
TiO ₂	—	20	3.9-4.3		
Al ₂ O ₃	—	40-340	3.97	8	460
Glass	—	30-120	2.55	3.5	110
Fiber					
Carbon T300	2.5	7.8	1.75	3.45	230
SiC Nicalon	1-6	10-15	2.55	3	195
Al ₂ O ₃ FP	3-6	15-25	3.96	1.7	380
Al ₂ O ₃ Saffil	0.1-1	1-5	3.3	2	300
Whisker					
SiC Tokai	0.05-0.2	0.1-1	3.2	3-14	400-700
SiC Arco	0.05	0.2-1	3.2	13	700
Al ₂ O ₃ Saffil	0.7	3.0	3.3	2.0	310

제점을 해결하기 위하여 보강재 표면에 니켈이나 구리 등을 코팅하거나,^(19,20) 제조시 마그네슘 등을 소량 첨가⁽²¹⁾하는 등의 연구가 수행되었으나, 이러한 방법은 기지재료의 조성을 변화시키고, 반응생성물을 만들어 기계적성질을 저하시킬 수도 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 복합주조된 성형체를 압연, 압출 등

을 2차가공함으로써 기계적 성질을 향상시킬 수 있다.

이상의 제조공정을 응용하여 금속복합재료를 제조하는데 있어서 사용되어지고 있는 보강재들의 종류와 기계적 성질은 표 1과 같다. 이 중에서 탄화규소, 알루미늄, 탄소 등의 보강재는 생산공정에 널리 응용되어지고 있는데, 미국의

표 2 금속복합재료의 기계적 성질비교⁽³⁾

제조방법	재료	Vf.	E (GPa)	YS (MPa)	UTS ^{a)} (MPa)	UTS ^{b)} (MPa)
분말야금법	Al-1Mg-0.6Si Al ₂ O ₃ Saffil	0.29	91-96	390	385	120
	Al-1Mg-0.6Si Al ₂ O ₃ Saffil	0.15	91		306	
	Al-4Cu-1Mg SiC whisker	0.15	90		406	
	Al-1Mg-0.6Si SiC powder	0.30	126	380	450	
	Al-1Mg-0.6Si SiC whisker	0.18	98	420	450	
	가압주조법	Al-1Mg-0.6Si Al ₂ O ₃ Saffil	0.20	92	260	360
Al-12Si-Cu-Ni SiC whisker		0.12	95	266	359	124
Al-12Si-Cu-Ni Al ₂ O ₃ Saffil		0.20	101	298	384	181
Al-12Si-Cu-Ni Al ₂ O ₃ Saffil		0.12	83	251	273	74
Al-1Mg-0.6Si SiC whisker ¹⁾		0.20	95	281	313	113
Al-1Mg-0.6Si Al ₂ O ₃ Saffil ¹⁾		0.13	87		360	
Al-1Mg-0.6Si Al ₂ O ₃ Saffil ¹⁾		0.20	102		506	
Al-1Mg-0.6Si Al ₂ O ₃ Saffil ¹⁾		0.15	83		369	
Al-1Mg-0.6Si Al ₂ O ₃ Saffil ¹⁾		0.25	100		390	
Al-1Mg-0.6Si Al ₂ O ₃ Saffil ¹⁾		0.12	79		346	
Al-1Mg-0.6Si SiC-Al ₂ O ₃ hybrid ²⁾		0.20	88		428	
복합주조법	Al-4.5Cu Al ₂ O ₃ Saffil	0.10	74	221	305	144
	Al-4.5Cu SiC Nicalon	0.10	46	201	217	145
	Al-1Mg-0.6Si SiC-Al ₂ O ₃ Hybrid ²⁾	0.15	90		340	

a) UTS at 20°C, b) UTS at 350°C

1) 참고문헌(34), 2) 참고문헌(43).

경우 Exxon사가 2024알루미늄에 SiC 휘스커를 복합화한 SAX를 생산하였으며, ARCO 화학이 2124, 6061알루미늄에 SiC 휘스커를 강화시킨 복합재료를 생산하고 있다. 일본에서는 미쓰비시가 6061알루미늄에 SiC 휘스커를 보강한 CERRAL이라는 제품을 생산하고 있고, 신호제강, 소화전공, 주우경금속 등에서 2024, 2124, 6061, 7075 등의 알루미늄 기지에 SiC 휘스커를 분산시킨 제품을 생산하고 있다.

3. 기계적 성질

금속복합재료는 기지금속보다 상온 및 고온에서 높은 비강도와 비강성을 가지고, 우수한 내마멸성과 내열성 및 피로저항성을 가진다. 표 2는 제조방법에 따른 금속복합재료의 기계적 성질을 비교한 것이다. 지금까지 연구된 바에 의하면 분말야금법이 가압용침법이나 복합주조법 등의 다른 제조방법에 비하여 우수한 기계적 성질을 얻을 수 있는 것으로 알려져 있다. 금속복합재료의 인장강도는 보강재의 배향방향, 중횡비(aspect ratio), 보강재와 기지재료의 인장강도, 제면전단강도, 잔류 응력 및 열처리 조건에 따라 크게 달라지는데 보강재의 첨가에 따라 200%까지 향상되기도 한다. 단섬유로 보강된 금속복합재료의 영률은 보강재의 형태와 부피분율에 따라 달라지며 기지금속에는 크게 영향을 받지 않는다. 일반적으로 보강재의 부피분율 증가에 따라 50~100%정도 향상된다.⁽³⁴⁾

그림 4는 상온 및 고온에서 기지금속과 금속복합재료의 인장특성을 보여주고 있다. 기지금속은 온도가 올라감에 따라 인장강도가 현저히 감소하는데 비해 금속복합재료는 약 300°C까지 양호한 인장강도를 가진다. 영률의 경우는 상온 및 고온에서 모두 금속복합재료가 기지금속보다 우수함을 알 수 있다. 상온에서 금속복합재료의 파괴양상은 거시적으로는 취성파괴의 양상을 보이고, 미시적으로는 기지금속에 대하여 연성파괴의 양상을 보인다. 인장시험온도가

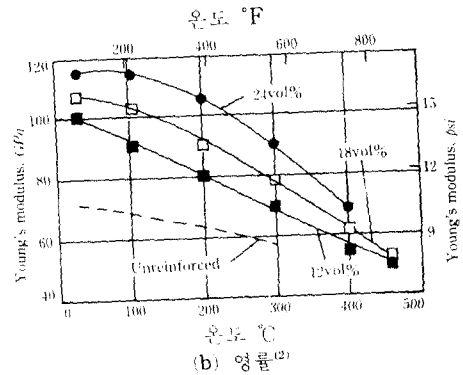
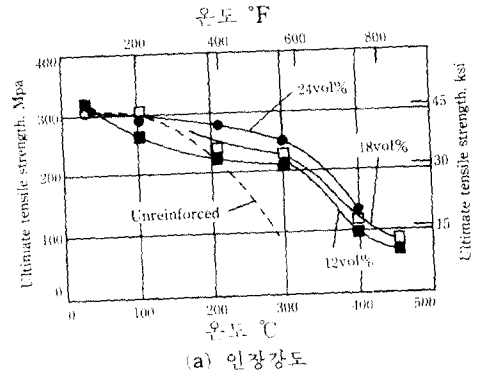


그림 4 금속복합재료의 인장특성

증가함에 따라 연성파괴의 양상은 심화되며, 보강재의 뽑힘(fiber pull-out), 디본딩(debonding) 등의 현상을 보이기도 한다. 연구된 바에 의하면 고온에서의 금속복합재료의 파괴는 주로 과시효에 의한 기지금속의 연화에 기인한다.^(34~38)

그림 5는 기지금속과 금속복합재료의 피로시험의 한 예를 보여주고 있다. 단 섬유로 보강된 금속복합재료의 피로특성은 기지금속보다 우수함을 알 수 있다. 금속복합재료의 피로특성은 보강재의 물성뿐만 아니라 기지금속의 조성에도 밀접한 관계가 있으므로 재료의 제조시 적절한 종류의 기지를 선택하는 것이 중요하다.

금속복합재료의 마멸특성에 대해서는 많은 연구가 수행되었다.^(39~46) 그 중에서 그림 6과 그림 7은 6061알루미늄과 SiC 휘스커 및 알루미늄

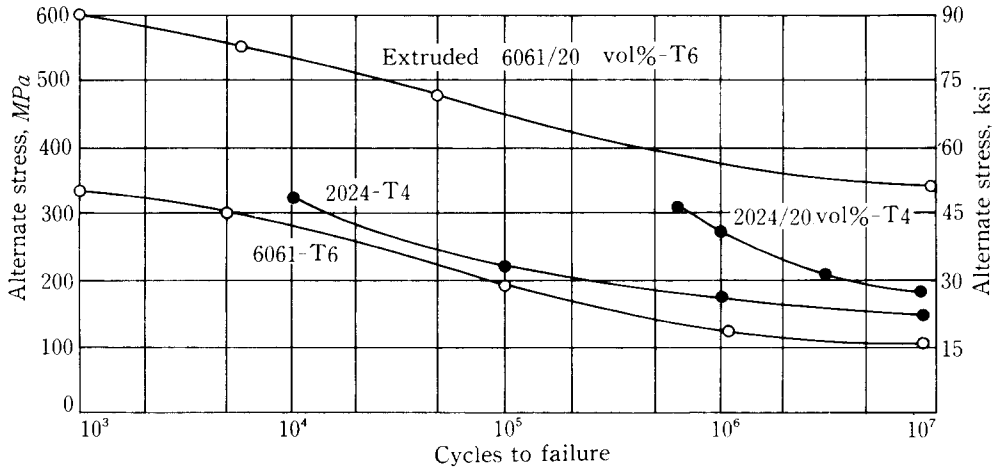


그림 5 금속복합재료의 피로특성⁽²⁾

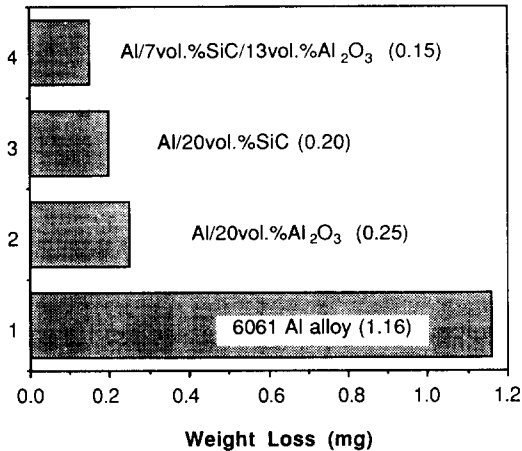


그림 6 금속복합재료의 마멸특성⁽⁴³⁾

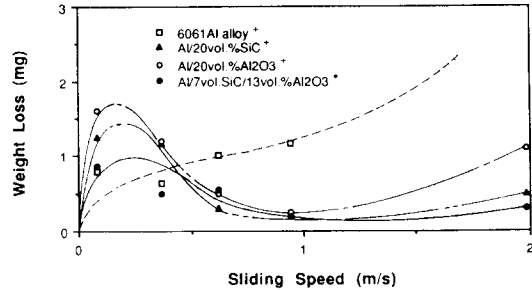


그림 7 마찰속도에 따른 마멸 특성⁽⁴³⁾

미나 단섬유에 의해 보강된 금속복합재료의 마멸특성을 보여주고 있다.^(34,43,44) 금속복합재료의 내마멸성은 기지금속에 비하여 탁월하며, SiC휘스커 보강 복합재료의 내마멸성이 알루미늄 단섬유를 포함하는 복합재료보다 우수하며,⁽³⁴⁾ 최근의 연구에 의하면 알루미늄 단섬유와 SiC휘스커를 동시에 포함하는 하이브리드 금속복합재료가 내마멸성 면에서 특히 우수하다고 보고되기도 하였다.⁽⁴²⁻⁴⁴⁾ 마멸면의 고찰을 통하여 마멸기구를 분석한 결과 금속복합재료는 보강재의 높은 경도와 내마멸성에 기인하

여 기지금속보다 연삭마모에 대하여 특히 저항성이 강하며, 일부 응착마멸이 발생하기도 한다.^(34,43,44)

4. 응용분야

금속복합재료의 개발 초기에는 높은 생산단가로 인하여 우주, 항공 및 군사적인 목적으로 그 용도가 제한되었다. 보론-알루미늄 복합재료튜브(직경: 25~67mm, 길이: 609~1850mm)를 우주왕복선의 연료탱크부분과 착륙기어부에 사용함으로써 원래의 알루미늄구조에 대하여 약 44%의 무게절감효과를 얻을 수 있었다. 또한 보론-알루미늄 복합재료는 높은 열전도성과 낮은 열팽창 성질을 이용하여 반도체의 열방출

기에 응용되기도 하였으며, 중성자의 차폐재로 이용되어 기존의 재료보다 무게와 부피가 작으면서도 성능이 뛰어난 구조재로 잠재적인 가능성을 인정받기도 했다. 탄화규소-알루미늄의 복합재료는 미사일의 동체 및 날개부와 동력전달축, 모터의 케이스, 고속 주행하는 운동체의 핀 등으로 개발되어 기존의 재료에 비하여 경량화 및 성능향상을 이루었다. 탄화규소-티타늄 복합재료는 터빈엔진의 팬과 디스크 구조재로 연구되었고, 탄화규소-브론즈 보합재료가 미해군에서 개발되기도 하였다.⁽³⁾

근년에는 자동차의 고성능화와 연비향상의 문제가 대두되면서, 엔진의 주요 구성요소인 밸브, 커넥팅로드, 피스톤과 실린더블록 등에 응용되어지고 있다. 각 요소에 따른 요구조건과 응용예를 살펴보면 다음과 같다. 흡기 및 배기밸브는 폭발가스에 의한 고온분위기 하에서 작동해야 하므로 고온에서의 강도 및 강성이 유지되어야 하고, 배기가스에 의한 부식에 견딜 수 있어야 하며, 높은 내마멸성과 피로강도 및 크립강도 등을 가지고 있어야 한다. 엔진밸브를 금속복합재료 등의 경량재료로 대체할 경우 약 0.5~4%의 연비를 향상시킬 수 있을 것으로 추정된다. 자동차엔진의 커넥팅로드에는 150~180°C의 고온에서 계속적인 회전운동에 의한 피로하중을 받는다. 현재 사용되고 있는 강재의 커넥팅로드는 10⁷ 사이클에서 240~310MPa의 피로강도를 가진다. 이러한 커넥팅로드를 금속복합재료로 대체함으로써 연비와 성능을 크게 향상시킬 수 있다. 피스톤은 엔진의 폭발력을 일차적으로 커넥팅로드에 전하는 부분으로 경량일수록 유리하다. 엔진작동시 피스톤의 상면부는 약 250~300°C의 온도에 달하고, 핀부분은 약 120~300°C가 되므로 고온에서의 물성이 중요하다. 이러한 요구조건에 부응하면서 경량화에 유리한 재료로 금속복합재료가 적합하다. 입자형태의 보강재를 사용하여 피스톤전체를 금속복합재료로 제조하거나, 휘스커나 단섬유로 형성된 예비성형체를 사용하여 중요부를 국소 보강한 피스톤이 개발되었

다. 금속복합재료를 사용한 피스톤은 기존의 피스톤에 비하여 피스톤링이 들어가는 부분의 강도를 높임으로써 피스톤링과 피스톤 상면부 사이의 공간을 줄일 수 있고, 따라서 불연소에 의해 생성되는 탄화수소의 양을 25~45%까지 감소시킬 수 있는 장점도 있다. 실린더블록은 엔진의 구성요소 중에서 가장 무거운 부분중의 하나인데 알루미늄 등의 경합금을 사용하여 15~35kg까지 그 무게를 줄일 수 있다. 그러나 피스톤이 작동하는 부분은 극심한 마모와 폭발압력을 견딜 수 있도록 하기 위하여 주철재의 실린더 라이너(cyclinder liner)를 사용하여 왔는데 금속복합재료를 사용함으로써 3~4.5kg정도의 무게절감을 가져올 수 있다. 입자보강 알루미늄복합재료와 알루미늄과 탄소로 보강된 하이브리드 금속복합재료로 실린더 라이너를 제조하는 기술이 개발중이다.⁽⁴⁷⁾ 금속복합재료를 엔진부품의 소재로 사용하는 연구는 1982년에 일본의 도요타자동차사가 알루미늄과 단섬유와 AC8A 알루미늄의 복합재료로 피스톤의 일부를 국소보강한 제품을 개발하였고,⁽⁴⁸⁾ 그 후 괄목할 만한 발전을 이루어 현재는 미국, 일본 등에서 피스톤, 커넥팅로드, 피스톤핀 등이 제품화되어 나오고 있다. 국내에서도 금속복합재료를 사용한 피스톤 및 커넥팅로드의 개발이 학교와 기업체 등에서 활발히 진행되고 있다.⁽⁴⁹⁾

최근에는 금속복합재료의 제조공정이 발달하고 생산단가가 낮아지면서 방직기, 식품기계 등의 생산기계 부분과 스키, 자전거, 골프스틱 등의 스포츠 레저용품은 물론 광학기기와 의료 기기에도 그 응용의 폭이 확대되어 가고 있다.

5. 맺음말

이 글에서는 현재까지 개발된 금속복합재료의 제조공법 중에서 비교적 보편화되어 있는 분말야금법, 가압용침법, 복합주조법 등에 대하여 소개하였고, 제조된 재료가 가지는 일반적인 기계적 성질에 대하여 설명하였다. 그리

고 금속복합재료의 대표적인 응용분야와 현재 국내에서도 큰 관심을 끌고 있는 자동차엔진의 부품소재로서 금속복합재료의 응용기술에 대해 소개하였다.

국내에서 금속복합재료의 관련 연구는 주로 학교와 연구소를 중심으로 발전되어 왔으나 근년에 자동차 산업의 비약적인 발전과 항공산업 분야에서 잠재적인 수요가 예측되면서 일부 기업체에서 응용 연구를 시작하였다. 그러나 금속복합재료의 기초 소재가 되는 경합금과 보강재의 제조기술은 선진국에 비해 크게 뒤져 있다. 현재까지 국내에서의 연구동향은 주로 금속복합재료의 제조공정개발과 물성 평가에 치중하여 왔다. 기계공업이 발전하면서 점점 더 고기능성 소재가 요구되어지는 현황을 감안할 때 금속복합재료의 실질적 응용분야의 개척과 함께 기초 소재의 개발 연구는 시급한 과제이다.

참 고 문 헌

- (1) 한경섭, 1990, "특수용도 복합재료," 복합재료의 성형 및 설계-복합재료강좌교재, 한국복합재료학회, pp.8~1-36.
- (2) Engineering Materials Handbook, 1987, Composites, ASM International, pp. 899~910.
- (3) Girot, F. A., Quenisset, J. M. and Naslain, R., 1987, "Discontinuously-Reinforced Aluminum Matrix Composites," Composites Science and Technology, Vol. 30, pp. 155~184.
- (4) Young, R. M. K. and Clyne, T. W., 1986, "A Powder-Based Approach Semisolid Processing of Metals for Fabrication of Die-Castings and Composites," J. of Mat. Sci., Vol.21, pp.1057~1069.
- (5) Mitomo, M., Tsutsumi, M., and Kishi, Y., 1988, "Preparation of a Composite Powder of the System SiC-AlN," J. of Mat. Sci. Letter, Vol.7, pp.1151~1153.
- (6) Chou, T. W., Kelly, A. and Okura, A., 1985, "Fiber-Reinforced Metal-Matrix Composites," Composites, Vol.16, No.3, pp.187~206.
- (7) Rack, H. J. and Mullins, J. W., 1985, "Tensile and Notch Tensile Behavior of SiCw Reinforced 2124 Aluminum," High Strength Powder Metallurgy Aluminum Alloys II, pp. 155~171.
- (8) James, P. J., 1983, Isostatic Pressing Technology, Applied Science Publishers, pp. 169~200.
- (9) Modi, O. P., Yegnes Waran, A. H., Asthana, R. and Rohatgi, P. K., 1988, "Thermomechanical Processing of Aluminum-Based Particulate Composites," J. of Mat. Sci., Vol. 23, pp. 83~92.
- (10) Clyne, T.W. and Mason, J.F., 1987, "The Squeeze Infiltration Process for Fabrication of Metal Matrix Composites," Metallurgical Transaction A, Vol.18A, pp.1519~1530.
- (11) Clyne, T.W. and Bader, M. G., 1985, "Analysis of a Squeeze-Infiltration Process for Fabrication of Metal Matrix Composites," in Proceeding of ICCM-V, San Diego, Ca., pp. 755~771.
- (12) Girot, F. A., Fedou, R., Quenisset, J. M. and Naslain, R., 1987, "On the Squeeze Casting Conditions of Aluminum Matrix Composite Materials," in Proceeding of the American Society for Composites, the Second Technical Conference, Dayton, OH, pp. 361~370.
- (13) Gallerneault, M. and Lloyed, D.J., 1989, "The Effect of Preform Reactivity upon the As-Cast Microstructure of Fiber Reinforced AlSi Alloys," Canadian Metallurgical Quarterly, Vol.28, No. 3, pp. 265~270.
- (14) 김진, 이산관, 홍순형, 이길근, 1989, "Squeeze Casting을 이용한 금속복합재료 제조공정 개발," 한국복합재료학회지, Vol.

- 2, No. 2, pp. 1~9.
- (15) Bengtsson, S., Li, C. H. and Warren, R., 1989, "Microstural Studies of δ -Alumina Fiber Reinforced Aluminum and Al Alloys," Proceeding ICCM-V II, Vol.3, pp. 607~612.
- (16) Das, A.A. and Chatterjee, S., 1981, "Squeeze Casting of an Aluminum Alloy Containing Small Amounts of Silicon Carbide Whiskers," The Metallurgist and Materials Technologist, pp. 137~142.
- (17) 홍순형, 이길근, 김진, 이상관, 1990, "Squeeze Casting에 제조된 $Al_2O_3/Al-Si$ 금속복합재료의 고온강도와 계면반응," 대한금속학회지, Vol.28, No. 7, pp.615~622.
- (18) Mehrabian, R., Riek, R. G. and Flemings, M. C., 1974, "Preparation and Casting of Metal-Particulate Non-Metal Composites," Metall. Tran. Vol.5, pp.1899~1895.
- (19) Surappa, M. K. and Robhatgi, P. K., 1978, "Production of Aluminum-Graphite Particle Composites Using Copper-Coated Graphite Particles," Metal Technology, pp. 358~361.
- (20) Surappa, M. K. and Rohatgi, P.K., 1980, "Melting, Degassing, and Casting Characteristics of Al-11.8Si Alloys Containing Dispersion of Copper-Coated Graphite Particles," Metal Technology, pp.378~383.
- (21) Deconath, Bhat, R. T. and Rohatgi, P.K., 1980, "Preparation of Cast Aluminum Alloy-Mica Particle Composites," J. of Mat. Sci. Vol.15, pp.1241~1251.
- (22) 주웅길, 한관희, 구양모, 1980, "복합구조법에 의한 Al_2O_3 및 SiC 입자를 함유한 알루미늄 합금 복합재의 제조와 기계적 성질에 관한 연구," 대한금속학회지, Vol.18, No.1, pp.11~16.
- (23) Ghosh, P. K. and Ray, S., 1986, "Effect of Porosity and Aluminum Content the Mechanical Properties of Compocast Aluminum Alloy-Alumina Particulate Composite," J. of Mat. Sci., Vol.21, pp.1667~1674.
- (24) Ghosh, P.K. and Ray, S., 1987, "Effect of Porosity and Alumina Content on the High Temperature Mechanical Properties of Compocast Aluminium Alloy-Alumina Particulate Composite," J. of Mat. Sci., Vol.22, pp.4077~4086.
- (25) Giroto, F. A., Albingre, L., Quenisset, J. M. and Naslain, R., 1987, "Rheocasting Al Matrix Composites," J. of Mat. Sci., Nov., pp. 18~21.
- (26) Giroto, F., Quenisset, J. M., Naslain, R., Coutand, B. and Macke, T., 1987, "Mechanical Behaviour of Aluminum Matrix Composites Reinforced by Short Fiber and Processed by Compscating," ICCM and ECCM, Vol.2, pp.330~339.
- (27) Ghosh, P. K., and Ray, S., 1988, "A Model Study on the Particle Dispersion and Fluid-Particle Interaction in Slurry of Liquid Alloy and Ceramic Particle," Tran. of the Jan. Inst of Metals, Vol.29, No.6, pp.502~508.
- (28) Ghosh, P. K. and Ray, S., 1988, "Particle Dispersion and Fluid Al-Mg Alloy and Al_2O_3 Particles," Tran. of the Jan. Inst. of Metals, Vol.29, pp.509~519.
- (29) Pillai, U.T.S. and Pandey, R.K., 1989, "Studies on Mechanical Behaviour of the Cast and the Forged Al-Graphite Particulate Composites," J. of Com. Mat., Vol.23, pp. 108~132.
- (30) 이세영, 1990, "Al/SiC Whisker복합재료의 Compocasting에 의한 제조 및 특성평가," 석사학위논문, 포항공과대학.
- (31) 김현우, 1990, "Compocasting 법에 의한 Al_2O_3/Al 복합재료의 제조 및 열간압출가공," 석사학위논문, 부산대학교.
- (32) 김영환, 이성학, 김낙준, 이두영, 1991, "주조 A356.0 Al-SiC 복합재료의 기계적 성

- 질과 파괴과정에 대한 공정 Si 입자의 영향,” 대한금속학회지, Vol.29, No.2, pp. 112~118.
- (33) Tsunekawa, Y., Okumiya, M., Niimi, I., Okumura, K., 1987, “Flame-Spraying Fabrication of Silicon Carbide Whisker-Reinforced Aluminum,” J. of Mat. Sci. Lrtter, Vol. 6, pp. 191~193.
- (34) Lim, T. W., 1990, “Fabrication and Mechanical Behaviour of Aluminum Matrix Composite Materials,” Ph.D. Dissertation, State Univ. of New York at Buffalo.
- (35) 김영한, 이창수, 임태원, 한경섭, 1990, “Al/SiC 금속복합재료의 고온물성 및 파괴 특성,” 춘계학술발표회 논문초록집, 한국복합재료학회, pp. 9~14.
- (36) Lim, T., Lee, C. S., Kim, Y.H. and Han, K.S., 1990, “Fracture Behaviors and Mechanical Properties of Metal Matrix Composites,” Proceeding of KSME/JSME International Conference, pp. 624~629.
- (37) Lee, C.S., Kim, Y. H., Lim, T. and Hna, K. S., 1991, “Dynamic Observation of Failure Processes in Al/SiC Composite Materials,” Scripta Metallurgica, Vol. 25, No. 3, pp. 613~618.
- (38) Lim, T., Kim, Y. H., Lee, C.S. and Han, K. S., 1991, “Mechanical Properties and Fracture Behaviours of Aluminum Matrix Composites,” Proceeding of ICCM/V III, pp. 21-C-1~14.
- (39) Hosking, F. M., Portillo, F. F. and Wunderlin, R., 1982, “Composites of Aluminum Alloys : Fabrication and Wear Behaviour,” J. of Mat. Sci., Vol. 17, pp. 477~498.
- (40) Bhansali, K. J. and Mehrabian, R., 1982, “Abrasive Wear of Aluminum-Matrix Composites,” J. of Metals, pp. 30~34.
- (41) Rana, F. and Stefanescu, D. M. 1989, “Friction Properties of Al-1.5 Pct Mg/SiC Particulate Metal Matrix Comosites,” Metall. Trans.A, Vol.20A, pp.1564~1566.
- (42) Long, T. T., Nishimura, T., Asaka, T., Ose, M. and Morita, M., 1988, “Mechanical Properties and Wear Resistance of 6061Alloy Reinforced with a Hybrid of Al_2O_3 Fibers and SiC Whiskers”, Trans. of the Jap. Inst. of Metals, Vol.29, No.11, pp.920~927.
- (43) Lim, T., Lee, C. S., Kim, Y. H. and Han, K. S., 1991, “Mechanical Properties at Elevated Temperatures and Wear Behavior of Aluminum Matrix Composite Materials”, Proceeding of ICCM/V III, pp. 20-E-1~14.
- (44) 김영한, 임태원, 한경섭, 1991, “Al/SiC/ Al_2O_3 복합재료의 고온물성 및 마멸특성,” 춘계학술발표회 논문초록집, 한국복합재료학회, pp.81~86.
- (45) 홍태민, 1991, “Al- Al_2O_3 복합재료의 마모거동,” 석사학위논문, 포항공과대학.
- (46) 이창수, 김영한, 임태원, 한경섭, 1990, “Al/SiC 금속복합재료의 마모특성,” 춘계학술발표회 논문초록집, 한국복합재료학회, pp. 3~8.
- (47) Allison, L. E., 1991, “Trends in the Use of Lightweight Metallic Materials for Automotive Engine Components,” 우주항공재료 심포지움 초록집, 우주항공재료센터, pp. 3~16.
- (48) Dinwoodie, J., Moore, E., Langman, C. A. J. and Symes, W. R., 1985, “The Properties and Applications of Short Staple Alumina Fibre Reinforced Aluminum Alloys,” in Proceedings of ICCM/V, pp. 671~685.
- (49) 한경섭, 황운봉, 송정일, 1991, “국내 복합재료의 생산 및 수입 현황과 특성평가,” 춘계학술발표회 논문초록집, 한국복합재료학회, pp. 3~6. 