

<論 文>

SiC 보강 Al6061 복합재료의 마멸 및 마찰특성에 관한 연구

권재도* · 안정주**

(1994년 12월 30일 접수)

Wear and Friction Characteristics of SiC Reinforced Aluminium 6061 Alloy Composites

Jae-Do Kwon and Jeong-Ju Ahn

Key Words : SiCw/Al Composite(SiC 휘스커 보강 Al 복합재료), SiCp/Al Composite(SiC 입자 보강 Al 복합재료), Al Matrix(Al 모재), Wear Test(마멸시험), Weight Loss(마멸량), Friction Coefficient(마찰계수), Worn Surface Observation(마멸면 관찰), Wear Mechanism(마멸기구)

Abstract

There are some cases which require to grasp the abrasion resistance property in the fields of the high-technology to be required the high specific strength and modulus. In this study, wear test with the various test temperature and velocity were performed in the SiCw/Al6061, SiCp/Al6061 composite and Al6061 matrix using the wear test machine of the ring-on-disc type. As the results, the friction and wear properties by various test temperature and velocity were examined. The worn surface has observed by scanning electron microscope in order to examine the wear mechanism.

1. 서 론

금속기지 복합재료(metal matrix composites: MMCs)는 뛰어난 재료 특성⁽¹⁾으로 인해 초음속항공기, 차세대자동차, 고속여객선 등과 같이 경량화와 고강도가 요구되는 첨단 기술분야에 사용될 재료로 관심을 모으고 있다. 따라서 현재 이들 금속기지 복합재료의 기계적 특성 파악^(2~5)을 위해 세계 각국에서 많은 연구들이 진행 중에 있다. 그러나 이들 재료에 대한 연구들은 대부분이 금속기지 복합재료의 인장강도 및 최적 제작 기술의 개발, 피로특성파악 등에 치중하고 있는 형편이다.

일반적으로 기계 구조물은 피로, 부식, 마멸 및 고온 강도 등과 같은 여러 요인들에 의해 그 수명이 좌우된다. 특히 이러한 인자들은 상호 복합적으로 작용하기 때문에 그 각각의 특성을 명확히 파악할 필요가 있다.

따라서 첨단기술에 이들 복합재료를 적용시키기 위해서는 이들 재료의 피로특성, 부식특성, 고온특성뿐 아니라, 마멸특성도 규명되어야 한다. 특히 보강재의 종류 및 보강재의 형상에 따라 마멸특성에 뚜렷한 차이를 나타내는 금속기지 복합재료에 대한 마멸특성의 평가는 상당히 중요하리라 생각된다.

금속기지 복합재료에 대한 마멸특성 평가에 관한 연구 결과들로는 Rana 등⁽⁶⁾의 Al-1.5pct Mg/SiCp 복합재료의 마찰특성에 관한 연구, Lee 등⁽⁷⁾의 분

*정회원, 영남대학교 기계공학과

**영남대학교 대학원 기계설계공학과

말야금법(P/M)으로 제작한 Al6061/SiCp 복합재료에 있어서 소결기공(sintered porosity)과 마멸율과의 관계를 규명한 연구, Saka 등⁽⁸⁾의 Gr/Al, stainless steel wire/Al 및 Al₂O₃/Al-li 등과 같은 섬유보강 금속기지 복합재료의 마멸특성 및 마찰특성을 평가한 연구들이 있다. 그 외에도 Fisher⁽⁹⁾의 상온 및 고온에서 고온용 재료의 마멸 특성을 비교 평가한 연구와 마멸 및 마찰특성에 영향을 주는 인자들에 대한 다수의 연구 결과^(10~14)들이 있다.

그러나, 금속기지 복합재료의 고온 마멸 및 마찰 특성 평가에 대한 연구 결과들과 입자보강 복합재료와 섬유보강 복합재료를 같은 타입의 시험기로 마멸시험을 수행해 비교 분석한 연구 결과들은 아직까지 보고된 바를 찾지 못하였다.

따라서 본 연구에서는 25% SiCw/Al6061 복합재료, 6% SiCp/Al6061 복합재료 및 Al6061 모재의 마멸 및 마찰특성을 평가하기 위해 ring-on-disc 타입의 시험기를 사용하여 온도와 미끄럼속도를 변화시켜 가면서 마멸시험을 수행하였다. 또한 이 시험결과들을 토대로 세 재료의 온도변화에 따른 마멸 및 마찰특성을 비교 분석하였으며, 아울러 마멸면의 현미경 관찰을 통해 세 재료의 마멸기구를 규명해 보았다.

2. 마멸시험

2.1 시험용 재료

마멸시험에는 미쯔비시에서 제작된 체적비(V_f) 25%인 SiCw/Al6061 복합재료, 체적비 6%인 SiCp/Al6061 복합재료 및 Al6061 모재를 사용하였다. SiC 휘스커 및 입자 보강 Al6061 복합재료는 먼저 SiC 보강재로 프리폼(preform)을 제작한 후 Al6061 용탕을 고온 고압의 분위기에서 프리폼에 주입하여 복합재료를 제조하는 고압용침법(high pressure infiltration method)으로 직경 200 mm인

빌렛을 1차로 제작하였다. 그 후 임의의 방향으로 향하고 있을 보강재에 방향성을 부여함과 동시에 보강재와 기지의 계면 접합력을 향상시키고, 재료 내부에 존재하고 있을 기공을 제거하기 위해서, 고온 분위기에서 압출을 통해 57 mm 각봉을 최종적으로 제작하였다. 사용되어진 SiC 휘스커의 길이는 10 μm에서 20 μm, 직경은 0.5 μm에서 1 μm이며, SiC 입자는 직경이 4 μm에서 8 μm인 것을 사용하였다.

이렇게 해서 만들어진 SiC 휘스커 및 입자 보강 Al6061 복합재료와 Al6061 모재에 대해 용체화 처리 후 인공 시효처리로 T6 열처리를 행하였다. 또한 이들 재료로 직경 7 mm, 표점거리 15 mm인 환봉 인장시험편을 제작해서 기계적 성질을 시험한 결과들을 Table 1에 나타내었다.

2.2 마멸시험편과 시험방법

마멸시험은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 마멸의 대상이 되는 물체(body), 상대 마멸재(counterbody), 이들 두 물체를 둘러싸고 있는 환경(surrounding medium), 두 물체의 접합면 사이에 개재되어 있는 물질(interfacial medium) 등과 같은 네개의 요소로 구성되어 있다. 본 시험은 ring-on-disc 타입의 시험기를 사용하였으며, 마멸시험편(body)으로는 SiCw/Al6061, SiCp/Al6061 복합재료 및 Al6061 모재 등 세 종류의 재료를 30×30×3(mm)로 가공하여 사용하였으며, 상대 마멸재로는 상기 세 재료에 대해 공히 SUS304를 내경 20 mm, 외경 25.6 mm인 링으로 가공하여 사용하였다. 중간 개재물은 사용하지 않았으며, 주위 환경은 대기상태로 하였다. 마멸시험편과 상대 마멸재의 양호한 접촉을 유지시키기 위해 #600부터 #1500까지의 사포로 접촉면을 연마한 후, 세 재료 및 상대 마멸재의 표면 거칠기를 접촉식 조도측정기(Kosaka사 surfcorder SE-3FS)로 기준길이 3 mm에 대하여 측정하였다.

Table 1 The mechanical properties of the longitudinal direction in the SiCw/Al6061, SiCp/Al6061 composites and Al6061 matrix

Materials	Proof strength(MPa)	Tensile strength(MPa)	Elongation(%)
Al6061 matrix	280	316	9.6
SiCw/Al6061	400	603	2.2
SiCp/Al6061	287	331	10.5

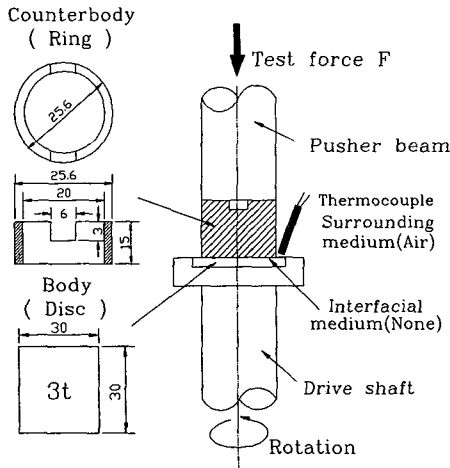


Fig. 1 Elements of wear and friction test

그 결과, Al6061 모재, SiCw/Al6061 복합재료, SiCp/Al6061 복합재료 및 상대 마멸재인 SUS304의 최대 거칠기 R_{max} 는 각각 $0.6 \mu\text{m}$, $0.9 \mu\text{m}$, $1.8 \mu\text{m}$ 및 $0.25 \mu\text{m}$ 이었다.

마멸시험에는 Orientec사의 Friction and Wear Tester Machine(model EFM-III-F)을 사용하였다. 동 시험기는 컴퓨터로 제어되며, 각종 시험결과들을 5초 간격으로 자동 측정하여 PC에 저장시켰다.

마멸시험시 분위기 온도와 마찰면 온도 사이에는 다소간 차이가 예상되나 본 연구에서는 분위기 온도가 마찰계수 및 마멸량에 미치는 영향에 주안점을 두었으므로 고온 마멸시험에서는 정도가 0.1°C 인 백금(Pt) 열전대를 마멸시험편과 상대 마멸재의 접촉 부위로부터 5 mm 정도 떨어진 위치에 설치하여 PID 방식(proportion, integration & difference control type)으로 노내의 온도를 측정제어하였다.

본 시험에서는 동일조건하에서 2회의 마멸시험을 수행해서 얻어진 마멸량의 평균값을 사용하였으며, 마멸량은 시험전 측정된 시험편의 무게에서 시험 후 측정된 값을 뺀 차이로 정의하였다. 또한 시험편 표면에 붙어 있는 마멸파편(wear debris)을 제거하기 위해 약 2분 정도 초음파 세척기(metason 60)로 세척한 후, 10^{-5} g까지 측정가능한 전자 저울(notorius)을 사용하여 마멸량을 측정하였다. 그리고 Table 2에 나타난 바와 같은 조건으로 마멸시험을 수행하였다.

이상과 같이 마멸시험을 수행하여, 25% SiCw/Al6061 복합재료, 6% SiCp/Al6061 복합재료 및

Table 2 Test conditions

Normal load, (N)	39.23(=4 kgf)
	50(=0.12 m/s)
	100(=0.24 m/s)
Sliding speed, (rpm)	200(=0.48 m/s)
Sliding time, (min)	5
Test temperature, ($^\circ\text{C}$)	25, 100, 200, 300
Temperature(ambient), ($^\circ\text{C}$)	25
Relative humidity, (%)	20~30
Environment	Laboratory air

Al6061 모재 사이의 마멸특성에는 어떤 차이가 있는가, 즉 세 재료의 마멸량과 마찰계수에 미치는 온도 및 미끄럼속도의 영향을 규명하였으며, 아울러 이들 세 재료의 주된 마멸기구를 규명해 보았다.

3. 마멸면의 관찰

가압하중을 4 kgf로 일정하게 한 후, 온도를 25°C , 100°C , 200°C 및 300°C 로, 미끄럼속도를 50 rpm(=0.12 m/s), 100 rpm(=0.24 m/s) 및 200 rpm(=0.48 m/s)으로 변화시켜가며 마멸시험을 수행한 후, SiCw/Al6061 복합재료의 마멸면을 전자현미경으로 관찰한 사진들은 Fig. 2에 SiCp/Al6061 복합재료의 마멸면을 전자현미경으로 관찰한 사진들은 Fig. 3에 그리고 Al6061 모재의 마멸면을 전자현미경으로 관찰한 사진들은 Fig. 4에 각각 나타내었다.

SiCw/Al6061 복합재료의 마멸면을 관찰한 결과, Fig. 2의 (a)에서와 같이 마멸로 인해 생긴 홈(groove) 또는 골(ploughing)에 마멸파편들이 누적된 것을 다수 발견할 수 있었다. 특히 온도가 높아질수록, 미끄럼속도가 빨라질수록 마멸파편들이 누적되어 있는 곳의 발견이 용이하였으며, 또한 누적되어 있는 마멸파편들의 입자크기는 온도가 높아질수록, 미끄럼속도가 빨라질수록 작아짐을 알 수 있었다.

Fig. 2의 (b)는 SiCw/Al6061 복합재료 마멸면의 단면을 차분화상(differential image)으로 관찰한 전

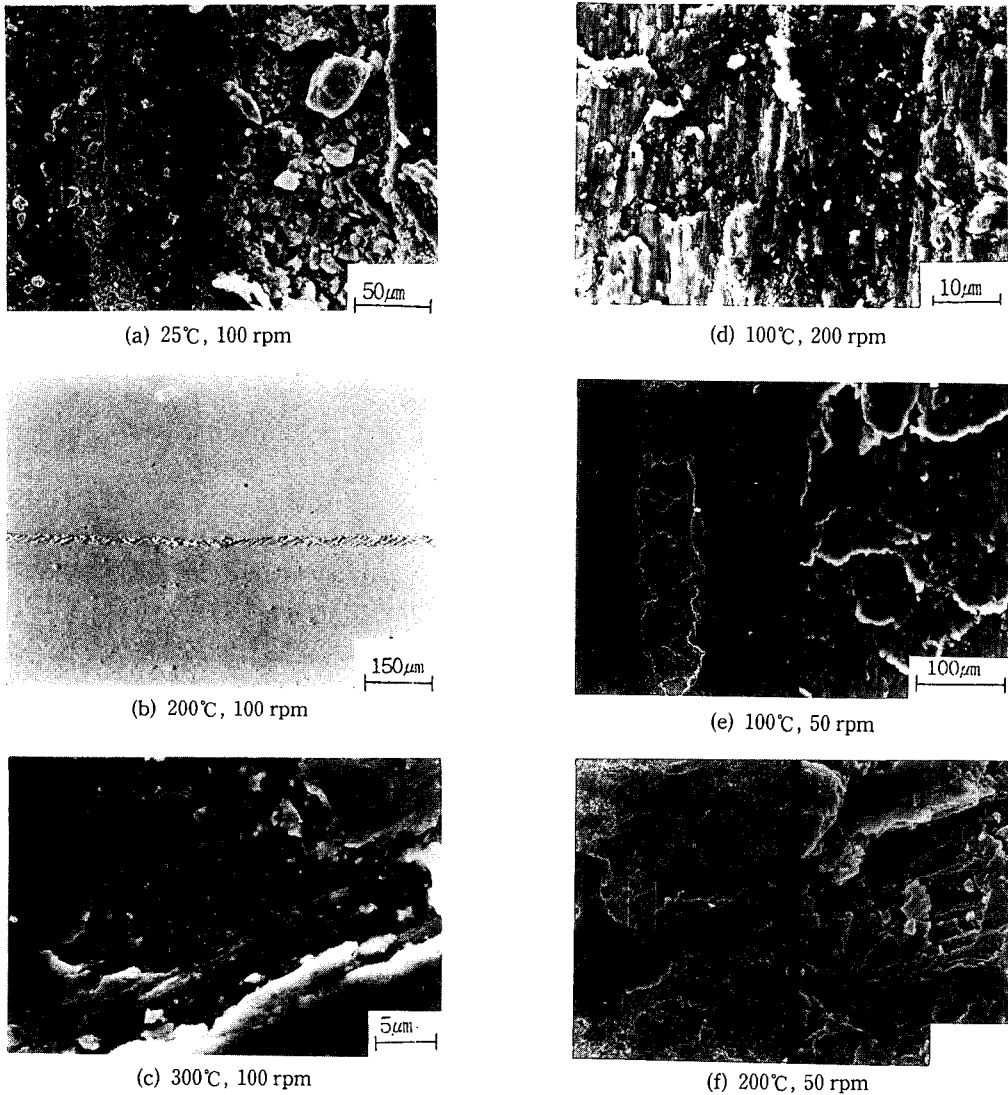


Fig. 2 SEM observation of worn surface in the SiCw/Al6061 composite, test weight 4 kgf

자현미경 사진으로, 다른 두 재료와는 달리 마멸면에 얇은 막의 형성이 두드러졌다. 이와 같은 현상은 온도가 높아질수록, 미끄럼속도가 빨라질수록 뚜렷하게 나타났으며 넓게 형성되어 있었다. 이와 같은 막이 마멸에 의해 형성된 것인지를 알아보기 위해, 막이 형성된 곳과 막이 형성되어 있지 않은 곳 그리고 마멸과편들이 누적된 곳을 EDX(energy dispersive X-ray system)로 성분분석을 수행하였다. 그 결과를 Table 3에 나타내었다. 동 프로부터 막이 형성된 곳에서는 Al과 Fe의 함량은 많이 증가한 반면 Mg와 Si의 함량은 막이 형성되어 있

지 않은 곳보다 감소하였다. 한편 마멸과편들이 누적된 곳의 성분분석 결과를 시험편 표면과 비교해 볼 때, 성분변화가 크지 않았다.

따라서 EDX 분석 결과를 종합해 볼때, 마멸시험편과 상대 마멸재(SUS304)간의 상호 마멸로 인해, 마멸시험편으로 이동한 상대 마멸재의 마멸과편들과 마멸시험편에서 쉽게 형성된 기지재의 마멸과편들이 마멸면의 높은 온도로 인해 막을 형성하였기 때문에 막에 Al과 Fe의 함량이 높은 것으로 사료되어진다.

또한 Fig. 2의 (c)와 같이 시험온도 300°C, 100

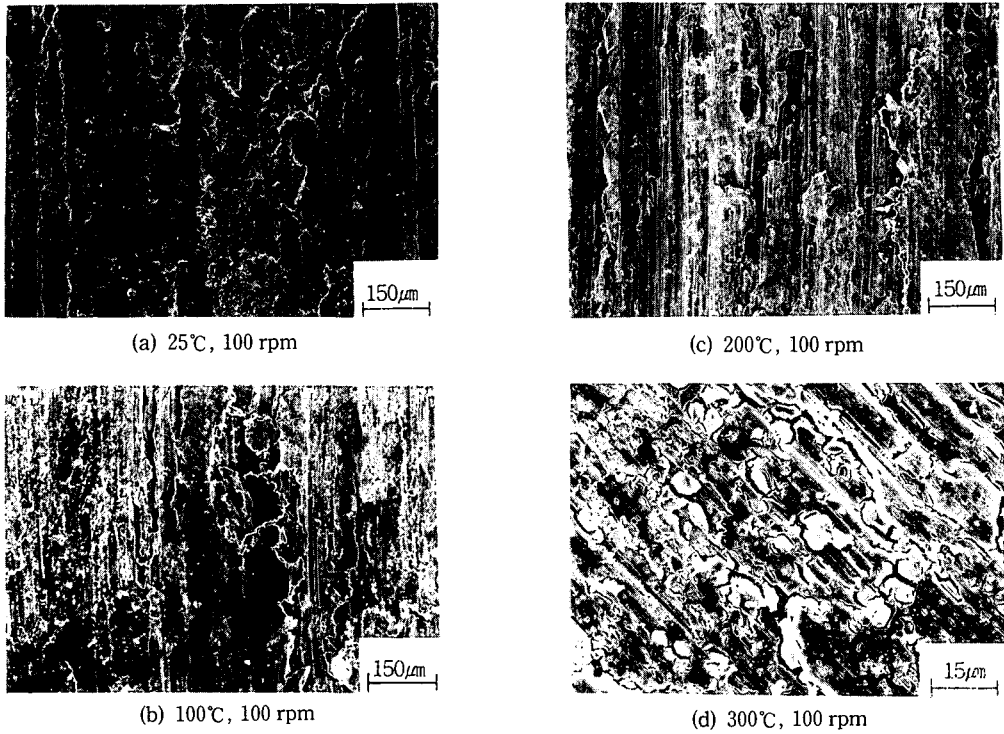


Fig. 3 Microscope & SEM observation of worn surface in the SiCp/Al6061 composite, test weight 4 kgf

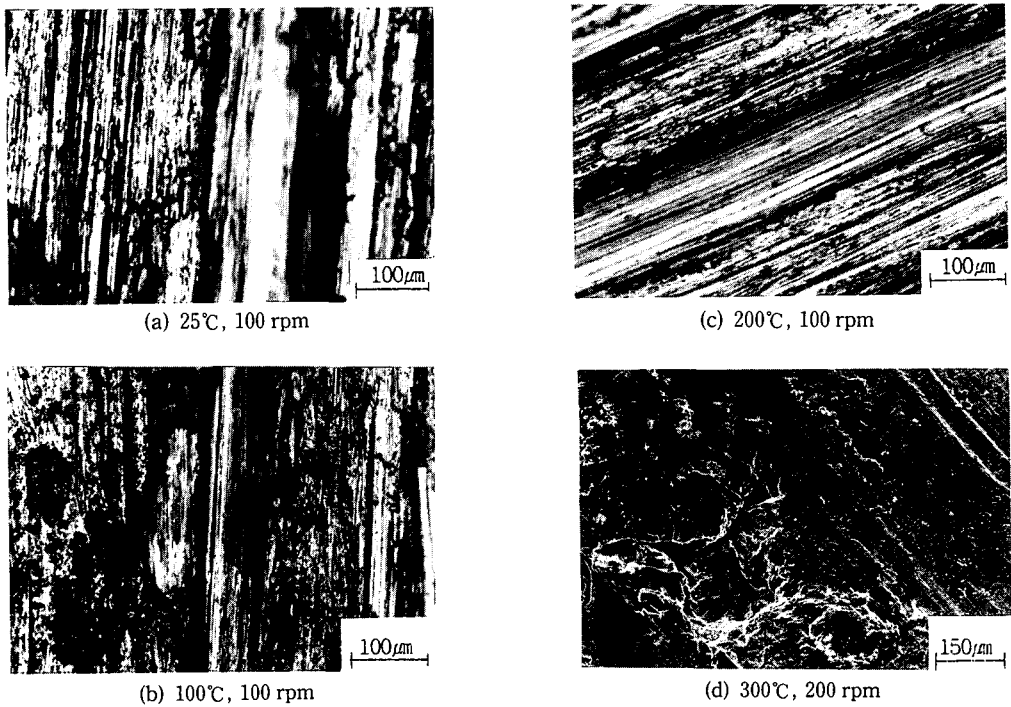


Fig. 4 Microscope & SEM observation of worn surface in the Al6061 matrix test weight 4 kgf

Table 3 Elements analysis of worn surface by EDX in the SiCw/Al6061composite(weight 4 kgf, temperature 300°C, sliding speed 100 rpm(=0.24 m/s))

		(wt, %)			
Position	Content	Mg	Al	Si	Fe
	Layer		2.59	62.16	31.97
Non-layer		2.98	55.5	40.34	1.19
Accumulated debris		2.41	58.12	38	1.39

rpm(=0.24 m/s)인 경우 응착마멸(adhesive wear)에 의해 뜯겨져 나간 듯한 마멸면을 관찰할 수 있었다. 일반적으로 상온에서는 1 m/s 이상의 속도일 때 생기는 것으로 알려진 응착마멸⁽¹⁵⁾이 300°C인 경우, 느린 속도(0.24 m/s)에서도 발생될 수 있음을 확인할 수 있었다.

아울러 Fig. 2의 (d), (e) 및 (f)처럼 계단과 같이 다단으로 마멸이 진행되거나, 또는 휘스커들이 상대 마멸재에 의해 밀려서 뽑혀 나가는(pull-out) 경우도 관찰되어 마멸양상이 휘스커의 분포밀도에 상당한 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 3에 나타낸 SiCp/Al6061 복합재료의 마멸면 관찰에서도 마멸로 인해 생긴 막을 관찰할 수 있었으며, 온도가 증가함에 따라 막의 형성도 증가하였다. 그러나 SiCw/Al6061 복합재료에서처럼 넓은 영역에 걸쳐서 형성되지는 않았다. Fig. 3의 (a)처럼 25°C인 경우 입자에 의한 마멸이 심하게 진행되어 마멸면은 매우 거칠었다. 그러나 (b) 및 (c)에서와 같이 온도가 증가할수록, 시험편의 연화 정도도 커져 시험편을 이탈한 입자들에 의한 마멸흔적, 즉 넓고 얇은 반원의 홈을 마멸면에서 쉽게 관찰할 수 있었다. 그러나 SiCw/Al6061 복합재료에서와는 달리 Fig. 3의 (d)와 같이 마멸에 의해 형성된 막의 여러 곳에 균열들이 형성되어 있었다. 이는 아마도 상대 마멸재(SUS304) 표면에 붙어 있는 입자(particle)들과 또는 마멸시험편 표면에 노출된 입자들과의 반복적인 구름 접촉때문인 것으로 사료된다. 한편 마멸시험편 표면에서 입자들이 덩어리를 이루고 있는 곳에서는, 이들 덩어리들의 직경은 약 60 μm 이상이었으며 표면에는 입자마멸(abrasive wear)에 의해 생긴 흔적을 발견할 수 없었다. 따라서, 입자 보강 복합재료인 경우 입자의 직경과 내마멸성과는 상당한 관련이 있는 것으로 생각된

다.

Al6061 모재의 마멸면을 관찰한 결과, Fig. 4에 나타낸 바와 같이 200°C까지는 온도증가와 더불어 마멸면이 완만해짐을 관찰할 수 있었다. 300°C인 경우에는 기지재의 연화로 인한 활발한 마멸과편의 이동으로 인해, 상대 마멸재에 소착된 마멸과편들이 기지재 표면에 굽은 홈(groove)을 형성시켰다. 또한 위치에 따라서는 국부적으로 발생한 높은 마멸면 온도로 인해 Fig. 4의 (d)와 같이 마멸면이 뜯겨져 나간 흔적도 발견할 수 있었다.

마멸면에 대한 현미경 관찰결과를 종합하여 보면 SiCw/Al6061 복합재료인 경우, 상온에서는 높은 마찰저항이 휘스커와 휘스커 사이에 있는 모재의 마멸을 촉진시키며 이로 인한 휘스커와 기지 사이의 결합력 약화로 길이가 짧은 휘스커들의 이탈이 용이하게 된다. 따라서 이와 같이 이탈한 휘스커들로 인해 더욱 심한 마멸이 일어나며, 휘스커가 뽑혀 나간 자리 또는 휘스커와 휘스커 사이 끝에는 마멸과편들이 축적되어지는 것으로 생각된다. 한편 온도가 증가하여도 마멸기구는 입자마멸(abrasive wear)인 상온과 비교하여 큰 차이는 없으나, 시험편 표면에 막의 형성이 활발하였다. 또한 300°C에서는 마멸면이 뜯겨져 나가는 응착마멸현상이 나타나기 시작하였다.

SiCp/Al6061 복합재료인 경우, 덩어리 상태(cluster)의 입자들과 개개의 입자들이 혼재된 상태에서 마멸이 진행되므로, 덩어리상태의 입자들보다는 마멸 저항성이 적은, 개개의 입자들이 쉽게 이탈해 이들이 중간 개재물의 역할을 하는 것으로 생각된다. 따라서 두 재료의 마멸은 표면의 요철(asperity)에 의한 것이라기 보다는 이탈해 나간 입자들이 상대 마멸재와 마멸시험편 사이에서 같이 마멸되면서, 경도가 약한 기지의 마멸을 촉진시키는 것

으로 사료된다. 아울러 이탈해 나간 입자에 의해 형성된 것으로 보이는 크고 작은 반원형상의 흠을 시험편 표면에서 관찰할 수 있었다. 한편 이와 같은 현상은 온도증가와 더불어 많이 나타났다.

또한 마멸시험편 표면에 형성된 막들은 이들 입자들과의 반복되는 구름접촉(rolling contact)에 의해 여러 곳에서 균열이 발생·성장하여 막이 떨어져 나가는 것으로 사료되어진다. 이와 같은 원인 때문에 SiCp/Al6061 복합재료의 마멸면 현미경 관찰에서는 SiCw/Al6061 복합재료보다 막의 형성이 적은 것으로 보여지는 것 같다. 그러나, 입자들이 덩어리(cluster) 상태로 존재하는 표면에서는 상대 마멸재와 마멸시험편 간의 불충분한 접촉으로 인해 평탄한 마멸면을 지니고 있었다.

4. 마멸 및 마찰특성

SiCw/Al6061, SiCp/Al6061 복합재료 및 Al6061 모재에 대해 가압하중 4 kgf, 미끄럼속도가 50 rpm (=0.12 m/s)일 때, 25°C, 100°C, 200°C 및 300°C로 온도를 변화시켜 가면서 마멸시험을 수행해서 얻은 온도와 마찰계수 사이의 관계를 Fig. 5에 나타내었다.

Fig. 5의 미끄럼속도가 50 rpm (=0.12 m/s)인 경우, 세 재료에 대해 전 온도 구간에서 마찰계수들을 비교한 결과, SiCw/Al6061 복합재료가 가장 크며, 그 다음으로 SiCp/Al6061 복합재료, Al6061 모재 순이었다. 이는 SiC 보강 Al6061 복합재료인 경우, 보강재로 인해 상대 마멸재와 마멸 시험편 간에 큰 마찰저항이 야기되기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 SiCp/Al6061 복합재료인 경우, 마찰계수의 변화상태가 Al6061 모재와 매우 유사한 경향을 보였다.

세 재료에 대해 동일한 시험조건에서 미끄럼속도만을 100 rpm (=0.24 m/s)으로 변화시킨 후 마멸시험을 수행해서 얻은 온도와 마찰계수 사이의 관계를 Fig. 6에 나타내었다.

동 그림에서 미끄럼속도가 100 rpm (=0.24 m/s)인 경우, SiCw/Al6061 복합재료 및 SiCp/Al6061 복합재료의 고온 및 상온에서의 마찰계수 차이는 Fig. 5의 미끄럼속도가 50 rpm (0.12 m/s)일 때보다 적어 미끄럼속도가 2배 증가하였음에도 불구하고 온도증가에 대해 비교적 좋은 마찰특성을 나타내었다.

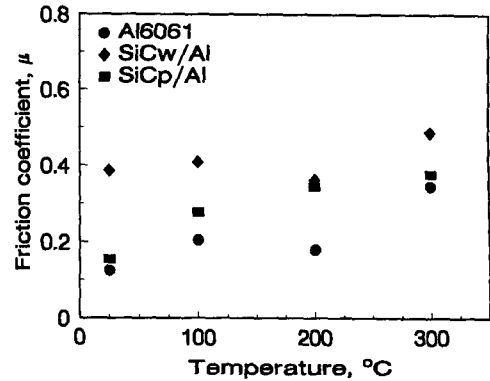


Fig. 5 Relationship between friction coefficient and temperature in the Al6061 matrix, SiCw/Al & SiCp/Al composites(weight 4 kgf, time 5 min, velocity 50 rpm(=0.12 m/s))

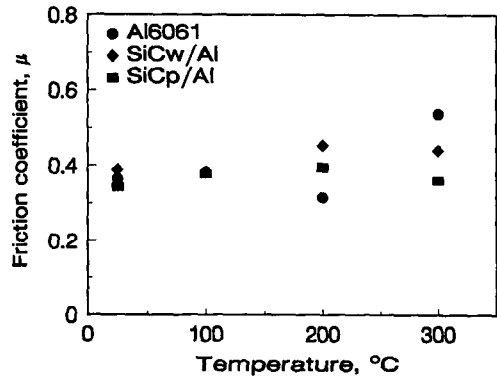


Fig. 6 Relationship between friction coefficient and temperature in the Al6061 matrix, SiCw/Al & SiCp/Al composites(weight 4 kgf, time 5 min, velocity 100 rpm(=0.24 m/s))

한편 복합재료의 경우, 저자들이 기 발표한 SiC 보강 Al 복합재료의 피로균열진전 특성에 관한 연구^(3,4)의 조직사진에 나타낸 바와 같이 보강재가 밀집되어 있는 부분과 그렇지 않은 부분을 확인할 수 있었다. 이와 같은 부분들 사이에는 다소간 재료 특성이 다를 것임으로 100 rpm (=0.24 m/s)에서의 온도에 따른 마찰계수의 변화상태가 50 rpm (=0.12 m/s)일 때보다 적은 것도 앞에서 언급한 보강재의 분포상태 때문으로 사료된다. 한편 Al6061 모재의 경우, 200°C까지 마찰계수가 감소하는 경향을 보이는데 이는 미끄럼속도의 증가와 주위 온도의 상승으로 인한 마멸면의 높은 마찰열로 인해, 마멸시험편과 상대 마멸재 사이에 상호 미끄럼이 발생하기 때문인 것으로 생각된다.

SiCw/Al6061, SiCp/Al6061 복합재료 및 Al6061 모재에 대해 가압하중 4 kgf, 미끄럼속도가 200 rpm(=0.48 m/s)일 때, 25°C, 100°C, 200°C 및 300°C로 온도를 변화시켜 가면서 마멸시험을 수행해서 얻은, 온도와 마찰계수 사이의 관계를 Fig. 7에 나타내었다. 동 그림에서 200rpm(=0.48m/s), 100°C에서 SiCw/Al6061 복합재료의 마찰계수가 상온에서의 마찰계수보다 크게 증가한 것은, 길이가 비교적 짧은 휘스커들이 빠른 미끄럼 속도와 주위 온도의 상승으로 인해, 연화된 시험편 밖으로 상당량이 이탈되면서, 상대 마멸재에 의한 입자마멸(abrasive wear)이 아니라, 돌출된 휘스커들에 의한 마멸이 진행되었기 때문으로 생각되어진다.

그러나 200°C의 온도 구간에서는, 이처럼 휘스커들에 의해 형성된 골과 홈에 마멸 파편들의 누적이 증가되며, 또한 시험편 표면에 형성된 얇은 막이 이탈된 휘스커들과 시험편 간에 완충작용을 하여 주기 때문에, 100°C와 비교해서 마찰계수의 증가폭이 뚜렷하지 않은 것으로 사료된다. 한편 300°C의 온도 구간에서는, 응착마멸로 인해 상당량의 마멸 파편들이 뜯겨져 나갔기 때문에, 마찰계수가 증가한 것으로 보여진다.

한편 SiCp/Al6061 복합재료인 경우, 100°C 이상에서는 Fig. 7에 나타낸 바와 같이 온도의 증가와 더불어 마찰계수가 큰 폭으로 증가하였다.

Fig. 8은 Al6061 모재에 대해 미끄럼속도를 50 rpm(=0.12 m/s), 100 rpm(=0.24 m/s), 200 rpm(=0.48 m/s)으로 일정하게 한 후 온도를 변화시켜가며 마멸시험을 수행해서 얻은 마멸량과 온도사

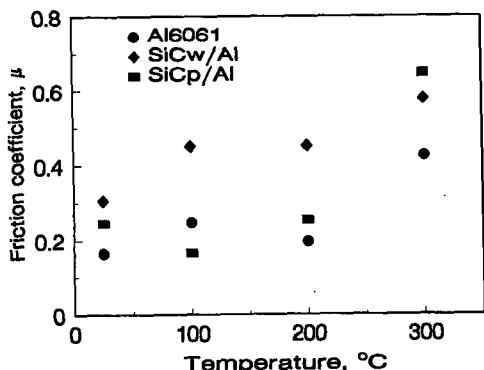


Fig. 7 Relationship between friction coefficient and temperature in the Al6061 matrix, SiCw/Al & SiCp/Al composites(weight 4 kgf, time 5 min, velocity 200 rpm(=0.48 m/s))

이의 관계를 히스토그램으로 나타낸 것이며, Fig. 9에는 SiCw/Al6061 복합재료에 대해 동일한 시험 조건에서 측정된 마멸량과 온도사이의 관계를, Fig. 10에는 SiCp/Al6061 복합재료에 대해 동일한 조건에서 측정된 마멸량과 온도사이의 관계를 각각 히스토그램으로 나타내었다. 아울러 동 그림의 상부에는 상온 마멸량(W_R)과 고온 마멸량(W_H) 사이의 차이와 온도 사이의 관계를 실선, 점선, 일점쇄선으로 함께 나타내었다.

Figs. 8, 9 및 10에서 50 rpm(=0.12 m/s)인 경우

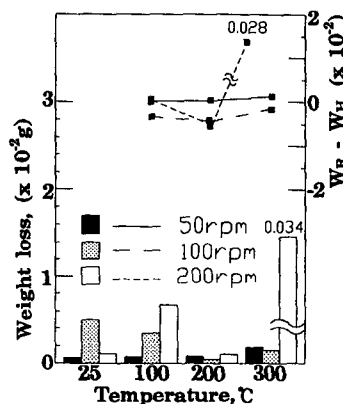


Fig. 8 Weight loss(WL) and difference of WL between room temp. and high temp. with the various temp. in the Al6061 matrix(50 rpm(=0.12 m/s), 100 rpm(=0.24 m/s), 200 rpm(=0.48 m/s))

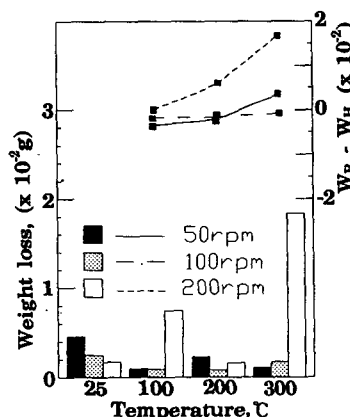


Fig. 9 Weight loss(WL) and difference of WL between room temp. and high temp. with the various temp. in the SiCw/Al6061 composite(50 rpm(=0.12 m/s), 100 rpm(=0.24 m/s), 200 rpm(=0.48 m/s))

Fig. 8의 Al6061 모재는 온도가 변화하여도 마멸량의 변화가 SiC 휘스커 및 입자 보강 Al 복합재료 보다 크지 않음을 알 수 있었다. 한편 100 rpm(= 0.24 m/s)에서는 Fig. 9 및 10의 SiCw/Al6061 복합재료 및 SiCp/Al6061 복합재료의 온도에 따른 마멸량의 변화가 거의 일정해 온도 변화에 민감하지 않음을 알 수 있었다.

그러나 200 rpm(=0.48 m/s), 300°C에서는 세 재료 모두 마멸량이 급격하게 증가하였는데 이는 300°C 이하의 온도 영역에서는 대부분의 마멸이 입자 마멸에 의해서 진행되지만 300°C 이상에서는 응착 마멸에 의해 마멸이 진행되기 때문에, 즉 마멸 기구의 변화때문에 세 재료 모두 200 rpm(=0.48

m/s), 300°C에서 마멸량이 급격히 증가하는 것으로 사료된다. 또한 200 rpm(=0.48 m/s), 300°C에서의 마멸량의 차이를 비교한 결과, SiCw/Al6061 복합재료, SiCp/Al6061 복합재료 그리고 Al6061 모재순으로 마멸량의 차이가 커짐을 알 수 있었다.

따라서 이상의 내용으로 볼 때, 미끄럼속도가 50 rpm(=0.12 m/s)인 경우는 Al 모재가 온도변화에 둔감하였으나 미끄럼속도가 빨라질수록 SiC 휘스커 및 입자 보강 Al6061 복합재료가 온도변화에 둔감해져 고속, 고온의 마멸 환경에서는 이들 복합재료가 좋은 마멸특성을 나타낼 것으로 사료되어진다.

Fig. 11은 마찰계수가 시험시간에 따라 변화하는 상태를 관찰한 일례로서, 온도가 200°C, 미끄럼속도가 100 rpm(=0.24 m/s)일 때 SiCw/Al6061, SiCp/Al6061 복합재료 및 Al6061 모재의 마멸시험 시간 5분 동안에 측정된 마찰계수를 시간에 따라 나타낸 것이다. 동 그림에서 Al6061 모재인 경우, 시험시간이 증가할수록 마찰계수가 계속 감소하는 것은, 마멸시간의 증가로 인해 상대 마멸재와 마멸 시험편 간에 유동층이 형성되기 때문인 것으로 생각된다. 한편 SiCw/Al6061 복합재료 SiCp/Al6061 복합재료인 경우, 모재와 같이 마찰계수가 감소하는 경향은 나타나지 않았다.

SiCw/Al6061 복합재료인 경우, 시험시작 때의 마찰계수가 계속해서 유지되는 경향을 보였다. 한편 SiCp/Al6061 복합재료인 경우, 시험직후 감소하다가 50초가 경과한 후부터는 큰 변화는 없었다. 그러나 마멸이 진행되면서 나타난 덩어리진 입자 또는 입자들이 밀집되어져 있는 곳에서는 마찰 계수의 변화가 발생함을 알 수 있었다.

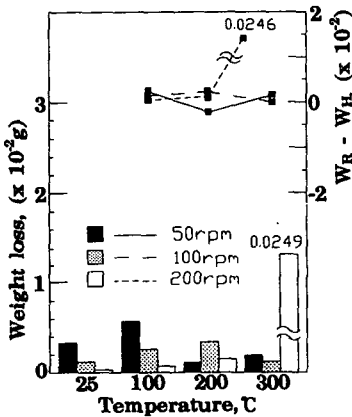


Fig. 10 Weight loss(WL) and difference of WL between room temp. and high temp. with the various temp. in the SiCp/Al6061 composite(50 rpm(= 0.12 m/s), 100 rpm(= 0.24 m/s), 200 rpm(=0.48 m/s))

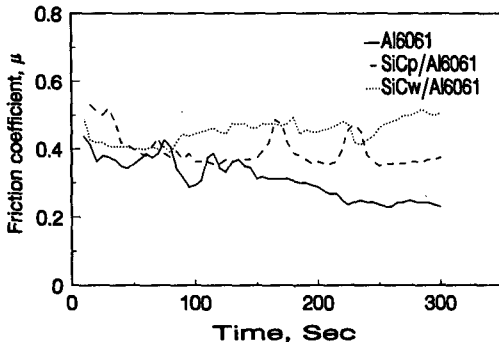


Fig. 11 Friction coefficient vs. wear test time in the Al6061 matrix, SiCp/Al6061 and SiCw/Al6061 composites(weight 4 kgf, temp. 20°C, velocity 100 rpm(=0.24 m/s))

6. 결 론

SiCw/Al6061 복합재료, SiCp/Al6061 복합재료 및 Al6061 모재를 사용하여 시험온도와 미끄럼속도를 변화시켜 가면서 마멸시험을 수행하고, 마멸면의 현미경 관찰을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) SiCw/Al6061 복합재료의 마찰계수는 미끄럼속도 및 온도변화에 따라 큰 영향을 받지 않고 안정된 값을 갖으며 다른 두 재료보다 큰 약 0.4 정도였다. 그러나 Al6061 모재의 마찰계수는 시험을 실시한 전 조건에서 다른 두 재료보다 적은 값

을 나타내었다. 그러나 SiCp/Al6061 복합재료의 마찰계수는 두 재료의 중간값을 나타내었으며 시험 조건에 따라 마찰계수의 변화가 심한 특징이 있었다. 한편 세 재료 모두 마찰계수 값의 변동은 100 rpm(=0.24 m/s)일 때가 가장 적었다.

(2) 세 재료의 상온 마멸량에 대한 고온 마멸량의 차이를 비교한 결과, 50 rpm(=0.12 m/s)에서는 Al6061 모재의 마멸량의 차이가, 100 rpm(=0.24 m/s)에서는 SiCw/Al6061 및 SiCp/Al6061 복합재료의 마멸량의 차이가 온도변화에 대해 적었다. 한편 200 rpm(=0.48 m/s), 300°C에서는 세 재료 모두 마멸량이 급격하게 증가하였으나 마멸량의 차이는 SiCw/Al6061 복합재료, SiCp/Al6061 복합재료 그리고 Al 모재의 순으로 증가함을 알 수 있었다. 따라서 고온 및 고속의 마멸환경에서는 SiC 보강 Al 복합재료가 Al 모재보다 내마멸성이 좋을 수 있었다.

(3) 마멸면을 현미경으로 관찰한 결과, SiCw/Al6061 복합재료에서는 마멸로 인해 표면에 형성된 막이 많이 관찰되었으며 온도가 증가될수록 막의 형성도 증가하였으며 두터워졌다. 또한 상당량의 마멸파편들이 마멸시험편에 형성된 홈에 누적되어 있었다. 한편 SiCp/Al6061 복합재료의 경우, 마멸에 의해 형성된 막도, SiCw/Al6061 복합재료보다 좁고 산발적으로 형성되었으며, 이들도 입자들과의 반복되는 구름 접촉으로 인해 모두 균열이나 있었다. 또한 입자들이 덩어리상태로 존재할 경우, 마멸의 흔적과 마멸에 의한 막의 형성이 거의 없어, 입자의 경우 입자직경이 마멸에 큰 영향을 주는 것으로 여겨진다.

후 기

이 논문은 1993학년도 영남대학교 학술연구 조성비에 의한 것이며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 일본기계학회편, 1990, "선단복합재료," 기보당, pp. 97~115.
- (2) 권재도, 안정주, 김상태, 1994, "SiC 휘스커 보강 Al6061 복합재료의 피로균열의 진전특성에 관한 기초 연구," 대한기계학회논문집, 제18권, 제9호, pp. 2374~2385.
- (3) 권재도, 문윤배, 김상태, 1995, "SiC 입자 보강 Al 복합재료의 피로균열진전 거동," 대한기계학회논문집, 제19권, 제1호, pp. 122~131.
- (4) Ma, Z. Y., Liu, J. and Yao, C. K., 1991, "Fracture Mechanism in SiCw-6061 Al Composite," *J. of Mat. Sci.* 26, pp. 1971~1976.
- (5) Hirano, K. and Takizawa, H., 1991, "Evaluation of Fatigue Crack Growth Characteristics of Whisker-Reinforced Aluminium Alloy Matrix Composite," *JSME Inter. J.*, Vol. 34, No. 2, pp. 221~227.
- (6) Rana Farid and Stefanescu, D. M., 1989, "Friction Properties of Al-1.5Pct Mg/SiC Particulate Metal Matrix Composites," *Metallurgical Transactions A*, Vol. 20A, pp. 1564~1566.
- (7) Lee Huei-Long, Lu Wun-Hwa and Chan Sammy Lap-Ip, 1992, "Abrasive Wear of Powder Metallurgy Al Alloy 6061-SiC Particle Composites," *Wear*, 159, pp. 223~231.
- (8) Saka Nannaji and Szeto Nelson, K., 1990, "Friction and Wear of Fiber Reinforced Metal Matrix Composites," *Wear*, 157, pp. 339~357.
- (9) Fisher, A., 1992, "Mechanisms of High Temperature Sliding Abrasion of Metallic Materials," *Wear*, 152, pp. 151~159.
- (10) Liu, Y. B., Lim, S. C., Ray, S. and Rohatgi, P. K., 1992, "Friction and Wear of Aluminium-Graphite Composites: The Smearing Process of Graphite During Sliding," *Wear*, 159, pp. 201~205.
- (11) Pramila Bai, B. N., Ramasesh, B. S. and Surappa, M. K., 1992, "Dry Sliding Wear of A356-Al-SiCp Composites," *Wear*, 157, pp. 295~304.
- (12) Hisakawa Terumasa, Suda Hiroshi and Watanabe Hideo, 1992, "The Friction and Wear Mechanisms Between Ceramics and Metals," *Wear*, 155, pp. 251~268.
- (13) Gibson, P. R., Clegg, A. J. and Das, A. A., 1984, "Wear of Cast Al-Si Alloys Containing Graphite," *Wear*, 95, pp. 193~198.
- (14) Yang, C. and Bahadur, S., 1992, "Friction and Wear Behavior of Alumina-Based Ceramics in

- Dry and Lubricated Sliding Against Tool Steel," *Wear*, 157, pp. 263~277.
- Mechanism Maps," *Acta Metall.*, Vol. 35, No. 1
pp 1~24.
- (15) Lim, S. C. and Ashby, M. F., 1987, "Wear-