

논문

Iron Aluminide-SiC_p 혼합 예비성형체를 사용한 Al 합금기 복합재료의 내마모 특성

차재상 · 오선훈 · 최담천[†]

Wear Resistance of Al Alloy Matrix Composites Using Porous Iron Aluminide-SiC_p Preforms

Jae-Sang Cha, Sun-Hoon Oh and Dap-Chun Choi[†]

Abstract

Porous hybrid preforms were fabricated by reactive sintering using the compacts consisting of SiC particles, Fe and Al powders. Squeeze casting processing was employed to produce the composite in which the matrix phase is Al-Si7Mg. The microstructural change and wear resistance of the composites were investigated in terms of an amount of SiC particles. The wear loss was increased with increasing the contact pressure in the alloy containing SiC particles coated with Cu. The most drastic change was found to the specimen tested at 2.5 MPa of contact pressure. Concerning the alloys containing SiC particles coated with Ni-P, a drastic increase in the wear loss exhibited at 2 MPa of contact pressure in those alloys containing 4 and 8 wt.% of SiC particles coated with Ni-P. In the alloy containing 16 wt.% a proportional increase in wear loss was observed to the change of contact pressure. With respecting to the sliding velocity, the wear loss of the alloy containing SiC particles coated with Cu increased at the initial stage of wear process and then decreased. Similar result was found in the alloys containing SiC particles coated with Ni-P. On the basis of the present results obtained, it was found that wear resistance of the alloys tested was improved to show in the order of the alloy reinforced by coated SiC particles > by uncoated SiC particles > by intermetallic compound without SiC particles. (Received July 24, 2002)

Key words : Iron Aluminide, Hybrid preform, Wear loss, Wear resistance, SiC particle

1. 서 론

금속기 복합재료는 기존의 금속재료와 달리 기지 금속내의 강화재의 종류, 크기와 체적률 등을 적절히 조절하여 기계적 및 물리적 특성을 향상시킬 수 있다는 장점이 있어 그 응용분야가 확대되고 있다.

복합재료용 예비성형체의 제조방법 중 반응소결법[1-4]은 목표 조성대로 혼합한 분말의 압분체를 로에 장입하고 일정한 속도로 가열하면 시편 전체가 동시에 균일하게 점화되고 매우 단시간에 소결반응이 진행되면서 수초 만에 목적화합물을 생성시키는 방법으로, 저렴하고 성형이 용이하며, 저온에서 단시간에 합성되고, 조성과 미세조직의 조절이 용이하다는 장점이 있다. 그

리고 복합재료의 제조방법 중 용탕단조법은 기계적 성질이 우수한 금속기 복합재료를 near net shape로 대량생산 할 수 있는 장점이 있을 뿐만 아니라, 종래의 다이캐스팅 장치를 사용할 수 있어 실용적인 측면에서도 가장 많이 사용되고 있다.

저자들은 Fe, Al 및 비피복 SiC분말을 목표 비율대로 혼합한 후 반응소결법에 의해 iron aluminide와 비피복 SiC입자 또는 Cu 또는 Ni-P로 피복한 SiC입자가 3차원적으로 배열된 예비성형체를 제조하고 미세조직 및 생성 상의 변화와 예비성형체의 반응온도 및 밀도변화 등 제 특성에 대하여 기 보고한 바 있다[5,6]. 그러나 상기 iron aluminide와 SiC입자를 강화재로 한 혼합 예비성형체를 사용한 복합재료의 마모특성에 대

전남대학교 금속공학과(Dept. of Metallurgical Engineering, Chonnam National University)

[†]E-mail : dcchoi@chonnam.chonnam.ac.kr

한 연구보고는 거의 발표된 바 없다.

본 연구에서는 전보[6]와 같이 강화상인 Cu 또는 Ni-P로 피복처리 한 SiC입자 또는 비피복 SiC입자, Fe 및 Al분말을 혼합하여 반응소결법으로 제조한 iron aluminide와 SiC입자로 된 예비성형체에 Al-Si7Mg (A356)합금 용탕을 주입하여 용탕단조법으로 복합재료를 제조하였으며 예비성형체의 혼합비에 따른 복합재의 미세조직을 관찰하고, 내마모성에 미치는 마모시험 조건(접촉압력 및 마찰속도), SiC입자 첨가량의 영향과 피복 효과를 조사하였다.

2. 실험 방법

Fe는 고순도 H₂가스 분위기하에서 600°C, 1시간동안 환원 처리한 평균입도 35 μm의 Höganäs사제 고순도 분말을, Al은 평균입도 19 μm의 3 N급 분말을, SiC는 평균입도 20 μm인 분말을 사용하였으며, 기지재료는 Al-Si7Mg합금을 사용하였다. SiC입자에 대한 Cu 및 Ni-P의 피복처리는 전보[6]와 동일하게 무전해 도금법을 사용하였다.

내마모성에 대한 Fe와 Al분말의 혼합비와 비피복 SiC입자의 첨가량의 차이에 따른 영향을 조사하기 위해 상기 Fe와 Al분말을 Fe-50, 60 및 70at.%Al 조성으로 혼합한 후 이 혼합분말에 대해 4, 8, 16 및 24 wt.%로 비피복 SiC입자를 첨가하거나, SiC입자의 피복유무에 따른 영향을 조사하기 위해 Fe-60at.%Al 혼합분말에 4, 8, 16 및 24 wt.%로 Cu 또는 Ni-P 피복한 SiC입자를 첨가하여 2 MPa의 압력으로 압축 성형하여 지름 30 mm, 높이 15 mm 크기의 압분체를 제조하였다. 이 압분체를 미리 660°C로 가열된 관상로내에 장입한 후 Ar가스 분위기하에서 40분간 반응소결하여 예비성형체를 제조하였다. 이어서 420°C로 예열된 금형에 예비성형체를 장입한 후 650°C의 Al-Si7Mg합금 용탕을 주입하고 66 MPa로 가압하여 복합재료를 제조하였다.

복합재료의 미세조직은 연마한 그대로, iron aluminide상은 20°C의 2%HF 수용액에서 13초간 착색 부식한 후 광학현미경으로 관찰하였고, 화상분석기를 사용하여 iron aluminide, Al-Si7Mg합금 기지 및 SiC입자의 면적률을 측정하였다. 그리고 브리넬경도는 직경 5 mm의 강구를 압자로, 측정하중은 750 kg로, 부하시간은 30초로 하여 측정하였으며, SiC입자 첨가량과

금속피복 유무에 따른 마모특성은 지름 30 mm, 두께 3 mm의 상대 마모재(SM45C: H_RC 62) 외주면에 시험편을 가압하는 Oetsu방식[7]의 무급유 건식 마모시험기를 사용하여 접촉압력과 마찰속도를 변수로 하여 마모시험한 후 마모된 체적은 마모면의 길이 b를 측정하여 아래 식에 의해 구하였으며, 마모면과 마모분은 주사전자현미경으로 관찰하였다.

$$V = B \left[r^2 \sin^{-1}(b/2r) - (b/2r) \sqrt{r^2 - (b/2)^2} \right]$$

여기서 V, B, r, b는 각각 마모체적, 상대재료의 두께, 상대재료의 반경, 마모면의 길이이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 복합재의 미세조직 및 경도

Fig. 1은 Fe-60at.%Al(이하 Fe-60Al로 표시)에 비피복 SiC입자를 혼합하여 반응소결에 의해 제조한 예비성형체에 Al-Si7Mg합금용탕을 가압주입하여 제조한 복합재료의 미세조직을 보여준다. 예비성형체에서 기공이었던 그림 중 금속간화합물상사이의 "Matrix"로 표시된 Al-Si7Mg기지부분에 용탕이 치밀하게 잘 침투되어 있고, 이 기지내에 SiC입자가 비교적 균일하게 분포되어 있음을 알 수 있다.

Table 1은 상기 복합재의 화상분석 및 브리넬경도 측정결과를 나타낸 것으로 비교를 위해 Al-Si7Mg합금 및 SiC입자를 첨가하지 않은 Fe-60Al 복합재(금속간화합물상만을 강화상으로 한)의 브리넬경도를 같이 나타냈다. 여기서 화상분석결과를 보면 Fe-60Al에 비피복 SiC입자를 4 wt.% 첨가한 때 기지조직은 47.9%, iron aluminide상은 49.1%, SiC입자는 3.0%, SiC입자를 8 wt.% 첨가한 때는 각각 60.6%, 33.2%, 6.2%, SiC입자를 16 wt.% 첨가한 때는 62.8%, 26.5%, 10.7%, SiC입자를 24 wt.% 첨가한 때는 65.5%, 18.1%, 16.4%로 SiC입자의 첨가량이 증가함에 따라 기지조직의 면적률은 증가하고 상대적으로 iron aluminide의 면적률은 감소하고 있음을 알 수 있는데 이는 반응소결시 SiC입자의 첨가량에 따른 예비성형체의 팽창률 차이[6]에 기인한 것으로 보이며, 브리넬경도 측정결과를 보면 Al-Si7Mg합금은 HB 62, Fe-60Al 복합재는 HB 118, Fe-60Al-4 wt.%SiC 복합재는 HB 122, Fe-60Al-8 wt.%SiC 복합재는 HB 135, Fe-60Al-16 wt.%SiC 복합재는 HB

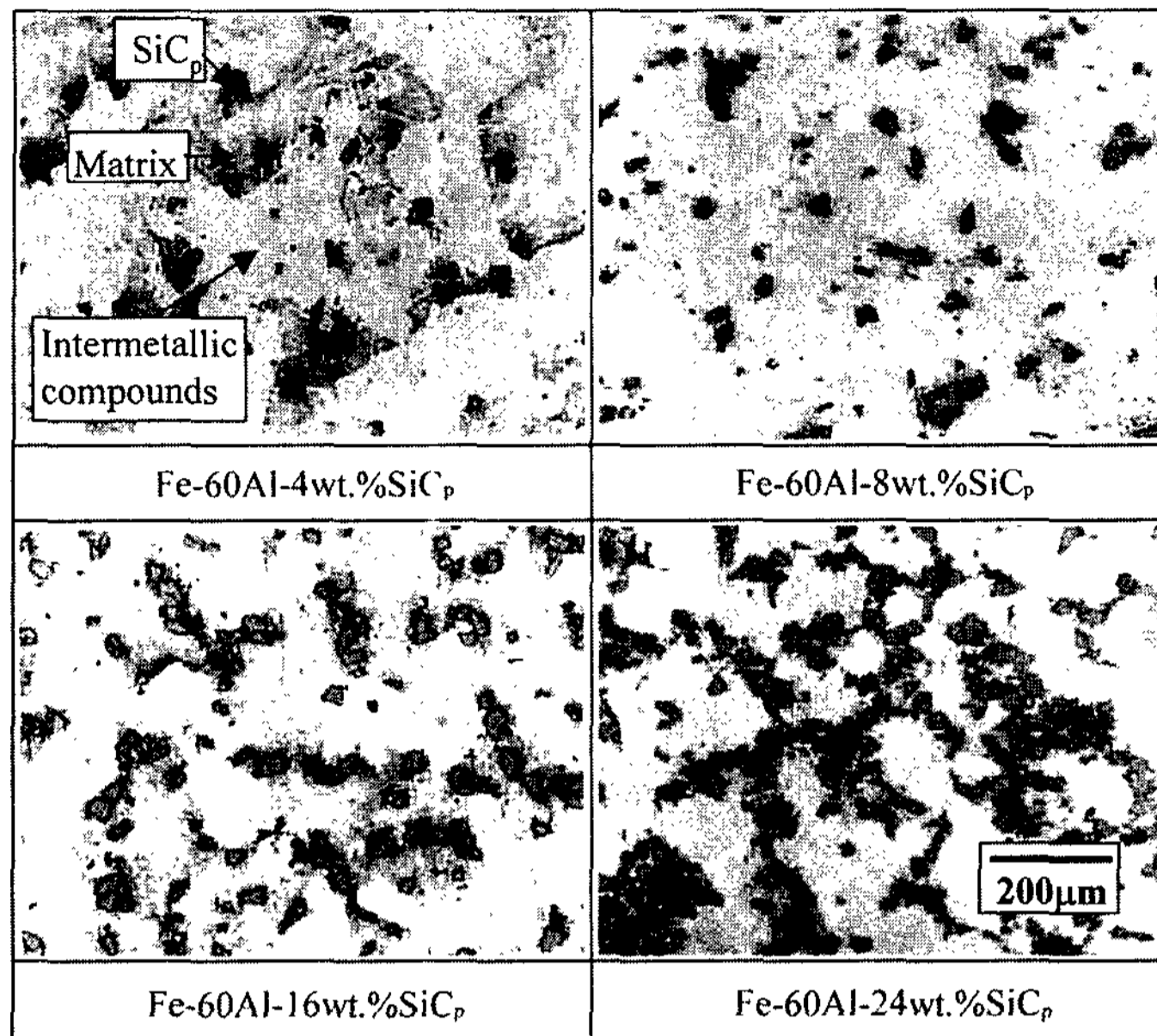


Fig. 1. Microstructures of the Fe-60Al composites with various SiCp contents.

Table 1. Image Analysis and Brinell hardness of specimens.

Specimen Results		Al-Si7Mg	Fe-60Al	Fe-60Al-4wt.%SiC	Fe-60Al-8wt.%SiC	Fe-60Al-16wt.%SiC	Fe-60Al-24wt.%SiC
Area Fraction(%)	Matrix	-	-	47.9	60.6	62.8	65.5
	Iron aluminide			49.1	33.2	26.5	18.1
	SiC			3.0	6.2	10.7	16.4
Brinell Hardness(HB)		62	118	122	135	158	163

158, Fe-60Al-24 wt.% SiC는 HB 163으로 기지인 Al-Si7Mg합금에 비해 Fe-60Al재는 거의 1.9배정도, 여기에 SiC입자를 첨가하면 경도가 더욱 증가하여 24 wt.% 첨가시에는 2.6배정도 더 높은 값을 나타내었으며 화상분석결과와 잘 대응하고 있음을 알 수 있다. 그리고 피복한 SiC를 첨가한 복합재의 경도는 비피복 SiC를 첨가한 복합재의 경도값과 거의 같아 여기에는 나타내지 않았다.

Fig. 2는 미세조직에서 iron aluminide상의 분포를 알아보기 위해 상기 Fe-60Al-16wt.% SiC 복합재를 2%HF 수용액으로 착색부식한 후 관찰한 광학현미경 사진이다. 여러 가지 종류의 Fe-Al 2원계 금속간화합물을 2%HF 수용액으로 부식하였을 때 FeAl상은 착색되지 않고, FeAl₂상은 다갈색, Fe₂Al₅상은 결정면에 따라서 오렌지색, 자색, 청색, FeAl₃상은 담청색으로 착색된다는 보고[8]에 의해 사진 중 →로 표시된 주위

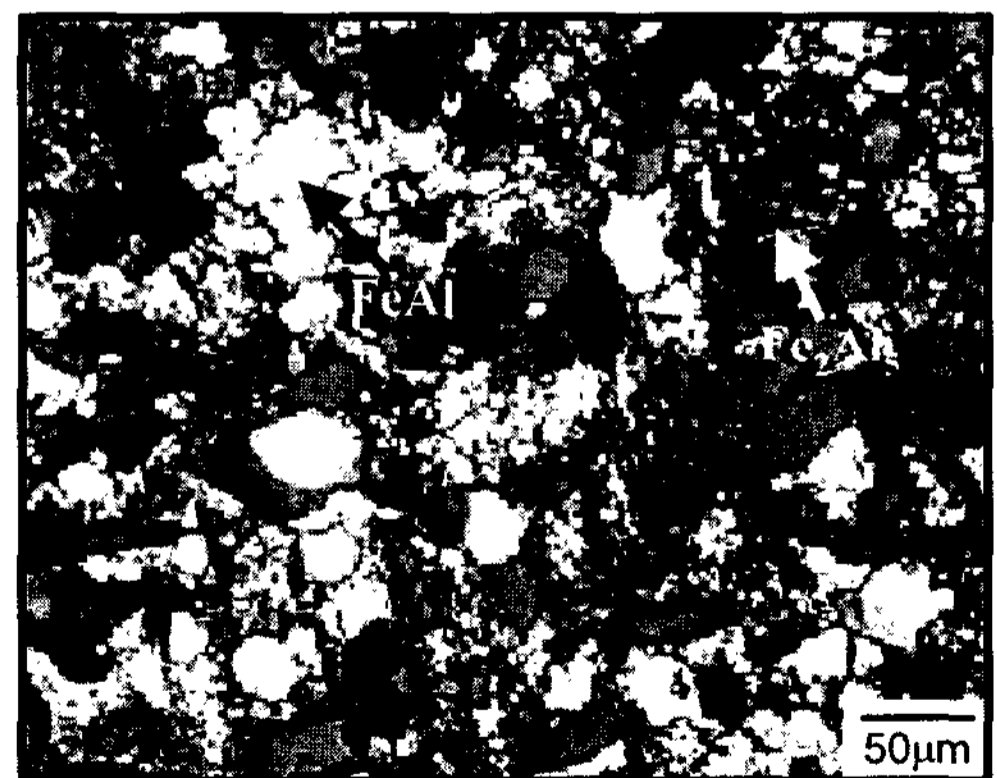


Fig. 2. Microstructure of color etched Fe-60Al-16wt.%SiCp specimen.

보다 더 밝은 부분은 FeAl상을, ⇨로 표시된 흑색과 회색이 혼재하는 부분은 Fe₂Al₅상을 의미하기 때문에

주로 이들 두 상이 혼재하고 있고, 이들 사이에 약간의 FeAl₂가 존재하고 있는 것으로 생각되며 이는 반응소결에 의해 제조된 동일조성의 예비성형체의 특성을 평가한 전보[6]의 XRD 결과와도 일치하고 있다.

3.2 Fe와 Al분말의 혼합비와 SiC(p)첨가량에 따른 마모특성

Fig. 3은 Fe-50, 60 및 70Al 혼합분말에 대해 비피복 SiC입자를 4, 8, 16 및 24 wt.% 첨가하여 제조한 복합재료를 접촉압력 2 MPa, 마찰속도 1 m/s 및 마찰거리를 200 m로 고정하고 마모시험한 결과를 나타낸다. 그림에서 SiC입자의 첨가량이 증가할수록 Fe와 Al분말의 혼합비와 관계없이 마모량이 거의 비례적으로 감소하였으며 SiC입자의 첨가량이 24 wt.%일 때가 가장 마모량이 적었다. 여기서 SiC입자 첨가량의 증가에 따른 내마모성 향상은 주 원인이 경질의 SiC입자에 의한 것으로 판단되며, Fe와 Al 분말의 혼합비에 따른 내마모성은 어느 SiC입자의 첨가량에서나 모두 Fe-60Al 복합재료가 Fe-50Al 및 Fe-70Al과 비교해서 더 우수한데 이는 Fe에 대한 Al의 혼합비가 70, 60 및 50at.%로 감소할수록 반응소결 후 생성된 예비성형체의 금속간화합물상의 조직은 더 미세해지고, 화합물의 형상도 불규칙형상에서 더 균일하게 분포되고 구형화되는 경향을 나타내며, 주생성상이 FeAl에서 Fe₂Al₅로 변화한다는 전보[6]의 결과를 고려할 때 명확하지는 않으나 생성된 금속간화합물(iron aluminide)상의 크기와 종류, 형상, 기계적성질(특히 경도) 및 기공률의 차이가 복합

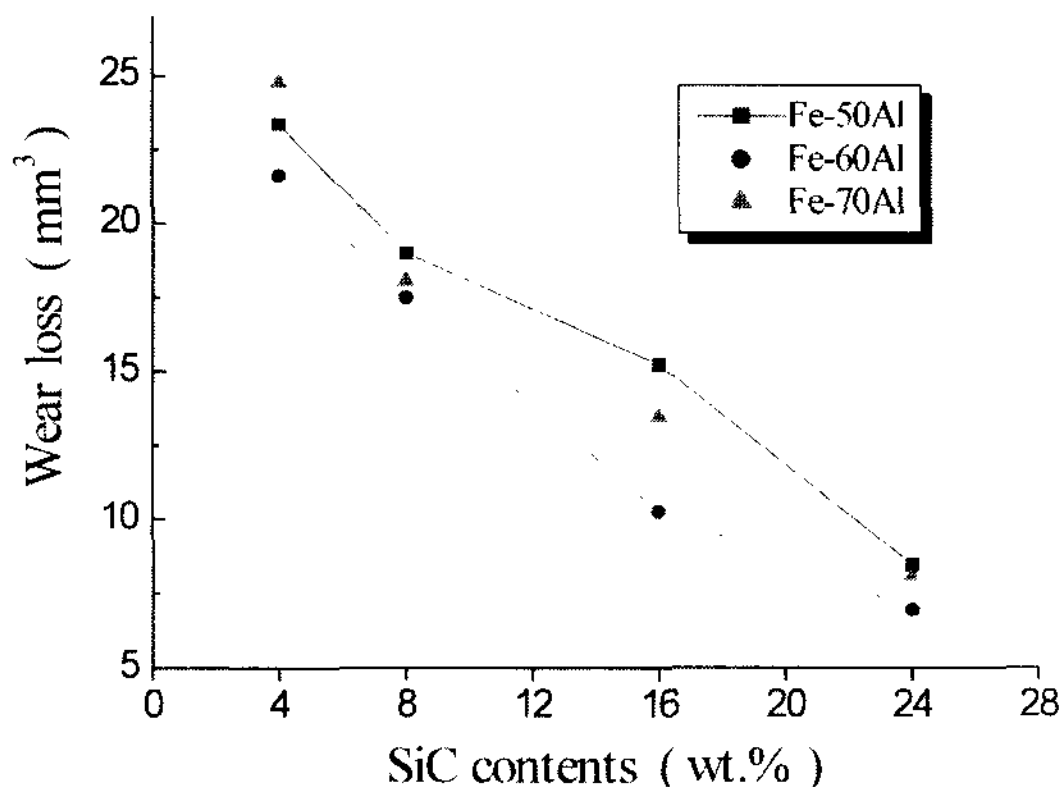
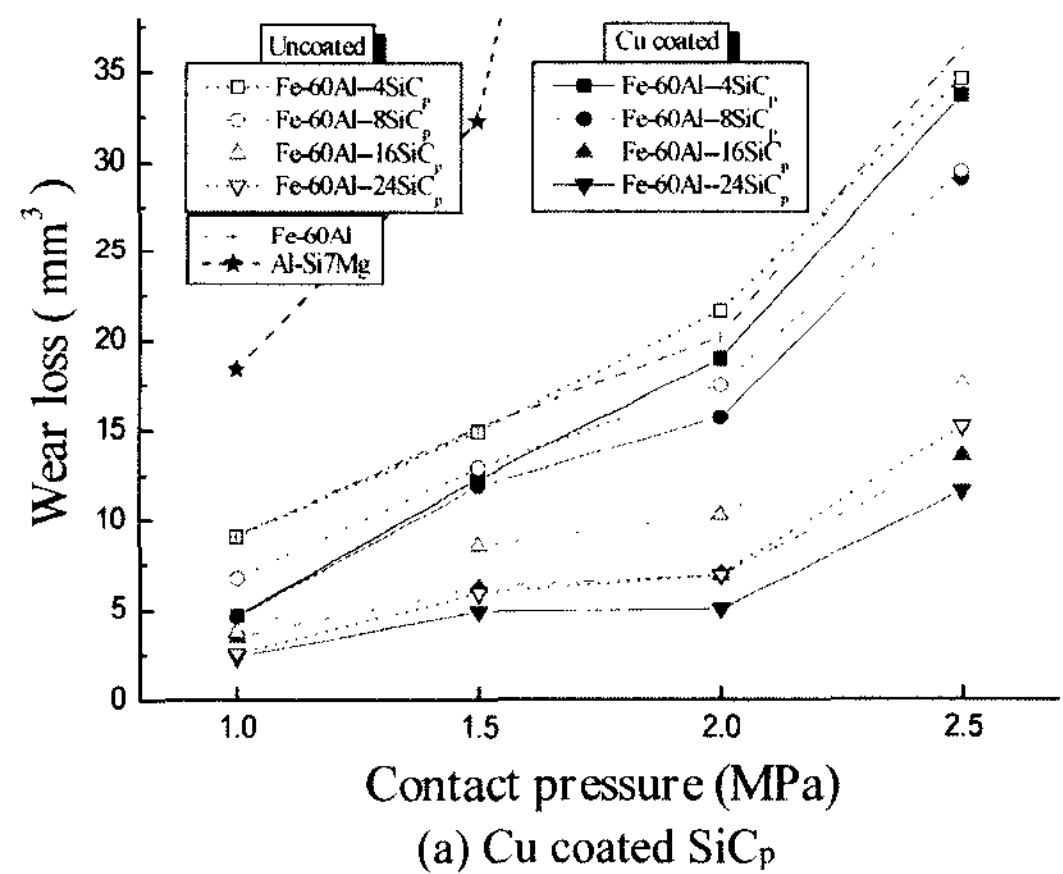


Fig. 3. Variation of wear loss with SiC_p contents at the given testing conditions.(contact pressure 2 MPa, sliding distance 200 m, sliding velocity 1.0 m/s)

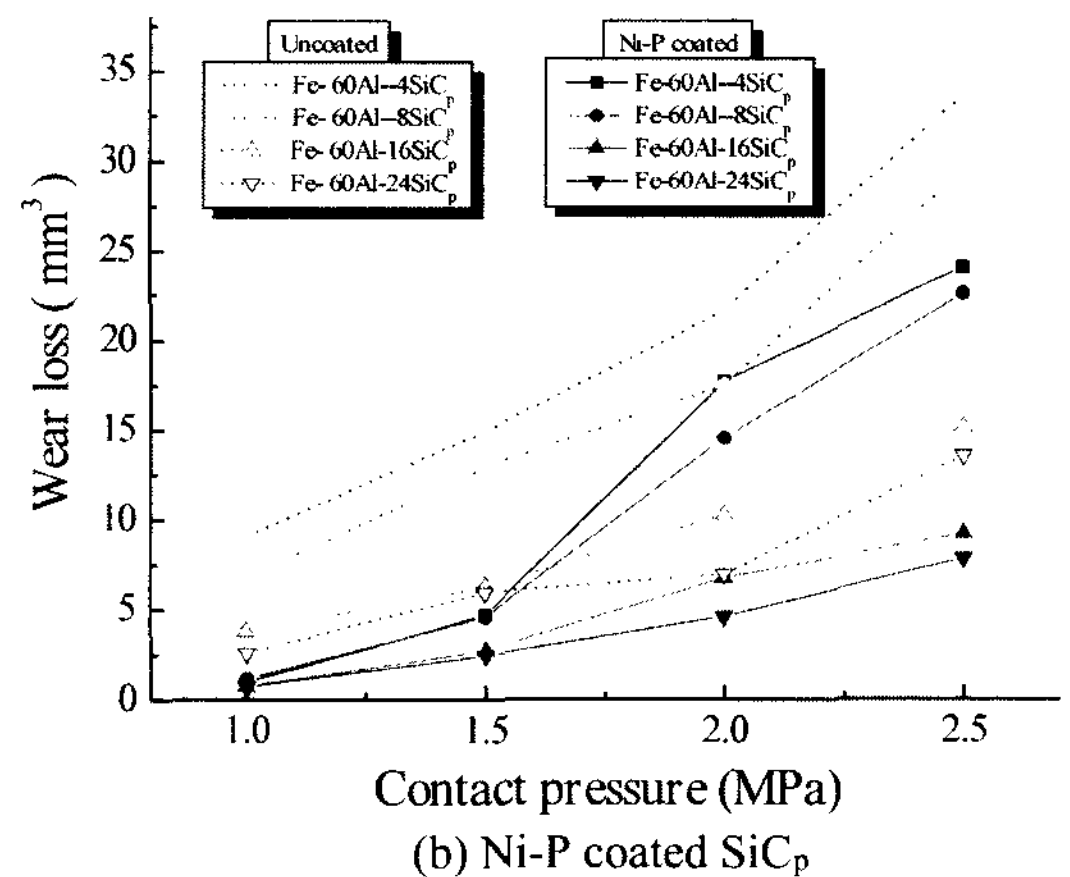
적으로 내마모성에 영향을 미친 것으로 보이며 Fe-60Al-SiC복합재에서 최적의 결과가 나타난 것으로 생각된다.

3.3 접촉압력에 따른 마모특성

Fig. 4은 Fe-60Al에 비피복 SiC입자, Cu를 피복한 SiC입자 및 Ni-P를 피복한 SiC입자를 4, 8, 16 및 24 wt.% 첨가한 복합재에 대하여 마찰속도를 1m/s, 마찰거리를 200 m, 접촉압력을 1, 1.5, 2 및 2.5 MPa로 변화시키면서 마모시험한 결과로 비교를 위해 기저조직인 Al-Si7Mg합금과 SiC입자를 첨가하지 않은 Fe-60Al 복합재의 결과를 함께 나타냈다. 그림 (a)에서 Cu를 피복한 SiC입자를 첨가한 시편의 경우 접촉압력에 따른 마모량은 전체적으로 접촉압력이 증가함에 따



(a) Cu coated SiC_p



(b) Ni-P coated SiC_p

Fig. 4. Variation of wear loss with contact pressures at the given testing conditions.(sliding distance 200 m, sliding velocity 1.0 m/s)

라 거의 비례적으로 증가하였으며, SiC입자의 첨가량에 따른 변화는 동일한 접촉압력하에서 4 및 8 wt.% 첨가한 때보다 16 및 24 wt.%SiC를 첨가한 때가 더 낮은 값을 나타내었고 상기 정도의 변화와 잘 대응하고 있음을 알 수 있다. 그리고 그림 (b)에서 Ni-P를 피복한 SiC입자를 첨가한 시편의 경우 접촉압력에 따른 변화는 접촉압력에 따라 약간 다른 결과를 나타내나 Cu를 피복한 SiC입자를 첨가한 때와 유사하게 접촉압력의 증가에 따라 거의 비례적으로 증가하였으며, SiC입자의 첨가량에 따른 변화 역시 Cu를 피복한 SiC를 첨가한 경우와 유사하게 동일한 접촉압력하에서 4 및 8 wt.% 첨가한 때보다 16 및 24 wt.%SiC를 첨가한 때가 마모량이 더 적었다. 여기서 기지재인 Al-Si7Mg합금(그림 중 ★)은 접촉압력 1.5 MPa 이상이 되면 마모량이 급격하게 증가함에 비해 SiC를 첨가하지 않은 복합재(그림 중 +-), 비피복 SiC입자를 첨가한 복합재, 피복한 SiC입자를 첨가한 복합재 모두 기지재에 비하여 내마모성이 월등히 우수한 결과를 나타냈다. 그러나 SiC를 첨가하지 않은 복합재와 비피복 SiC입자를 4 wt.%첨가한 복합재의 마모량이 거의 같은 것으로 보아 4 wt.% 정도의 비피복 SiC입자의 첨가는 내마모성을 개선하는 효과가 크지 않는 것으로 보이며 상기 정도 측정결과로부터 이를 확인 할 수 있다. 그리고 비피복 SiC를 첨가한 복합재의 마모량의 변화는 Cu 또는 Ni-P를 피복한 SiC를 첨가한 복합재와 유사한 경향을 나타냈으나 SiC입자의 첨가량이 동일한 경우 어느 접촉압력에서나 전반적으로 Cu 또는 Ni-P를 피복한 SiC를 첨가한 복합재가 비피복 SiC입자를 첨가한 복합재에 비해 마모량이 더 적었고, Ni-P를 피복한 복합재가 Cu를 피복한 복합재보다 약간 더 좋은 결과를 나타내었는데, 이는 Fig. 4에서 접촉압력이 2 MPa인 때 비피복 및 피복한 SiC의 첨가량에 따른 마모량의 변화를 분석한 Fig. 5에서 확인할 수 있다. 상기 결과로부터 기지재인 Al-Si7Mg합금에 비해 금속간화합물상만을 강화상으로한 복합재, 비피복 SiC입자를 첨가한 복합재, 피복한 SiC입자를 첨가한 복합재 순으로 내마모성이 증가되고 있다. 이는 Al-SiC_p 복합재료에서 젖음성에 대한 강화재의 피복처리 효과에 대한 김[9]등의 연구결과와 복합재료의 파단시 Al-Si7Mg 기지로부터 비피복 및 피복 SiC입자의 분리와 이탈거동을 보여주는 전보[6]의 결과로부터 Cu 또는 Ni-P 피복층에 의해 기지와 SiC입자간의 젖음성이 개선되고

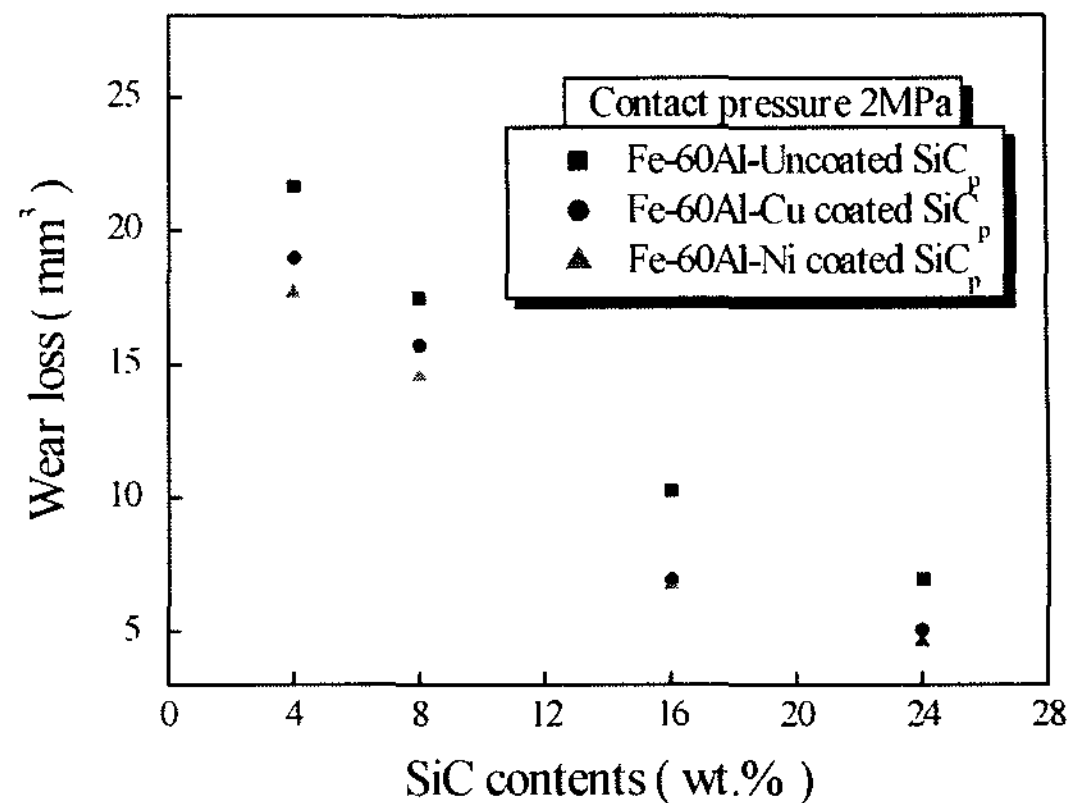


Fig. 5. Variation of wear loss with SiC_p contents at 2MPa of contact pressure.

이에 의해 계면강도가 개선되어 마모시험시 SiC입자의 분리와 이탈이 잘 일어나지 않기 때문에 피복한 SiC입자를 첨가한 복합재의 내마모성이 향상된 것으로 판단된다. 그리고 SiC입자가 16 wt.% 이상 첨가되면 내마모성이 월등히 향상되는 것으로부터 최적의 첨가량은 16 wt.%SiC 이상으로 생각된다.

Fig. 6은 접촉압력 1.5 MPa, 마찰속도 1 m/s, 마찰거리 200 m에서 비피복 SiC입자의 첨가량에 따른 마모양상을 비교하기 위해 기지재인 Al-Si7Mg합금과 Fe-60Al 복합재 및 Fe-60Al에 SiC입자를 4 및 24 wt.% 첨가한 복합재의 마모면을 주사전자현미경으로 관찰한 사진으로 피복한 시험편의 마모면은 비피복 시험편의 마모면과 외견상 동일하여 나타내지 않았다. (a)의 기지재인 Al-Si7Mg는 심한 용융마모형태를 보이며, (b)의 SiC입자를 첨가하지 않은 Fe-60Al 복합재의 마모면은 마찰진행 방향으로 심하게 패인 선모양의 요철이 마모면 전체에 나타나나, (c) 및 (d)에서 SiC입자의 첨가량이 4 wt.%에서 24 wt.%로 증가함에 의해 마모면이 평활해 지면서 연삭마모가 진행되고 있으며, 전술한 Al-Si7Mg합금, Fe-60Al 복합재료 및 Fe-60Al에 비피복 SiC를 첨가한 때의 브리넬경도 변화와 잘 대응하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7은 Fe-60Al에 비피복 SiC입자를 16 wt%첨가한 복합재의 접촉압력에 따른 마모면의 양상과 마모분의 형상을 나타낸 사진이다. 접촉압력이 1 MPa일 때는 기계적 연삭마모에 의한 미립의 마모분이 생성되고, 사진으로 나타내지 않았으나 접촉압력이 증가할수록 마모가 심해지면서 마모분의 크기는 줄어들고 판상의 형

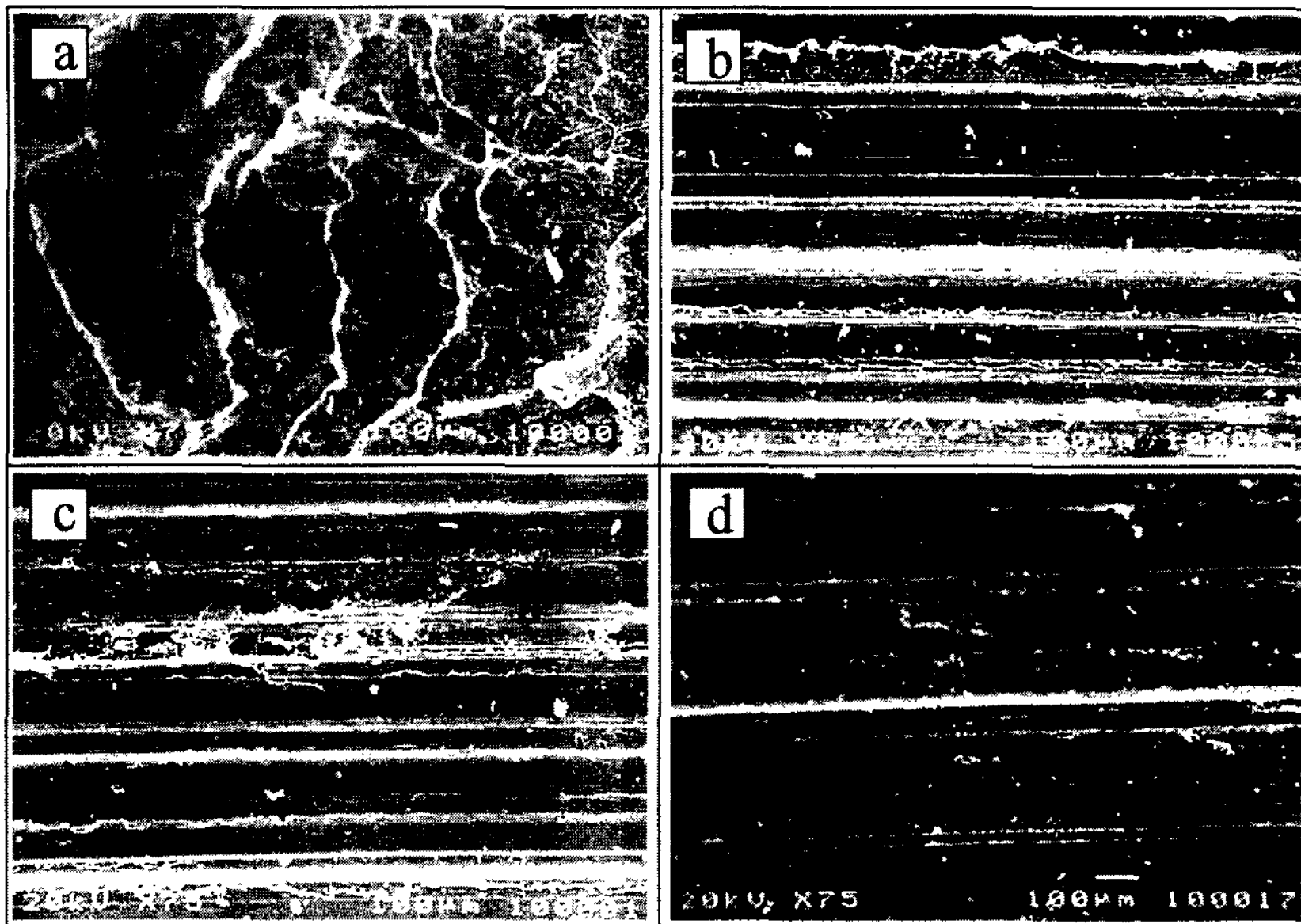


Fig. 6. SEM micrographs of wear surfaces at the given testing conditions.(contact pressure 1.5 MPa, sliding distance 200 m, sliding velocity 1.0 m/s) : (a) Al-Si7Mg alloy, (b) Fe-60Al, (c) Fe-60Al-4wt.%SiC_p, and (d) Fe-60Al-24wt.%SiC_p.

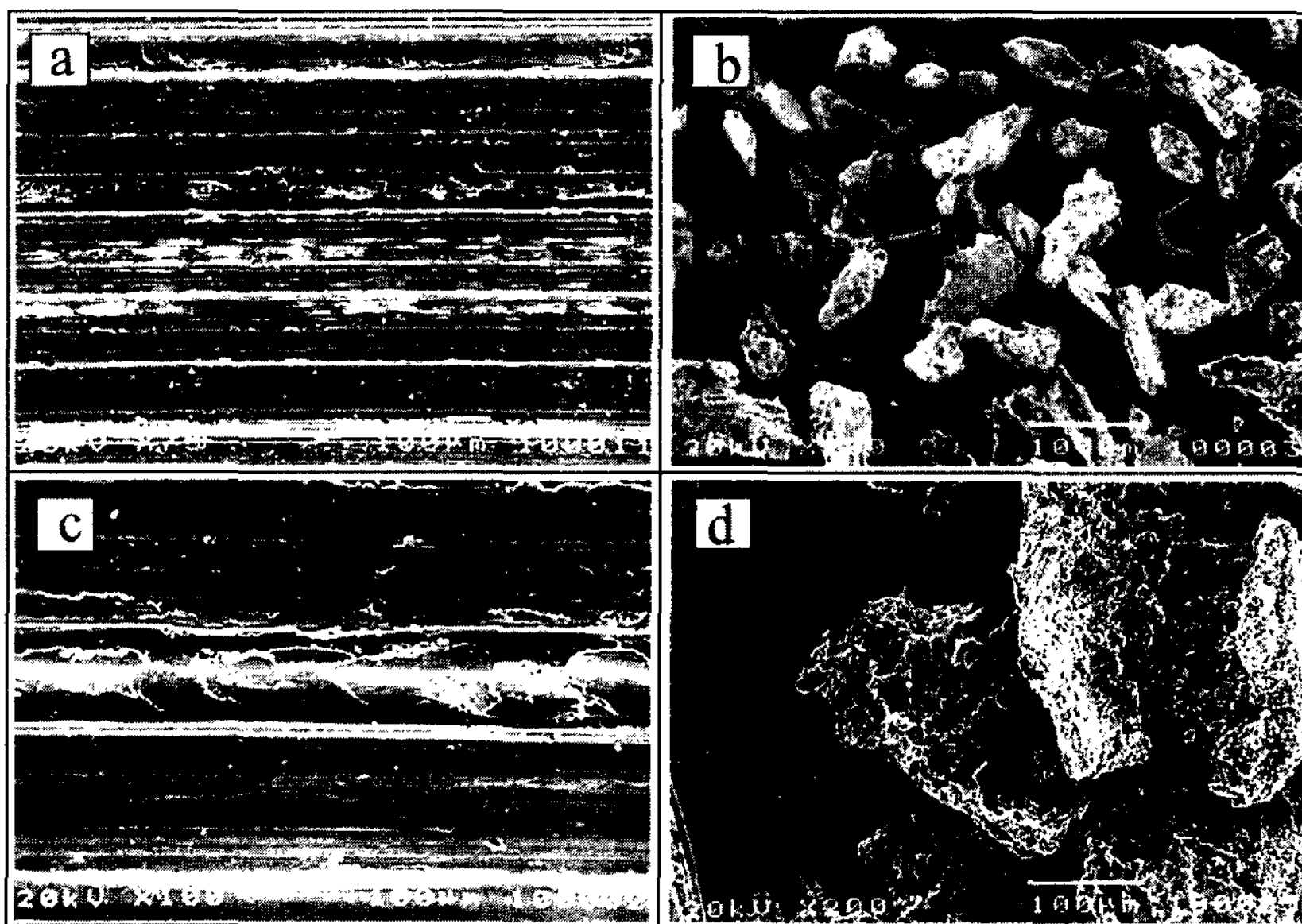


Fig. 7. SEM micrographs of wear surfaces and wear debris of Fe-60Al-16wt.%SiC_p with various contact pressures at the given testing conditions(sliding distance 200 m, sliding velocity 1.0 m/s) : (a)(b) 1 MPa and (c)(d) 2.5 MPa.

태로 변화하며 이러한 경향은 2.5 MPa인때의 마모면 요철의 폭과 깊이 및 마모분의 크기와 형상으로부터 명확하게 알 수 있다. 이는 접촉압력이 증가할수록 상

대마모재와 시편의 접촉면에서 마찰열이 심하게 발생 함에 의해 시편이 연화되면서 회전하는 상대마모재에 응착되어 이탈됨으로써 마모분의 형태가 미립에서 조

대한 형태로 변하는 것으로 판단된다.

3.4 마찰속도에 따른 마모특성

Fig. 8은 Fe-60Al에 비피복 SiC입자, Cu를 피복한 SiC입자 및 Ni-P를 피복한 SiC입자를 4, 8, 16 및 24 wt.% 첨가한 복합재에 대하여 접촉압력을 1.5 MPa로, 마찰거리를 600 m로 일정하게 유지하고, 마찰속도를 1, 1.5, 2, 2.5 및 3 m/s로 변화시키면서 마모시험한 결과를 나타낸 것으로 비교를 위해 기지재인 Al-Si7Mg합금과 SiC입자를 첨가하지 않은 Fe-60Al 복합재의 결과를 함께 나타냈다. 피복한 SiC입자의 종류에 따른 마모량의 변화를 보면 그림 (a)에서 Cu를 피복한 SiC입자를 첨가한 시편의 마찰속도에 따른 변화는 전체적으로 어느 SiC입자의 첨가량에서나 마찰속도의 증

가에 따라 증가하다가 2 m/s에서 최고치를 나타낸 후 2.5 m/s에서 감소하는 경향을 나타내었으며, SiC입자의 첨가량에 따른 변화는 어느 마찰속도에서나 SiC입자의 첨가량이 증가할수록 거의 비례적으로 마모량이 감소하는 경향을 나타냈다. 그리고 그림 (b)에서 Ni-P를 피복한 SiC입자를 첨가한 시편의 마찰속도에 따른 변화 역시 Cu를 피복한 SiC를 첨가한때와 유사한 경향을 나타냈으며, SiC입자의 첨가량에 따른 변화 역시 Cu를 피복한 SiC를 첨가한때와 유사한 경향을 나타냈으나 SiC입자를 8 wt.%첨가한 때에 비해 16 wt.% 이상 첨가한때가 마모량이 훨씬 더 적었다. 여기서 기지재인 Al-Si7Mg합금(그림 중 -★-)은 접촉압력 1.5 MPa이상 이 되면 마모량이 급격하게 증가함에 비해 SiC를 첨가하지 않은 복합재(그림 중 -+-), 비피복 SiC입자를 첨가한 복합재, Cu 또는 Ni-P를 피복한 SiC입자를 첨가한 복합재 모두 기지재에 비하여 내마모성이 우수한 결과를 나타냈다. 그러나 Cu 또는 Ni-P를 피복한 SiC입자를 4 wt.% 첨가한 복합재의 마모량이 SiC를 첨가하지 않은 복합재와 비피복 SiC입자를 4 wt.% 첨가한 복합재의 마모량과 큰 차이가 없는 것으로 보아 접촉압력에 따른 변화의 경우와 마찬가지로 4 wt.%정도의 SiC입자의 첨가는 내마모성 개선에 큰 효과는 없는 것으로 보인다. 그리고 비피복 SiC를 첨가한 때 마찰속도 및 SiC입자의 첨가량에 따른 마모량의 변화경향은 Cu 또는 Ni-P를 피복한 SiC를 첨가한 때와 유사한 경향을 나타냈으나 SiC입자의 첨가량이 동일한 경우 어느 마찰속도에서나 전반적으로 Cu 또는 Ni-P를 피복한 SiC를 첨가한 복합재가 비피복 SiC를 첨가한 복합재에 비해 더 낮은 값을 나타내고 있으며 이는 Fig. 8에서 마찰속도가 2.5 m/s인 때 비피복 및 피복한 SiC의 첨가량에 따른 마모량의 변화결과를 분석한 Fig. 9에서 확인 할 수 있다. 상기 결과로부터 전술한 접촉압력을 변화시켰을 때의 결과와 동일하게 기지재인 Al-Si7Mg합금, 금속간화합물상을 강화상으로한 복합재, 비피복 SiC입자가 첨가된 복합재, 피복한 SiC입자가 첨가된 복합재순으로 내마모성이 증가되었으며 내마모성에 대한 SiC입자에 대한 피복효과를 다시 확인 할 수 있다. 그리고 Fig. 8에서 마찰속도가 2 m/s을 초과하면 마모량이 감소하는 경향을 보이는데, 이는 상대마모재가 고속으로 회전할수록 즉 마찰속도가 고속일수록 마찰면의 온도가 상승하여 부분적으로 시편의 연화가 일어나며, 이것이 마찰면에서 윤활제로 작용하여 마모량

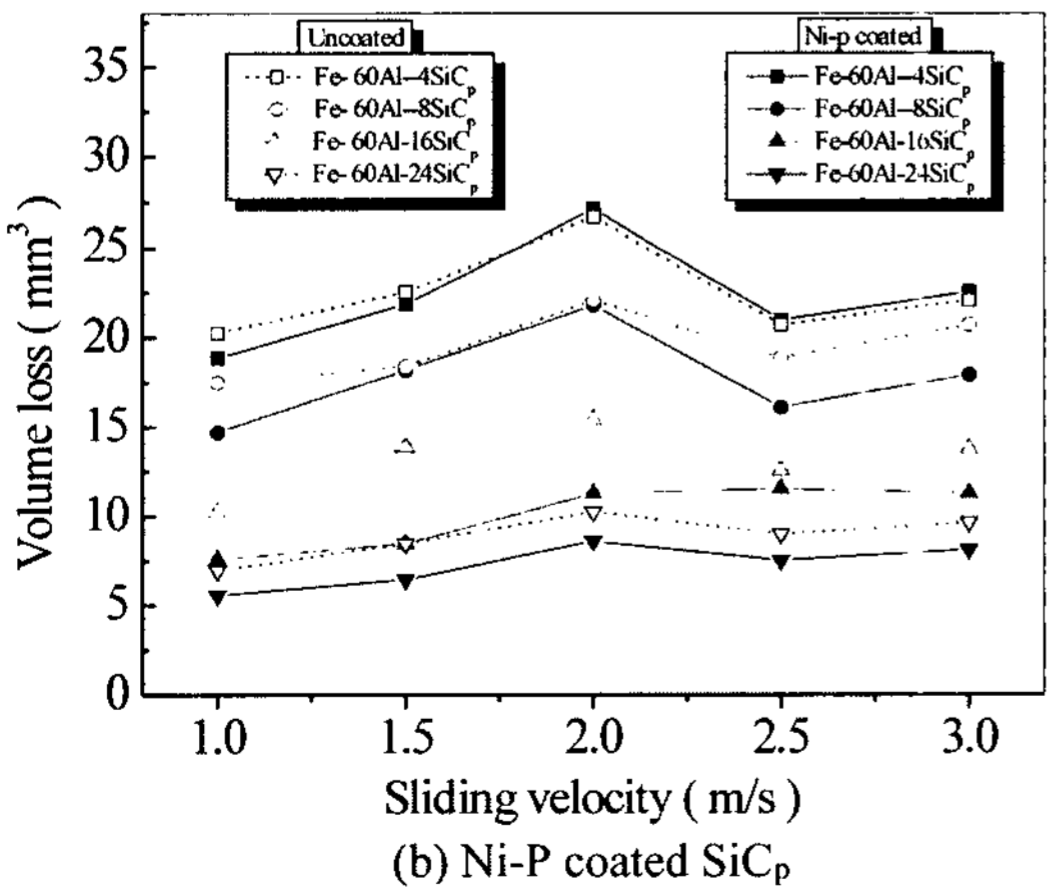
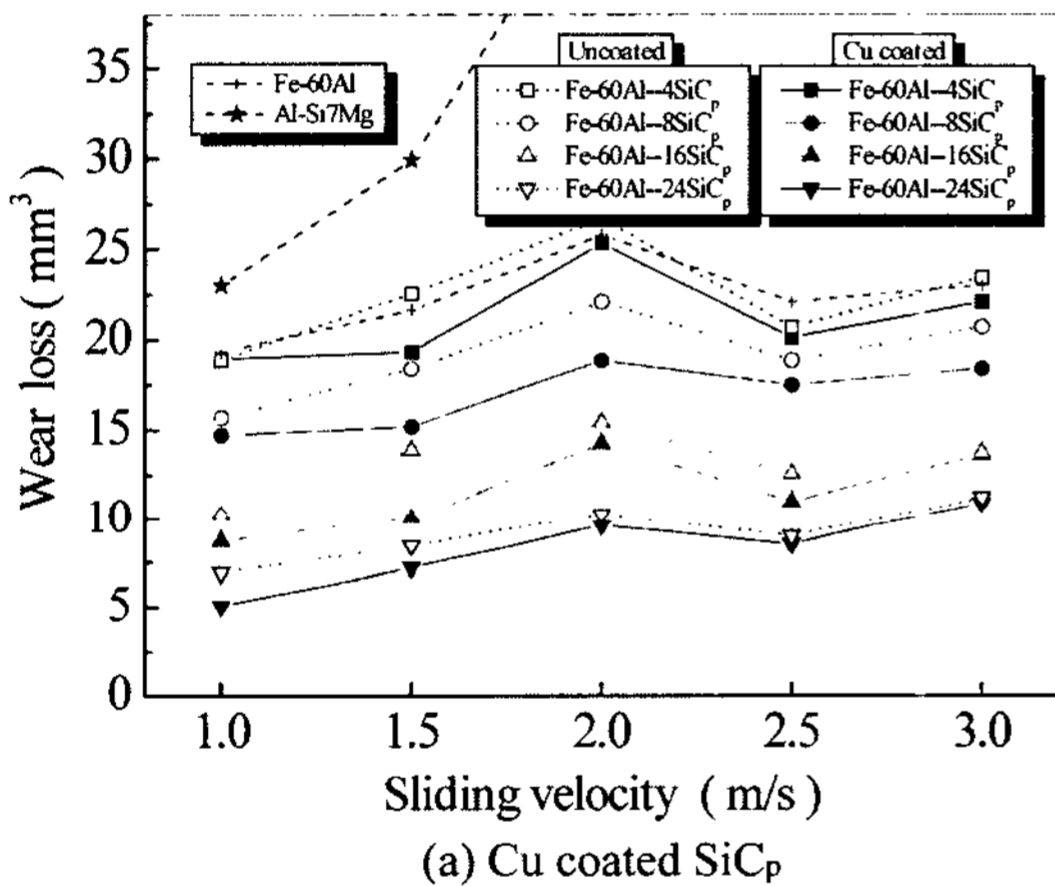


Fig. 8. Variation of wear loss with sliding speed at the given testing conditions.(contact pressure 1.5 MPa, sliding velocity 1.0 m/s)

이 감소하고, 또한 마찰면에 검정미분으로 형성된 산화물층이 낮은 마찰계수를 지니고 있어[10] 마찰면에서 역시 윤활제로 작용하여 마모특성을 개선시킨 것으로 생각된다.

Fig. 10은 Fe-60Al에 비피복 SiC입자를 16 wt.%첨가하여 제조한 복합재를 접촉압력 1.5 MPa, 마찰거리 400 m로 고정하고, 마찰속도를 변화시켜 마모시험한 후의 마찰면과 마모분을 보여주는 전형적인 사진이다. 마찰속도가 1에서 2 m/s로 증가함에 따라 마찰면의 형상

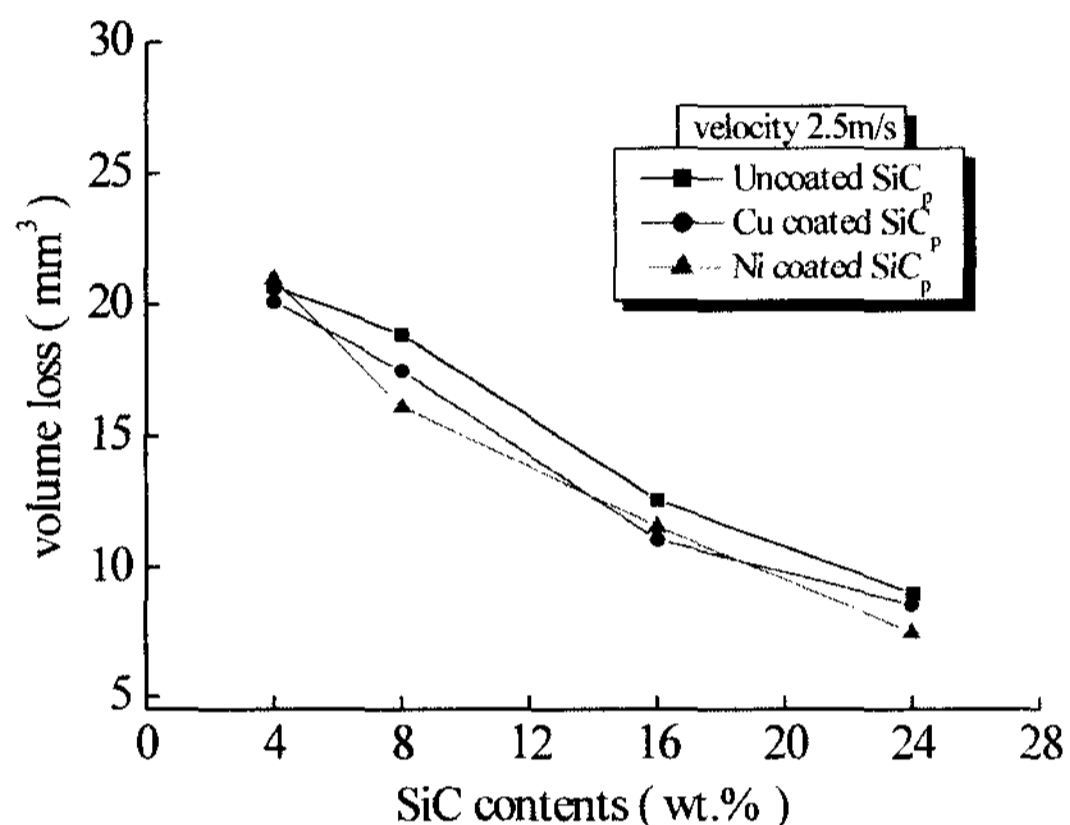


Fig. 9. Variation of wear loss with SiC_p contents at 2.5 m/s of sliding velocity.

은 요철의 깊이와 넓이가 증가하는 연삭마모 형태를 나타내었고, 마모분의 형태는 마찰속도 2.0 m/s까지는 점점 굵어졌다. 그리고 마찰속도 2.5 m/s에서 마찰면의 형상과 마모분의 형태는 2.0 m/s일 때와 유사하였다.

3.5 마모분의 분석결과

Fig. 11은 Fe-60Al에 비피복 SiC입자를 4, 8, 16

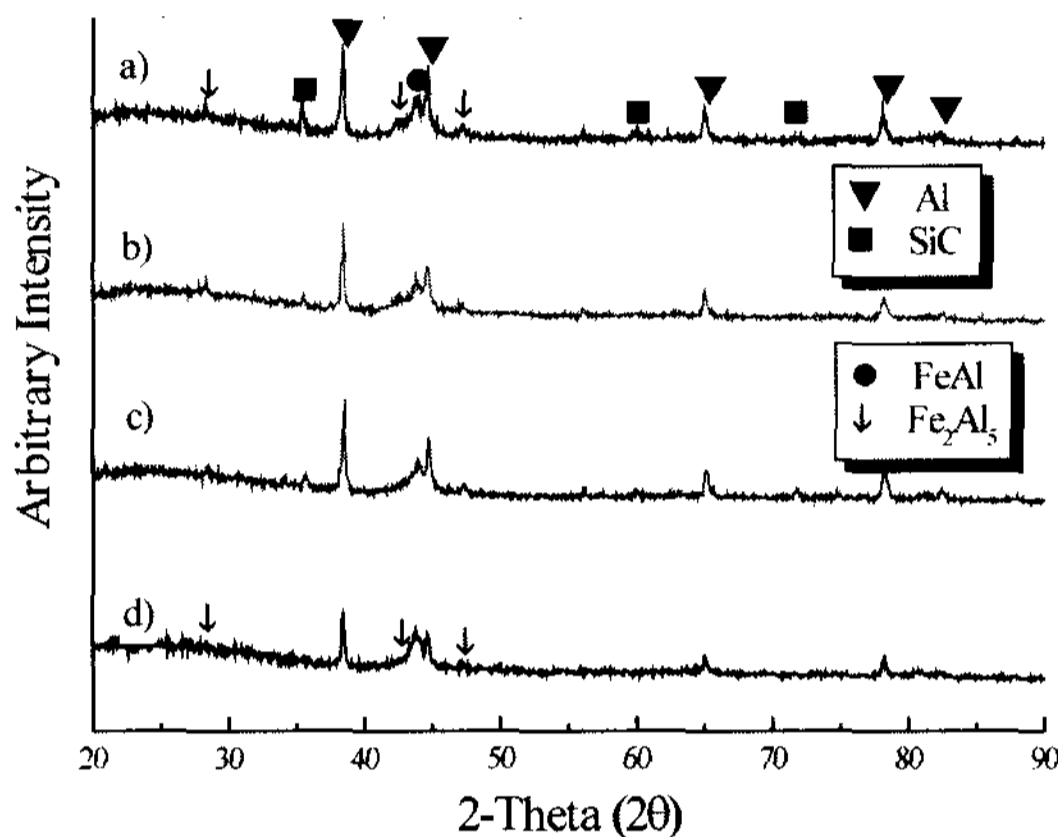


Fig. 11. XRD results of wear debris obtained at the given testing conditions.(contact pressure 1.5 MPa, sliding distance 400 m, sliding velocity 1.0 m/s) : (a) Fe-60Al-4wt.%SiC_p, (b) Fe-60Al-8wt.%SiC_p, (c) Fe-60Al-16wt.%SiC_p and (d) Fe-60Al-24wt.%SiC_p.

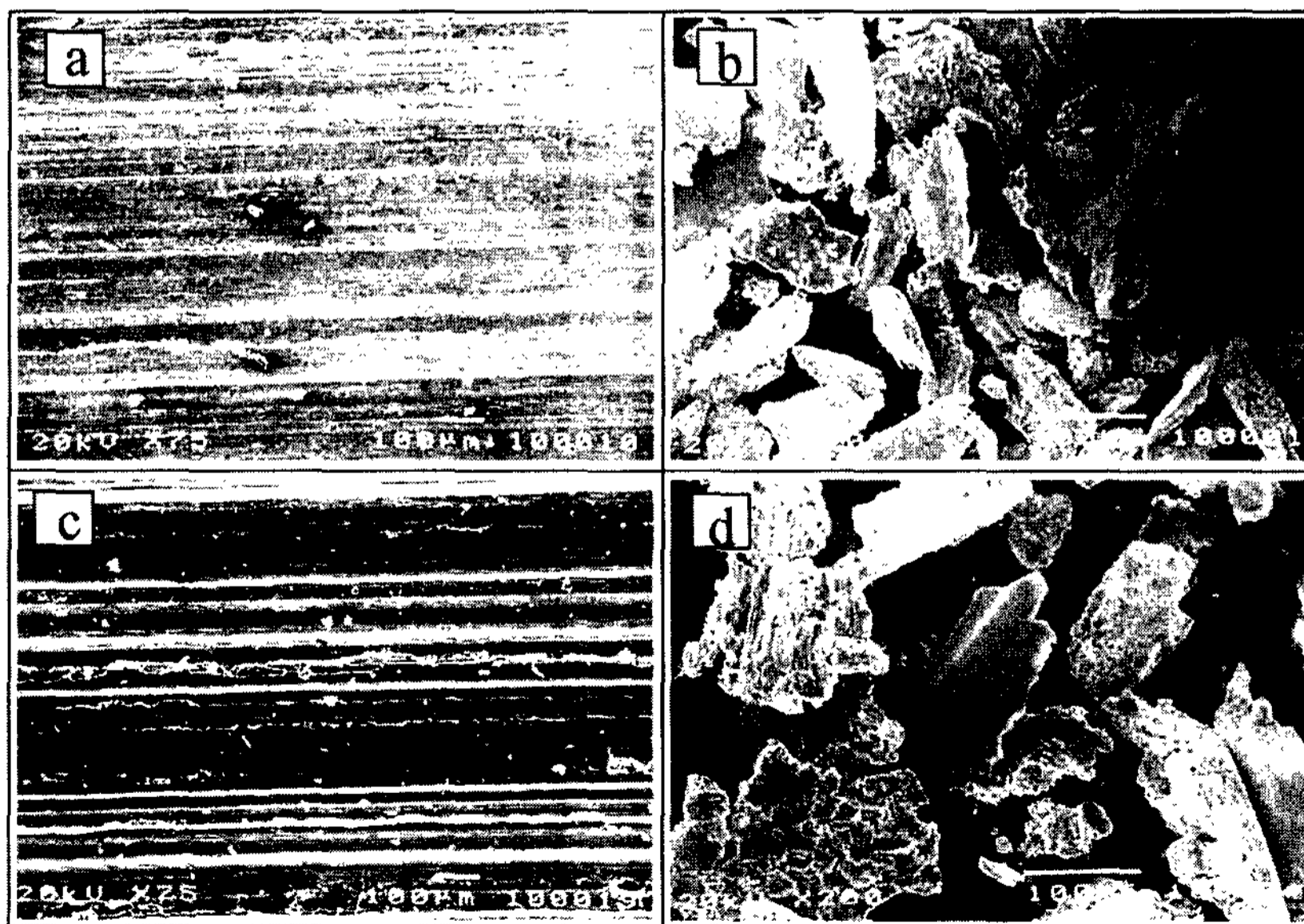


Fig. 10. SEM micrographs of wear surfaces and wear debris of Fe-60Al-Ni-P coated 16wt.% SiC_p with various sliding velocities at the given testing conditions.(contact pressure 1.5 MPa, sliding distance 400 m) : (a)(b) 1.0 m/s and (c)(d) 2.0 m/s.

및 24 wt.% 첨가한 복합재를 접촉압력 1.5 MPa, 마찰 속도 1 m/s, 마찰거리 600 m로 마모시험한 후 얻어진 마모분의 XRD결과를 나타낸다. 여기서 SiC입자를 4 wt.% 첨가한 (a)에서는 SiC, Al이 주로 나타나나 FeAl, Fe₂Al₃도 약하게 나타나고 있고, SiC입자의 첨가량이 증가하면 SiC 피크의 강도가 약해지는 경향을 보이고 있다. 상기 결과와 기 보고한 복합재의 SiC입자의 첨가량에 따른 XRD결과[5]를 비교해보면 생성상은 일치하나 SiC 피크가 반대의 경향을 나타내고 있는데 이는 SiC입자의 첨가량이 증가할수록 마모량이 감소하기 때문에 SiC 피크의 강도가 감소하는 것으로 생각된다.

4. 결 론

Fe와 Al분말, 피복처리 한 SiC입자 또는 비피복 SiC입자를 사용하여 반응소결법으로 제조한 iron aluminide와 SiC입자로 된 예비성형체에 Al-Si7Mg합금 용탕을 주입하고 용탕단조하여 제조한 복합재료의 마모시험결과를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 복합재의 미세조직은 iron aluminide상, Al-Si7Mg합금기지 및 이 기지조직내에 SiC 입자가 균일하게 분포된 조직을 나타냈으며, 생성된 iron aluminide 상은 주로 FeAl과 Fe₂Al₃의 두상이 혼재하였고, 약간의 FeAl₂가 존재하였다. 그리고 SiC입자의 첨가량이 증가함에 따라 기지조직의 면적률은 증가하고 상대적으로 iron aluminide의 면적률은 감소하였다.

2. 내마모성에 미치는 마모시험조건의 영향으로 접촉압력에 따른 마모량의 영향은 Cu 및 Ni-P를 피복한 SiC입자를 첨가한 복합재는 모두 접촉압력이 증가함에 따라 거의 비례적으로 증가하였으며, 비피복 SiC를 첨가한 복합재는 Cu 또는 Ni-P를 피복한 SiC를 첨가한 복합재와 유사한 경향을 나타냈다. 그리고 마찰속도에 따른 마모량의 변화는 Cu 또는 Ni-P를 피복한 SiC입자를 첨가한 시편의 경우 SiC입자의 첨가량에 관계없이 마찰속도의 증가에 따라 증가하다가 2 m/s에서 최고치를 나타낸 후 2.5 m/s에서 감소하는 경향을 나타내었고, 비피복 SiC입자를 첨가한 시편의 경우도 Cu 또는 Ni-P를 피복한 SiC를 첨가한때와 유사한 경향을 나타냈다.

3. 내마모성에 미치는 SiC 입자의 첨가량의 효과는

비피복 SiC입자를 첨가한 복합재의 경우 Fe와 Al분말의 혼합비와 관계없이 SiC입자의 첨가량이 증가할수록 마모량이 거의 비례적으로 감소하였으며 SiC입자의 첨가량이 24 wt.%일 때가 가장 적었다. Fe-60Al에 Cu를 피복한 SiC입자를 첨가한 복합재의 경우 SiC입자의 첨가량에 따른 변화는 마찰속도가 1 m/s로 일정한 경우 접촉압력에 관계없이 8 wt.% 이하 첨가한 때보다 16 wt.%SiC 이상을 첨가한 때가 더 낮은 값을 나타냈으며, 접촉압력이 일정한 때 마찰속도에 관계없이 SiC입자의 첨가량이 증가할수록 거의 비례적으로 마모량이 감소하는 경향을 나타냈고, Ni-P를 피복한 SiC입자를 첨가한 복합재는 Cu를 피복한 SiC를 첨가한 경우와 유사하였다.

4. 내마모성에 미치는 피복의 효과는 접촉압력, 마찰 속도 및 SiC 입자의 첨가량에 관계없이 Cu 또는 Ni-P피복 SiC입자를 첨가한 복합재가 비피복 SiC입자를 첨가한 복합재에 비해 전반적으로 마모량이 더 낮은 값을 나타내었고, 기지재인 Al-Si7Mg합금에 비해 금속간화합물상만을 강화상으로 한 복합재, 비피복 SiC입자를 첨가한 복합재, 피복 SiC입자를 첨가한 복합재 순으로 내마모성이 증가되었다.

후 기

이 논문은 2000년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음.

참 고 문 헌

[1] X. Q. Wang, G. Fair and J.V. Wood : Powder Metall., "Influence of Nickel on Reactive Sintering of Iron-Aluminium Intermetallics", 36(1993), 187-192.
 [2] B. H. Rabin, R. N. Wright and J. R. Knibloe : Mater. Sci. Eng., "Reaction Processing of Iron Aluminides", A153 (1992), 706-711.
 [3] R. L. Joslin, D. S. Easton, C. T. Liu and S. A. David : Mater. Sci. Eng., "Reaction Synthesis of Fe-Al Alloys", A192/193(1995), 544-548.
 [4] A. Verma and J. D. Lebrat : Chemical Eng. Sci., "Combustion Synthesis of Advanced Materials", 47(1992), 2179-2914.
 [5] Dap-Chun Choi, Sung-Hyuk Park and Hyung-Gon Joo : J. of the Korean Foundrymen's Society, "Characteristic Evaluation of the Fe-Al Alloy Preform Fabrication by Reactive Sintering Process for the Al Matrix Composites", 19(1999), 493-500.

- [6] Sung-Joon Kim, Jae-Sang Cha and Dap-Chun Choi : J. of the Korean Foundrymen's Society, "Characteristic Evaluation of Iron Aluminide-Cu and Ni-P Coated SiC_p Preform Fabricated by Reactive Sintering Process", 22(2002), 42-48.
- [7] Chang-Ju Kim : Materials Testing, Hakmunsa, 393.
- [8] Keizo Nishida and Toshio Narita : J. of the Japan Institute of the Metal, "Some Observations on the Interdiffusion between Fe and Fe-Al Alloy", 35(1971), 269-276.
- [9] Kyun-Young Kim, Kyung-Ku Lee, Dap-Chun Choi and Doh-Jae Lee : J. of the Korean Foundrymen's Society, "A Study on Wetting Behavior of Al-Coated SiC_f Composite", 14(1994), 274-283.
- [10] A. T. Alpas and J. Zhang : Wear, "Effect of SiC Particulate Reinforcement on the Dry Sliding Wear of Aluminium-Silicon Alloys", 155(1) (1992), 83-104.