

||||| 論 文 |||||
||||| |||||

가압연속주조법에 의한 SiCp/Al 합금기 복합재료의 조직 및 특성

이 학 주*, 홍 준 표**

Microstructure and Characteristics of SiCp/Al-4.5wt%Cu-1wt%Mg Composites by Pressurized Continuous Compo-Casting

Hak-Joo Lee*, Chun-Pyo Hong**

Abstract

Microstructure and characteristics of the SiCp/Al-4.5wt%Cu-1wt%Mg composites fabricated by the combination of the compocasting and the pressurized continuous casting process, which is one of the processes to decrease the limitations of the size, and shape of the products, are investigated.

The main results are as follows:

- 1) the SiCp /Al alloy matrix composites can be made continuously
- 2) as the amount of SiCp addition increases;
 - (1) the degree of directional solidification of matrix structure decreases, and that of SiCp dispersion improves,
 - (2) wear resistance improves, and especially these composites show the excellent wear resistance under the high sliding speed and high final load condition,
 - (3) wear mechanism of these composites is changed from adhesive wear into abrasive wear, and the tendency of that becomes outstanding with increasing sliding speed.

1. 서론

금속기지와 SiC와 같은 세라믹 강화재를 복합화한 고강성, 고경도 및 고내마멸성의 금속기 복합재료의 연구 및 개발이 진행되면서 최근, 여러 가지 방법들에 의하여 입자강화형 복합재료의 제조가 활발히 시도되고있다.¹⁻⁵⁾

이들 방법중 주조방법은 다른 방법에 비하여 제조비가 저렴하며 제조공정이 간단하다는 장점 때문에 복합재료의 제조법으로 많은 주목을 받고있다. 그러나 이 방법은 제조과정중 기포생성, 강화재편석, 잔류응력 등⁶⁾의 해결해야할 문제가 많이 있으며 특히, 단속적인 batch 작업으로 인한 제

품의 크기, 형상 등이 많은 제약을 받고있다. 따라서 본 연구에서는 상기의 단점을 보완하는 하나의 방법으로써 compocasting법⁷⁾과 가압연속주조법을 조합하여 SiC입자강화복합재료를 제조하고 제조된 시편의 미세조직 관찰, SiC입자와 기지금속간의 계면반응 및 내마멸성 등을 조사 분석하여 본 제조법의 타당성을 검토 하고자 한다.

2. 실험방법

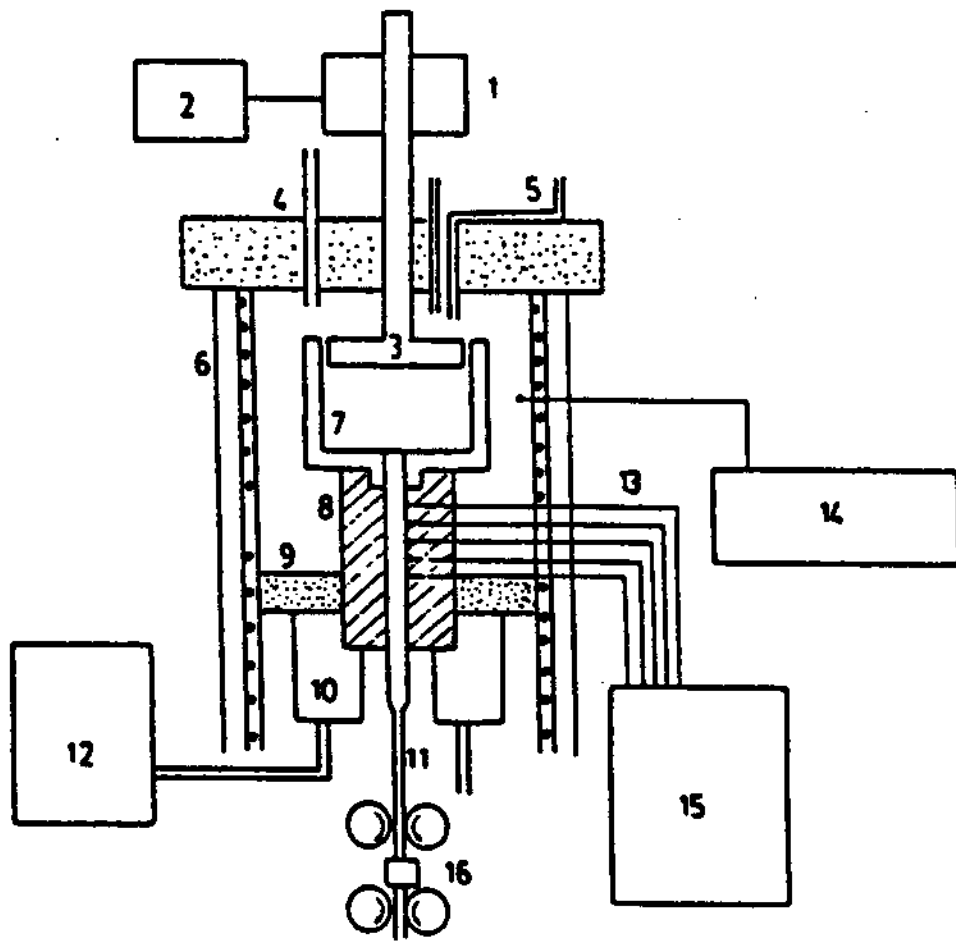
2.1 실험장치

본 실험에서 사용한 가압연속주조 장치를 Fig.1에 나타낸다.

본 장치는 전기로내에 턴디쉬, 흑연주형 및 가

*동명전문대학 금속공학과(Dongmyung Junior College)

**연세대학교 금속공학과(Dept. of Metallurgical Engr., Yonsei University)



- 1 A.C motor
- 2 Motor controller
- 3 Ram
- 4 Ar gas inlet
- 5 Pouring cup
- 6 Heater
- 7 Turn dish
- 8 Graphite mold
- 9 Baffle
- 10 Water jacket
- 11 Dummy bar
- 12 Water cooling system
- 13 Thermocouples
- 14 PID controller
- 15 Temp. recorder
- 16 Pinch roll

Fig.1. Schematic diagram of experimental apparatus for continuous compo-casting.

압장치가 설치되어있고, 주형의 하단부는 수냉장치 및 dummy bar가 설치되어 있다. 이때 주형의 표면은 Cu로 도금하여 실험도중 흑연의 산화를 방지하였다. 수차에 걸친 예비실험을 통하여 실험 조건을 설정한 후 전기로 상부의 주입구를 통하여 액상의 복합재료를 턴디쉬에 주입하고 턴디쉬에 삽입된 가압장치를 하강시켜 액상의 복합재료를 흑연주형내에서 연속적으로 주조하였다.

Fig.2는 본 실험에서 측정된 전형적인 흑연주형의 온도구배를 나타낸 것이다.

Dummy bar직상에 응고점을 유지시킴으로서 시편제조시 턴디쉬내에서의 응고 및 break out 현상을 방지하였다.

2.2 시료준비

공업용 순 알루미늄(순도 99.7%), 전해동(순도 99.8%), 공업용 순 마그네슘(순도 99.5%)을 고주파 유도로에서 Al-4.5wt%Cu-1wt%Mg의 모합금으로 제조하여 기지금속으로 선택하고, 강화재

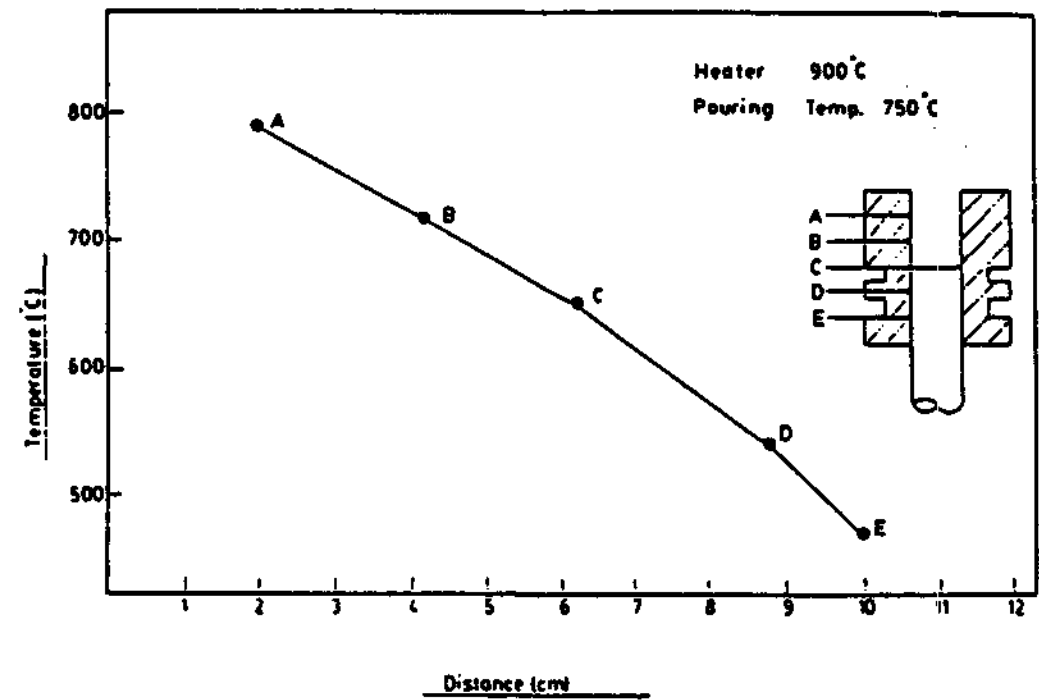


Fig.2. Temperature distribution along the mold length.

는 SiC입자를 선택하였다. Table 1 및 Photo.1은 각각 본 실험에서 사용된 기지금속의 조성 및 SiC입자의 형상을 나타낸다.

먼저 모합금을 교반장치가 부착된 도가니형 전기로에 장입하여 약 750°C에서 용해하고 탈gas제(C₂Cl₆)를 첨가하여 용탕표면에 부유된 slag를 제거한 후 Ar gas분위기에서 impeller를 용탕에 침적시켜, 교반(400rpm)하면서 용탕의 온도를 640°C 까지 하강시켜 slurry상태로 유지시켰다. SiCp는 초음파 세척기를 사용하여 acetone으로

Table 1. Chemical composition of matrix alloy(wt%).

Nominal composition	Cu	Mg	Fe	Si	Mn	Al
Al-4.5wt%Cu-1wt%Mg	5.62	0.92	0.15	0.13	<0.05	bal

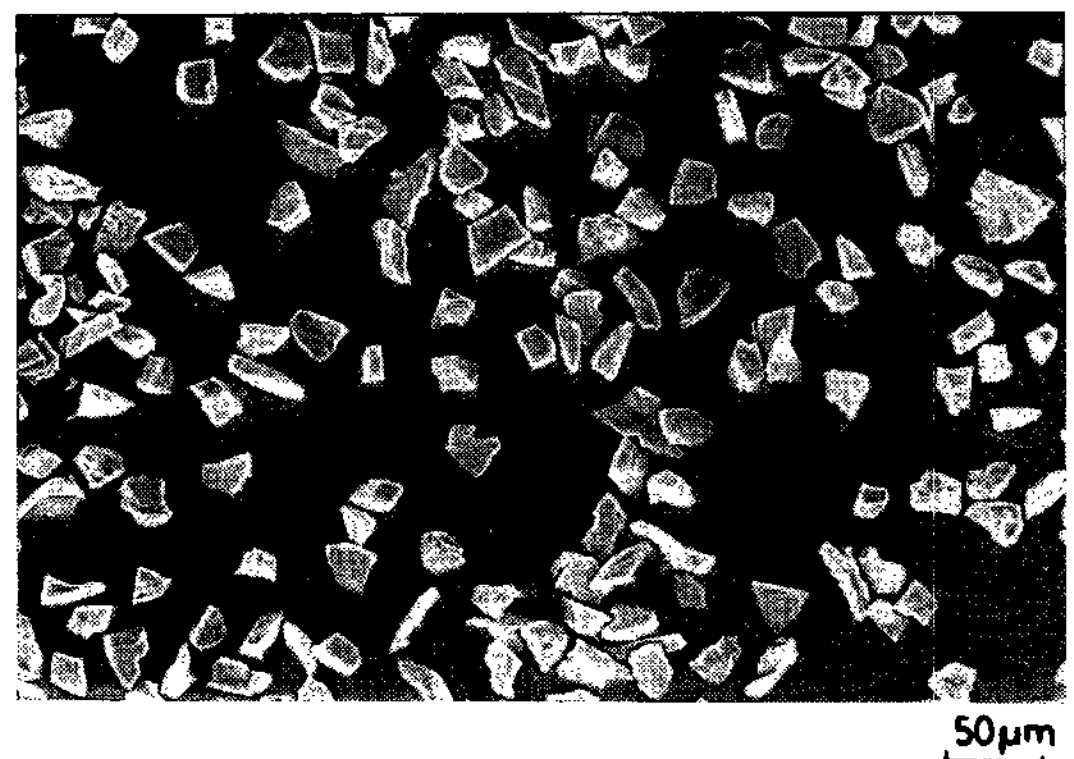


Photo.1. SEM micrograph showing the morphology of SiC particles.

세척하고 100℃에서 완전히 건조한 후 640℃로 유지된 slurry상태의 용탕에 소량(2-3g)씩 분할하여 소정 조성까지 첨가하였다. SiCp의 첨가가 완료된 후에도 균일한 분산을 위하여 30분 동안 계속 교반을 행하였다. 이렇게하여 제조한 slurry상태의 복합재료를 750℃에서 재용해 시킨 후 가압연속주조장치에 장입하여 SiCp강화복합재료를 연속주조하였다. 이때 가압장치의 하강속도는 5mm/sec이며 제조된 시편은 ϕ 12mm, L 300mm 이다. Photo.2에 연속주조된 시편의 형상 및 크기를 나타낸다.

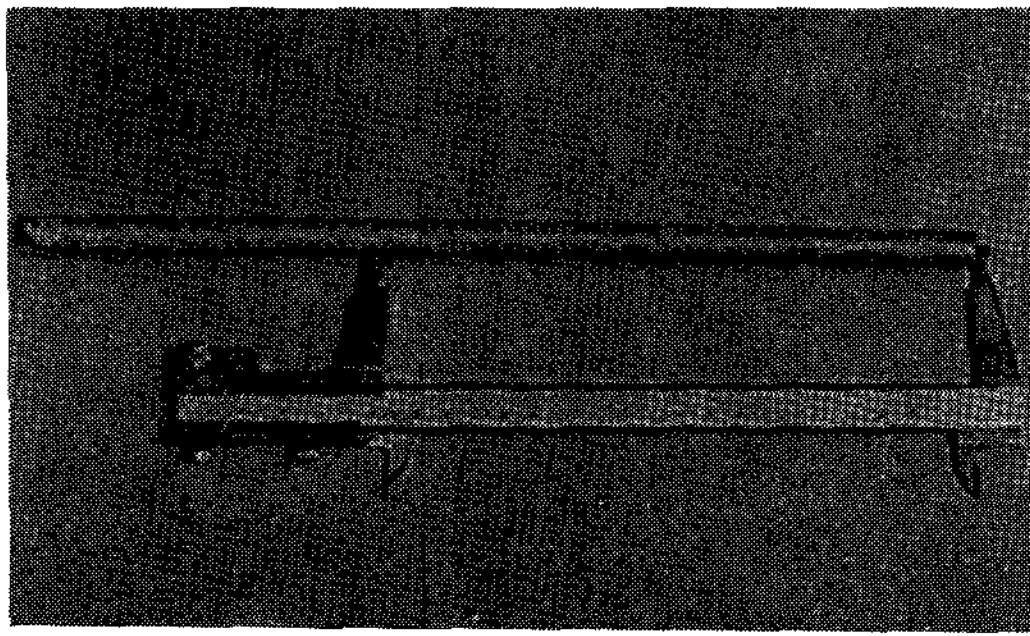


Photo.2. The morphology and the size of SiCp/Al-4.5wt%Cu-1wt%Mg composite.

2.3 미세조직 및 계면분석

미세조직은 시편을 0.5% HF수용액으로 부식시킨 후 광학현미경으로 관찰하였으며 계면분석은 EDS로 SiCp주위를 선분석하여 Al, Si, Cu 및 Mg 등의 농도변화를 관찰하였다.

2.4 마멸시험

마멸시험은 OKOSHI type 고속마멸시험기⁸⁾를 사용하였으며 마멸시험의 상대재질은 S45C로써 800℃에서 1시간 동안 용체화처리를 하여 사용하였다. 이때 마멸조건은 (final load : 2.1kg, sliding distance : 600m) sliding speed : 1.14, 1.98, 4.37m/sec 및 (sliding speed : 1.98m/sec, sliding distance : 600m, final load : 2.1, 3.2, 6.4kg)이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 연속주조시의 미세조직

Photo.3은 연속주조시의 SiCp 강화 복합재료

의 응고조직을 나타낸 것이다. (a)는 기지금속, (b), (c)는 각각 SiCp의 첨가량이 7.0, 13.3 vol%인 경우이며 좌측은 횡단면, 우측은 종단면 조직을 나타낸다. 기지금속의 경우에는 초정Al이 수지상정으로 조대하게 일방향으로 정출되어 있다. 그러나 SiCp의 첨가량이 증가함에 따라 일방향으로의 응고경향은 감소되며, Al초정이 미세하게 정출되어 있다.

기지금속의 경우에는 연속주조에 의한 일방향의 heat flow 및 낮은 응고속도로 인한 원자의 충분한 확산 때문에, 조대한 수지상정이 일방향으로 응고되었다고 생각된다. 그러나 SiCp를 첨가한 경우에는 SiCp의 첨가량이 증가함에 따라 용탕의 유동성이 저하되고, 액상내에 고상의 SiCp가 존재함으로써 원자들의 확산을 방해하며, SiCp의 낮은 열전도도로 인하여 일방향으로의 효과적인 heat sink가 되지않기 때문에 일방향의 응고경향이 감소된다고 생각한다.

Photo.4는 SiCp의 첨가량이 각각 1.7, 5.2, 7.0, 13.3 vol%인 시편의 미세조직이다. SiCp의 첨가량이 1.7 vol%일때는 입자가 조대한 결정입계에 존재하여 입자의 분산상태는 균일하게 나타나지 않지만, 입자의 첨가량이 증가함에 따라 입자가 미세한 결정입계에 존재함으로써 전체적으로 균일한 분산상태를 나타낸다.

SiCp의 첨가량이 적은 경우에는 생성된 결정핵이 조대하게 성장하면서 SiCp를 입계로 pushing²⁾한 결과로 생각되며, SiCp의 첨가량이 많은 경우에는 입자사이에서 생성된 결정핵은 SiCp의 초정성장방해효과 때문에 성장이 완료된 후에도 미세한 결정립으로 정출됨으로서, SiCp를 입계로 pushing 하여도 입계에 존재하는 SiCp는 균일하게 분산된다고 생각된다.

3.2 SiCp-기지금속사이의 계면분석

본 연구에서 제조된 SiCp복합재료의 계면결합성을 조사하기 위하여 SiCp주위의 계면을 EDS로 선분석하고, 시편의 파단면을 SEM으로 관찰하여 그 결과를 각각 Fig.3 및 Photo.5에 나타낸다.

Fig.3의 (a)는 SiCp주위의 SEM조직이며 (b), (c), (d), (e)는 각각 Al, Si, Cu 및 Mg의 농도변화를 나타낸 것이다. SiCp주위의 계면에서 Si, Cu, Mg의 peak를 관찰할 수 있다. Si peak는 시편 제조중 SiCp의 분해⁹⁾에 의하여 생성된 Si가 계면에 편석된 결과로 생각되며, Cu peak는 응고

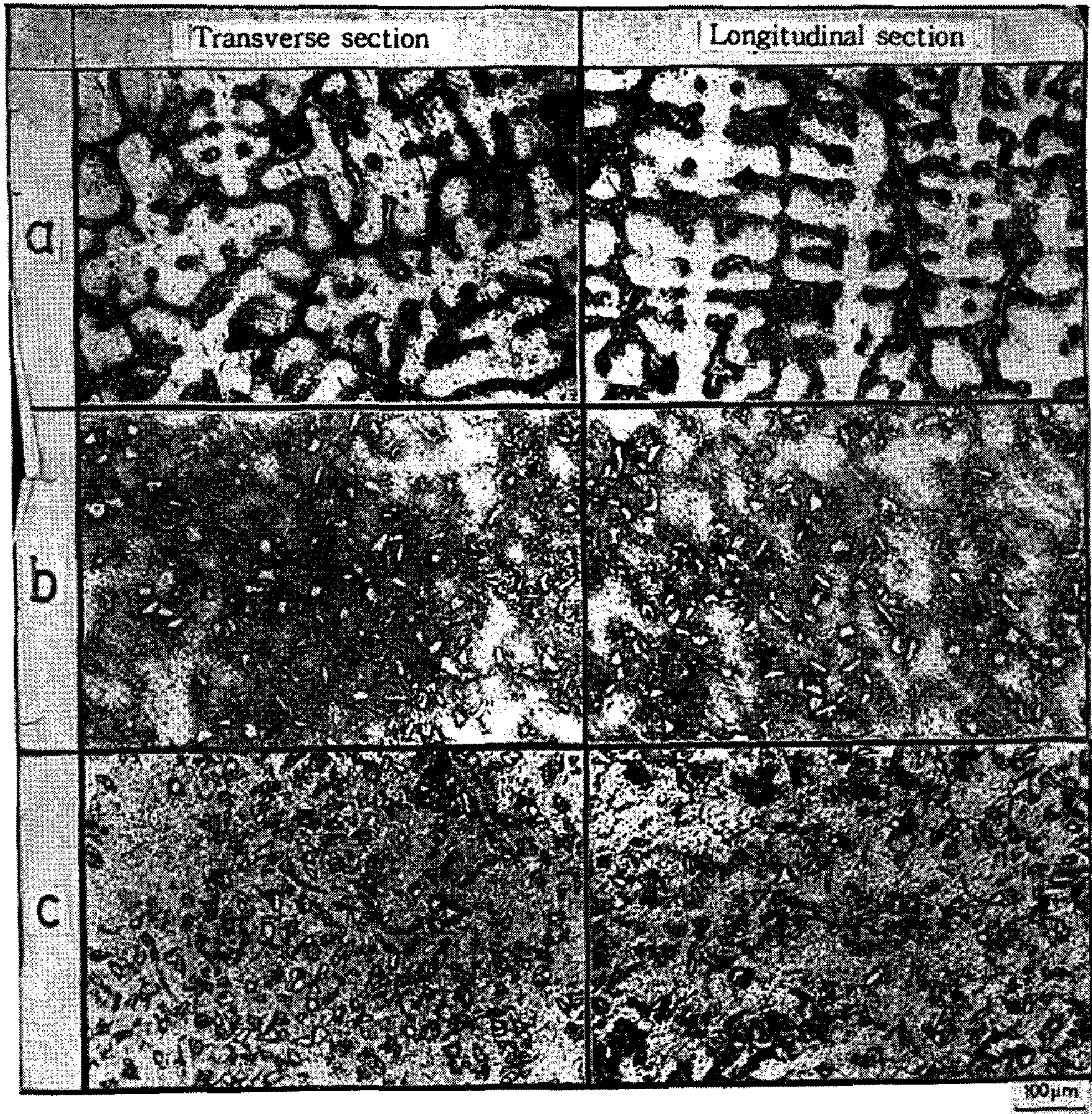


Photo.3. Microstructure of SiCp / Al-4.5wt% Cu-1wt%Mg composites.
 a : matrix alloy, b : 7.0 vol% SiC, c : 13.3 vol% SiC



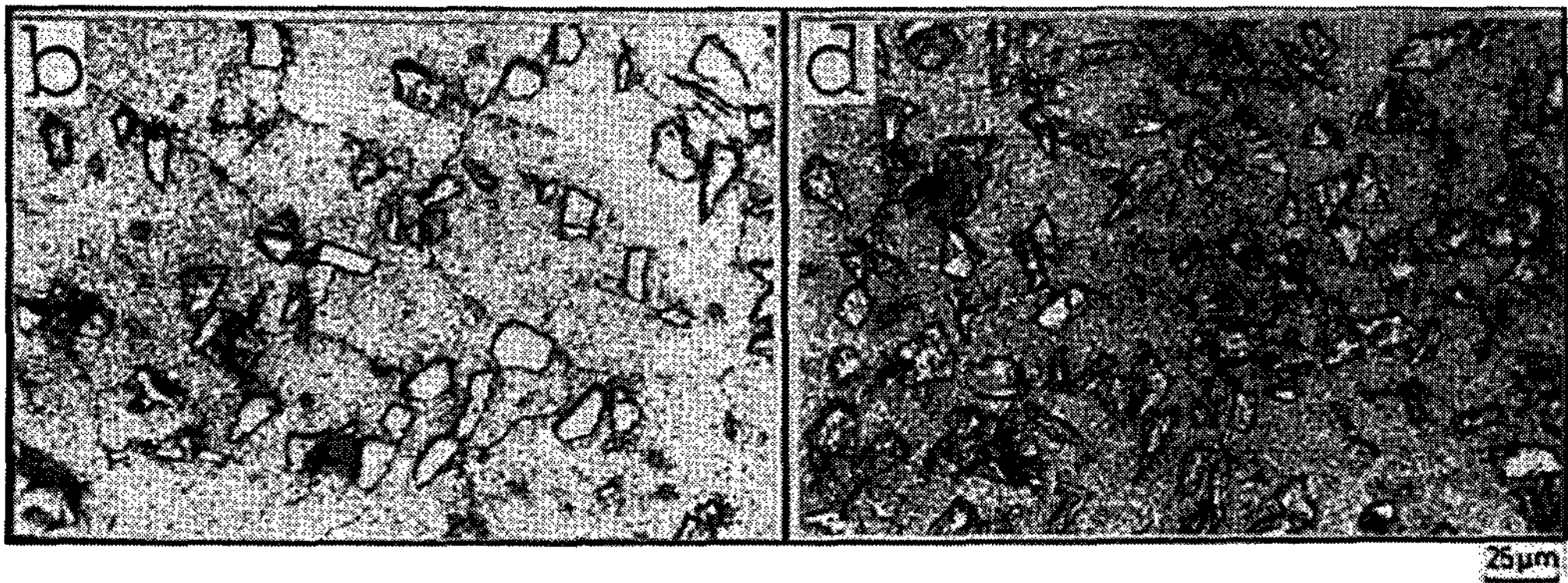
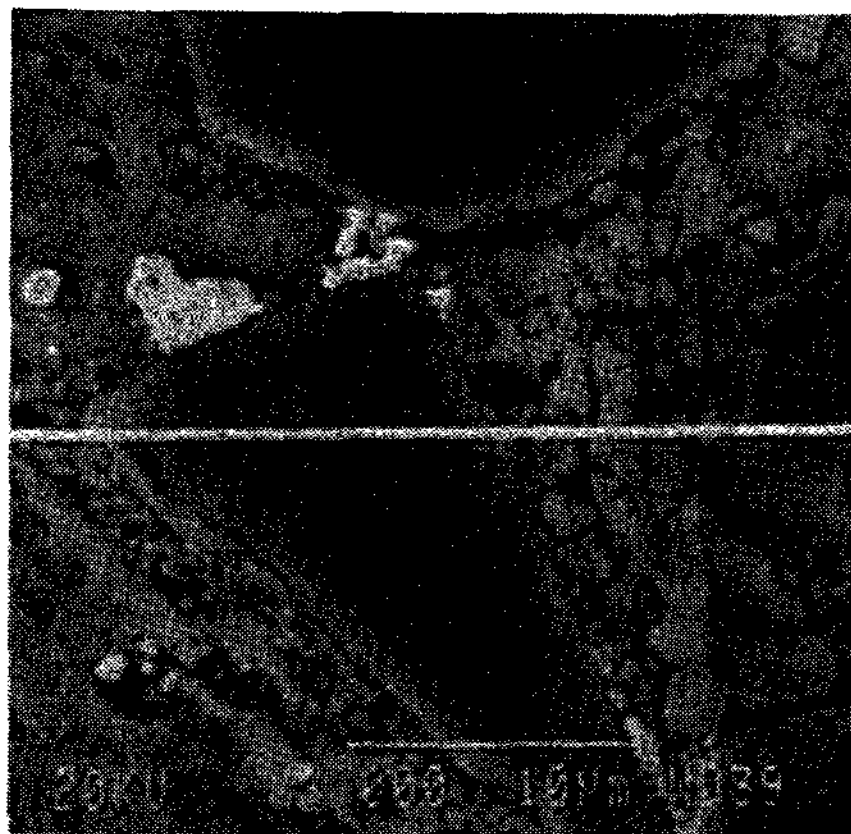


photo.4. Microstructure of SiCp / Al-4.5wt% Cu-1wt%Mg composites.

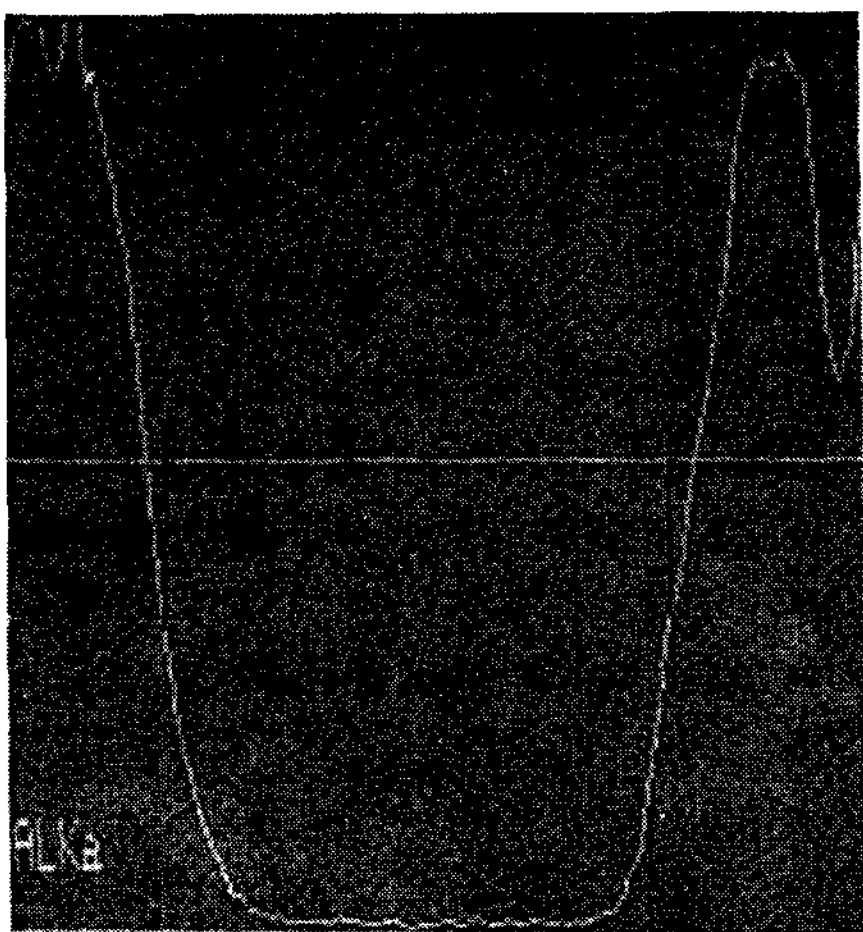
(Transverse section)

(a) : 1.7 vol% SiC, (b) : 5.2 vol%SiC,

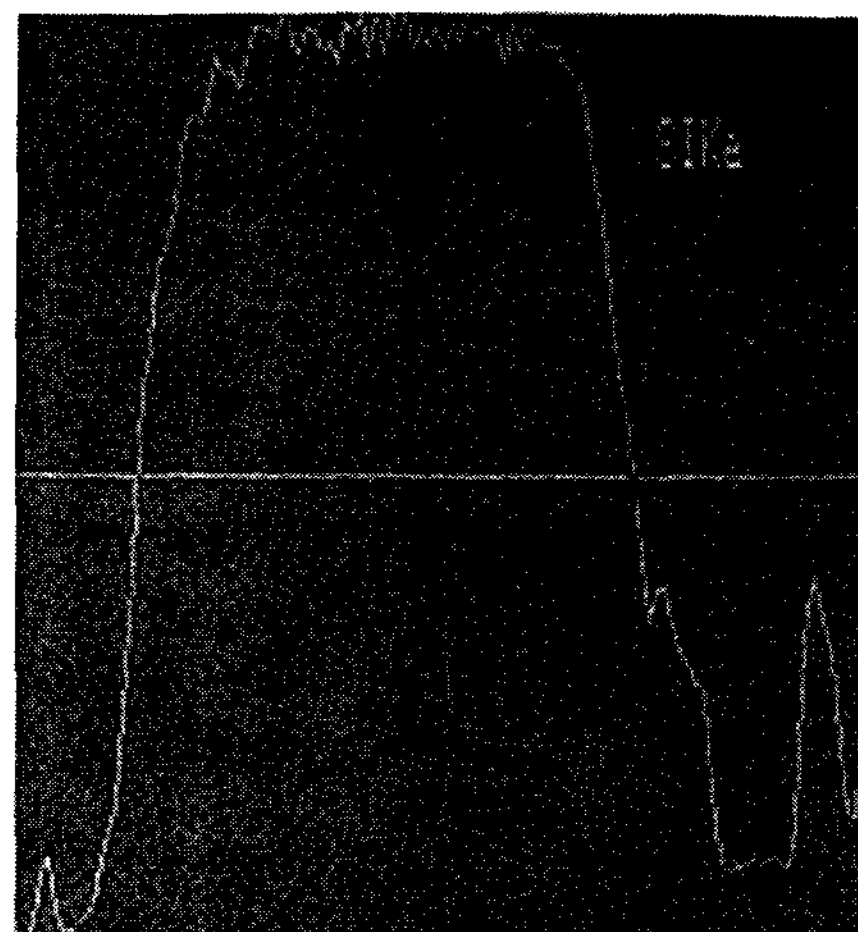
(c) : 7.0 vol% SiC, (d) : 13.3 vol% SiC



(a)



(b)



(c)

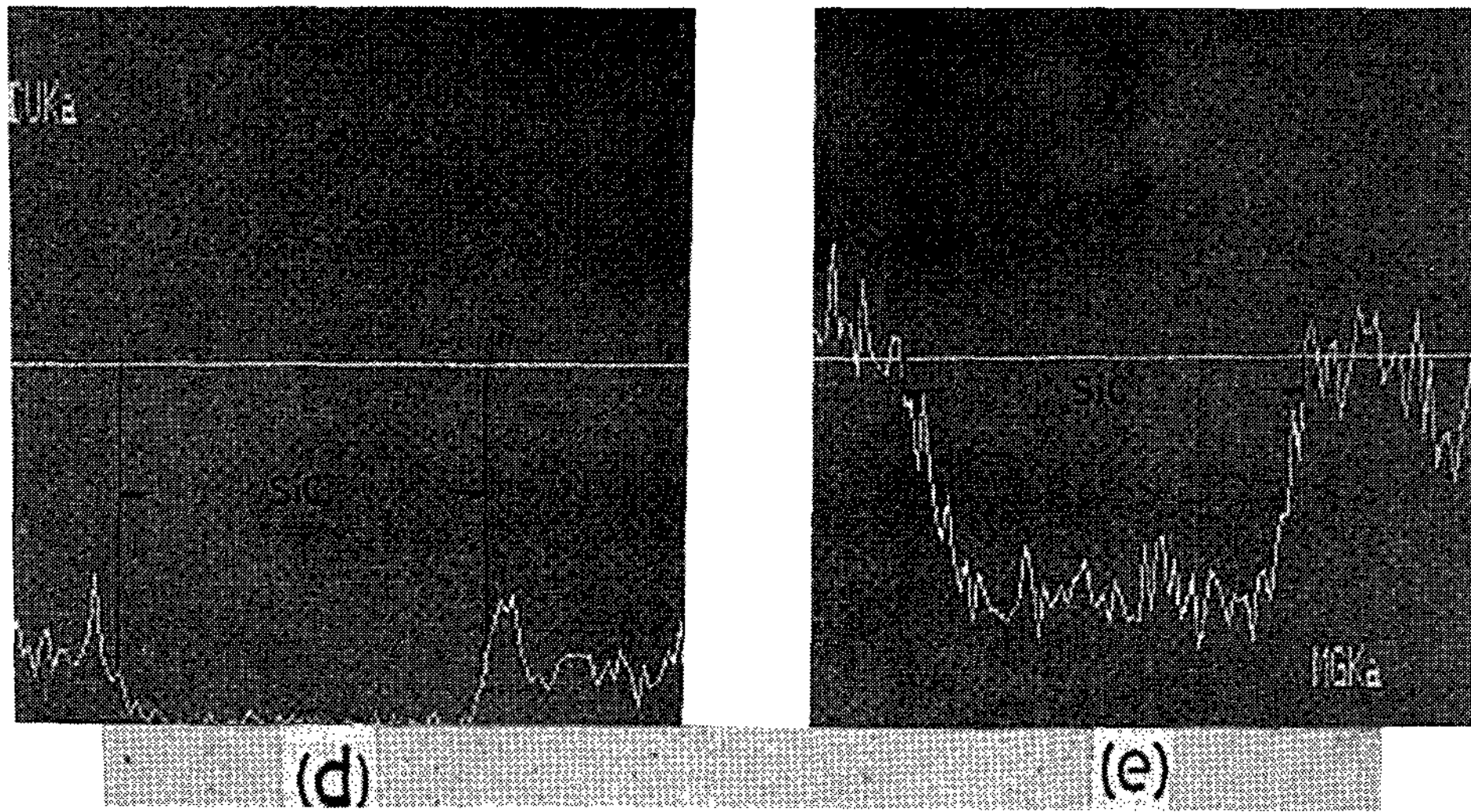


Fig.3. Line profile analysis(EDS) across the interface of SiCp /Al-4.5wt%Cu-1wt% Mg composite.
 (a) : SEM micrograph (b) : Al profile
 (c) : Si profile (d) : Cu profile (e) : Mg profile

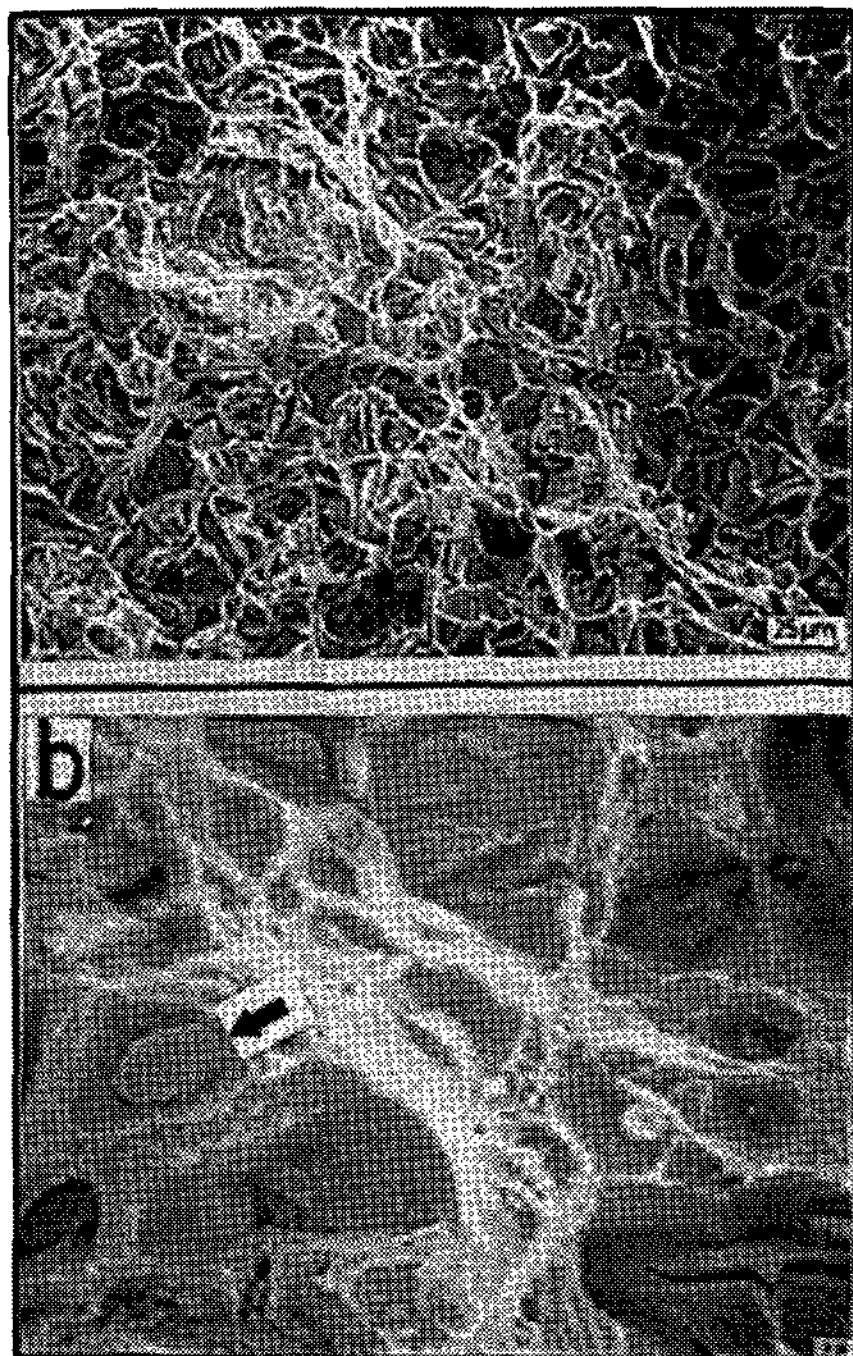


Photo.5. SEM micrograph showing the fracture surface of SiCp /Al-4.5wt% Cu-1wt% Mg composite. (10.6 vol%SiC)

가 낮은 SiCp계면에 용점이 낮은 Cu rich liquid가 이동하여 최종 응고한 결과¹⁰⁾로 생각된다.

또한 Mg peak는 낮은 계면에너지를 갖는 Mg가 SiCp계면 주위로 이동하여 계면에너지를 낮춘 결과¹¹⁾로 생각된다. 따라서 본 연구에서 제조된 복합재료의 SiCp계면 주위에는 Al-(Cu,Mg,Si) 화합물^{9) 12)}이 형성되었음을 추측할 수 있다.

Photo.5는 SiCp와 기지금속사이의 계면결합성을 조사하기 위하여 SiCp가 10.6 vol%첨가된 시편의 파단면을 SEM조직으로 나타낸 것이다. 파단면은 dimple형상으로 관찰됨으로 연성파괴되어 양호한 계면결합상태를 이룬다는 것을 확인할 수 있다.

이는 기지금속과 SiCp사이의 계면에 화합물이 형성된 결과로 생각되며, EDS분석결과로 설명할 수 있다.

3.3 내마멸성

마멸하중 2.1Kg, 마멸거리 600m에서 SiCp강화복합재료의 비마멸량에 미치는 마멸속도 및 SiCp첨가량의 영향을 조사하여 Fig.4에 나타낸다. SiCp의 첨가량이 증가할수록 비마멸량이 감소하여 우수한 내마멸성을 나타내며, 마멸속도가 증가할수록 비마멸량이 감소하며 SiCp의 첨가량이 증가할수록 감소의 경향이 더욱 현저하다.

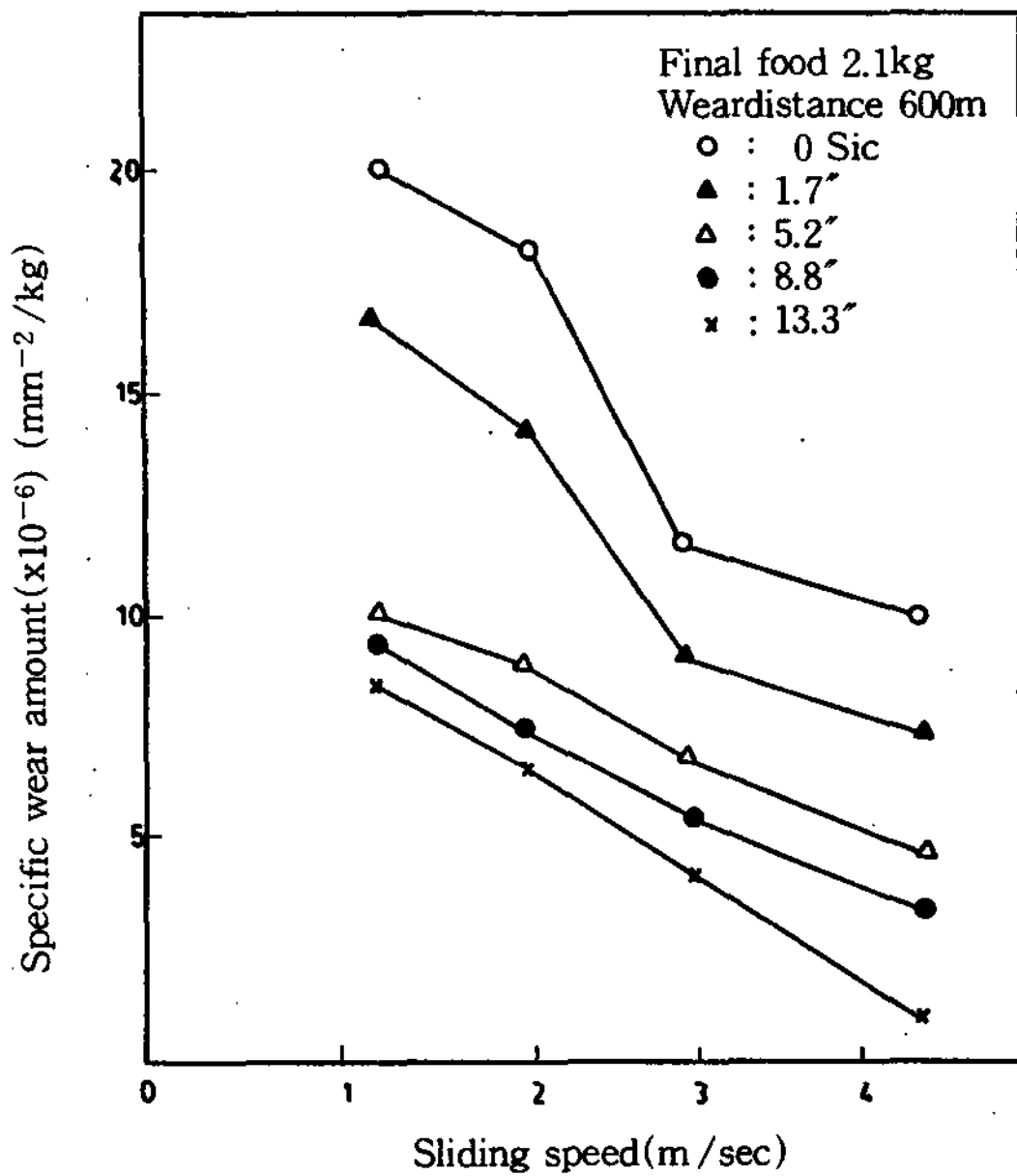


Fig.4. Effect of the siliding speed on the specific wear amount.

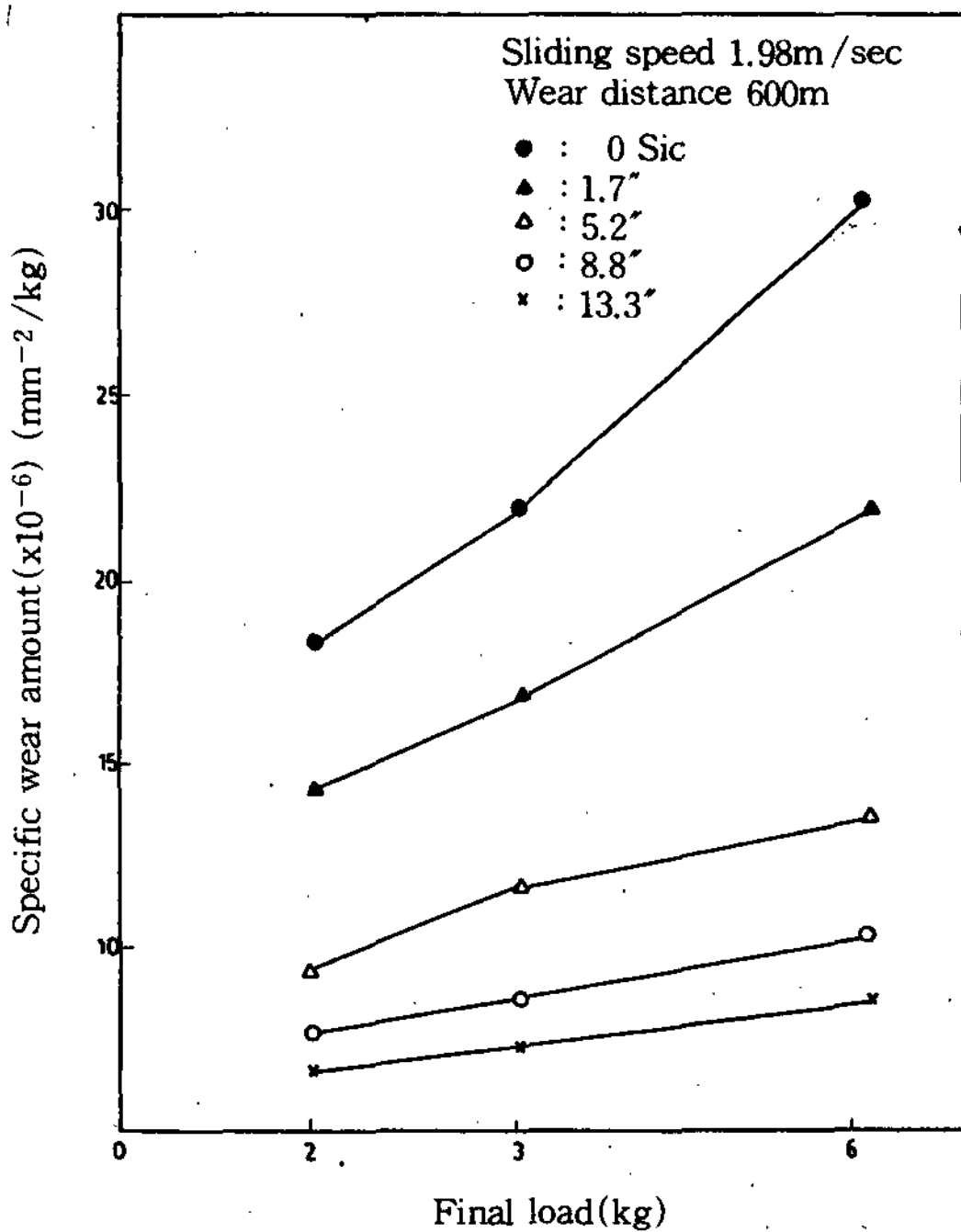


Fig.5. Effect of the final load on the specific wear amount.

마멸속도 1.98m/sec, 마멸거리600m에서 SiCp 강화복합재료의 비마멸량에 미치는 마멸하중 및 SiCp첨가량의 영향을 조사하여 Fig.5에 나타낸다. 마멸하중이 증가함에 따라 비마멸량은 증가하지만 SiCp의 첨가량이 증가할수록 비마멸량의 증가의 경향은 현저히 감소한다.

이것은 SiCp가 첨가되면 재료의 경도증가와 더불어 경질의 SiCp돌기에 의하여 상대재질의 마멸도 커지기 때문에 비마멸량이 감소한다고 생각되며, 다량의 SiCp를 첨가한 복합재료는 고속, 고하중 마멸시에 내마멸재료로서 크게 기대된다. SiCp강화복합재료의 마멸기구를 규명하기 위하여 마멸면을 SEM으로 관찰하여 대표적인 마멸면을 Photo.6에 나타낸다. 기지금속 및 SiCp를 각각 8.8, 13.3 vol%첨가한 경우로써 A, B는 각각 마멸속도가 1.98, 4.37m/sec 경우이다. 기지금속의 경우에는 마멸속도의 대소에 관계없이 마멸면에서 ploughing 및 plastic flow현상을 관찰할 수 있으므로 응착마멸¹³⁾(adhesive wear)기구에 의하여 마멸이 진행됨을 알 수 있다. 그러나 SiCp의 첨가량이 증가함에 따라 마멸면에는 점차 plastic flow 및 ploughing 현상은 감소되고, chipping 및 oxide층이 증가되어 응착마멸에서 연삭마멸¹⁴⁾(abrasive)로 마멸기구가 천이된다. 즉, 응착마멸의 경우에는 상대재질로의 금속응착에 따른 metallic wear량의 증가에 의하여 비마멸량이 크게 되며, 연삭마멸의 경우에는 마멸면에 존재하는 oxide 및 경질의 SiCp에 의하여 상대재질로의 metal transfer현상은 방해되어 비마멸량이 감소된다고 생각된다. 이것은 F.M.Hosking 등¹⁵⁾의 연구결과와도 일치하며, Fig.4, 5의 결과를 잘 설명해 주고 있다. 또한 마멸면에서 SiCp의 pull-out현상은 관찰되지 않는다. 이것은 기지금속과 SiCp사이의 결합성이 양호하며 마멸시험중 SiCp가 탈락되지 않고, 연질의 기지금속내로 밀려들어가거나 기지금속의 plastic flow에 의하여 SiCp가 기지금속으로 덮힌 결과로 생각되며 SiCp가 내마멸에 상당한 기여를 했다고 생각된다.

4. 결론

Compo-Casting법과 가압연속주조법을 조합하여 SiCp강화복합재료를 제조하고 제조된 시편의 특성을 조사 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

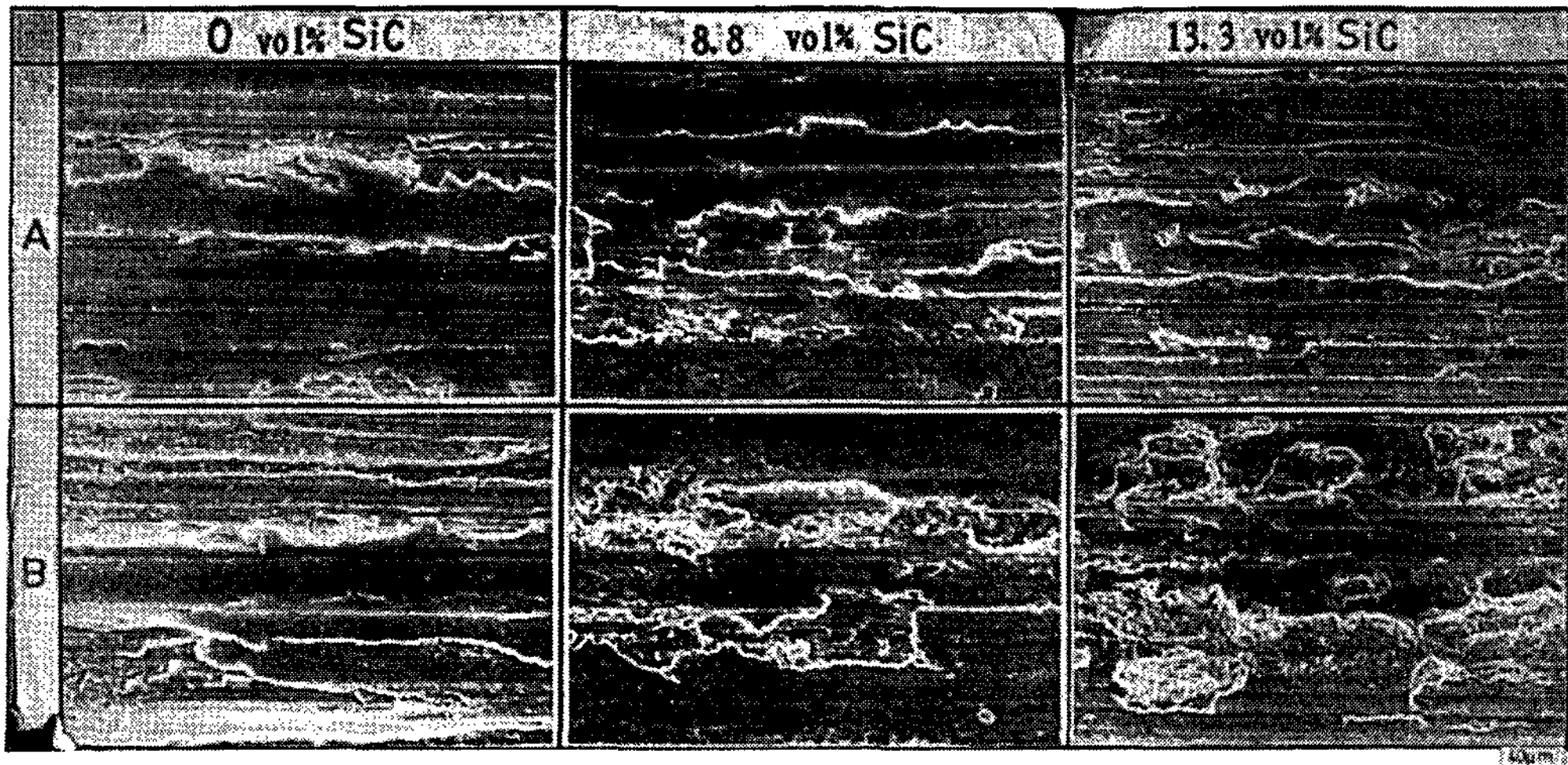


Photo.6. Worn surface of SiCp/Al-4.5wt% Cu-1wt%Mg composite.

(final load : 2.1Kg, sliding distance : 600m)

A : silding speed : 1.98m/sec, B : sliding speed : 4.37m/sec

1. 본 실험방법으로 제조된 SiCp강화복합재료는 입자분산성이 양호하며 pore도 감소되었다.
2. SiCp의 첨가량이 증가함에 따라, 조대한 수지 상정은 미세하게 정출하였으며 일방향 응고경향은 감소되었다.
3. SiCp의 첨가량이 증가함에 따라 내마멸성이 향상되었으며 특히 고속 고하중 마멸시에 내마멸성이 크게 향상 되었다.
4. SiCp의 첨가량이 증가함에 따라 응착마멸에서 연삭마멸로 마멸기구가 천이되었다.

참 고 문 헌

1. M.F.Amateau : J. of Composite Materials, 10(1976)279
2. A.Banerji, M.K.Surrpa and P.K.Rohatgi : Metall. Trans., 14B(1983)273
3. Deonath, R.T.Bhat, P.K.Rohatgi : J.of Mat. Sci., 15(1980)1241
4. R.B.Bhagat : Matll. Tran., 16A(1981)623
5. David L.Mcdanel : Metall. Trans., 16A (1985)1105
6. W.Johnson and S.K.Ghosh : J.of Mat.Sci., 16(1981)285
7. C.Milliere, M.Suery : Materials Science and Technology, 4(1988)41
8. M.Okoshi, T.Sato and M.Mizuno : Report of Phys. and Chem. Inst., 31(1955)103
9. T.Iseki, T.Kameda and T.Maruyama : J.of Mat. Sci., 19(1984)1692
10. A.Mortensen, M.N.Gungor, J.A.Cornie and M.C.Flemings : Journal of Metals, March(1986)30
11. J.N.Clark, R.Eliott : Metall. Trans., 7A (1976)1197
12. R.W.Kraft, D.L.Alberght : TMS-AIME, 221(1961)95
13. R.Holm : Electric contacts, Hugo Gebers Forlag(1964)168
14. E.Rabonnowicz : Friction and wear of materials(1965)168
15. F.M.Hosking, F.Folgarportillo and R. Wunderlin : J.of Mat.Sci., 17(1982)477