

용탕 단조법에 의한 AC4A/SiC_w 복합재료 제조에 관한 연구 (I)

문 경 철 · 이 준 희*

대한알루미늄공업(주)
*동아대학교

Fabrication of AC4A/SiC_w composite by squeeze casting (I)

Kyung Cheol Moon, Jun Hee Lee

Aluminium of Korea Ltd.

*Dong-A University

초 록 최근 선진국에서 강화되고 있는 CAFE(Corporate Average Fuel Economy : 기업평균연비) 규제를 극복하기 위해서는 차량의 경량화가 필수적이며 이를 위해 기존의 금속재료에 비하여 비강도, 탄성계수, 인성등이 우수한 기계적 성질을 가지면서 고분자 기지의 복합재료에 비해서 고온강도, 전기 및 열전도도와 내마모성이 우수한 금속기지 복합재료의 개발은 필수적이라고도 중요한 위치를 차지한다. 따라서 본 연구에서는 자동차용 부품재 및 일반산업용 재료로 사용되고 있는 AC4A Al합금에 SiC_w preform을 용탕 단조법으로 강화하여 복합재료를 제조한 후 matrix와 함께 기계적성질, 마멸특성, 조직실험을 행한 결과 용탕 단조법에 의한 AC4A/SiC_w 복합재료의 최적 제조조건은 용탕온도 800°C, 금형온도 400°C, preform 온도 750~800°C, 가압압력 75MPa이었으며 SiC_w강화재가 I/M재에 비하여 정도값은 두배이상으로 상승하였고 SiC_w 20v/o에서는 가압에 의한 큰 효과는 없었다.

Abstract A fabrication process for SiC whisker preform reinforced AC4A Al composites is being developed. The Al alloy used as the matrix in this study is AC4A. SiC whisker preform made by Tokai Carbon Co. Ltd. Shizuoka, Japan were used.

These consisted of β -type single crystals 0.1~10 μ m in diameter and 20~100 μ m in length.

The most adequate fabrication condition was that whisker preform was preheated up to 750~800°C, set into a mould preheated to ~400°C, molten Al alloy heated to ~800°C and applied pressure 75MPa.

And SiC_w reinforced AC4A composite was advanced above twice than AC4A I/M.

Also it was not large effect by pressure at SiC_w 20v/o.

1. 서 론

최근 우주항공 재료와 자동차용 부품 재료의 고강도 경량화에 관심이 높아지면서 Al합금 기지의 복합재료에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다^{1~5)}.

금속기지 복합재료는 기존의 금속 재료에 비하여 비강도, 탄성계수, 인성등이 대폭 향상된 기계적 성질을 가지고 고분자 기지의 복합재료에 비하여 고온강도, 전기 및 열전도도와 내마모성이 뛰어나 자동차용 부품소재와 우주항공용 재료로 각광을 받고 있다. 이러한 복

합재료에는 크게 입자 분산강화와 섬유강화의 두가지로 나눌 수 있다.

섬유강화는 연속 섬유강화형(장섬유강화)과 불연속 섬유강화형(단섬유강화)으로 대별되며 장섬유강화에 비하여 불연속인 단섬유강화한 금속기 복합재료가 압연, 단조, 압출등 종래의 소성가공 및 통상의 기계가공이 용이하며 기계적인 성질 또한 등방성을 띠게되어 실용화에 보다 유리하다.⁶⁾

단섬유강화 Al합금기 복합재료의 제조법은 주로 분말법과 용탕법으로 대별된다.⁷⁾

전자는 분말과 세라믹 분말을 혼합하여 hot

press⁸⁻¹⁰⁾ 혹은 열간등압성형(HIP)으로 빌렛트를 제작하고 그후 열간 압출하거나 열간 또는 냉간 압연 등의 소성가공을 실시한다. 이 경우 분산입자와 Al 합금과의 습윤성을 개선할 목적으로 반응용 가공법을 응용한 공정 연구도 행해지고 있다^{11, 12)}.

한편, 후자는 교반시킨 용탕속에 분산제를 첨가하는 볼틱스법^{13, 14)}, 반응용 급속중에 분산제를 첨가하는 콤포캐스팅법¹⁵⁻¹⁸⁾, 미리 분산재에 의해 제조한 porous한 preform중에 용탕을 함침하는 용탕단조법¹⁹⁻²¹⁾등을 들 수 있다.

액상 hot press법의 경우에 whisker를 함유한 용융 Al을 유동 시키면 제각기 거동을 하기 때문에 whisker의 분포가 불균일하게 된다. 그러나 용탕단조법은 whisker의 분포가 보다 균일하게 되어 기계적 성질도 향상된다.

whisker에는 여러가지가 있으나 일반적으로 SiC, Si₃N₄, Al₂O₃등이 주로 많이 사용되고 있으며 이 가운데 SiC whisker²²⁾에는 α형(육방정계)과 β형(입방정계)이있고 이들의 인장강도는 대개 2100kg/mm², 인장 탄성율은 49000kg/mm²로 거의 완전한 결정이다.

탄화규소 휘스커(SiC_w)는 강성이 높고 고온 안정성, 내산화능력, 내열충격에도 우수하며 용융 Al중에서는 탄소섭유 보다도 화학적으로 안정하고 보론 섭유보다 습윤성(wettability)이 좋다.⁵⁾

본 연구에서는 자동차용 부품재료에 많이 사용되고 있는 AC4A 알루미늄 합금과 SiC whisker preform을 용탕단조법으로 강화한 복합재료의 특성, 미세조직, 기계적성질 및 whisker 강화에 따른 시효경화 기구등을 고찰하여 용탕단조법에 의한 내열, 고강도용의 새로운 복합재료 개발에 기여하고자 한다.

2. 실험방법

2-1 시료제조

상업용의 AC4A 모합금과 SiC 10v/o, 20v/o, 30v/o의 preforms으로 유압식의 용탕단조기에서 시료를 제조하였다. 이때 Ø34 H90의 preform을 cutting하여 27mm로 만든 다음 Fig. 1에 나타낸 금형을 사용하였다.

Table 1은 사용한 AC4A 모합금의 화학조성을 나타낸다.

제조된 시료에 대하여 제조조건에 따른 마

멸성, 경도, 시효특성 등의 기계적 성질과 조직관찰을 행하였다.

Table 1. Chemical composition of AC4A alloy (Wt. %)

Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Ti	Al
0.08	8.15	0.38	0.03	0.39	0.35	0.0065	0.0088	Bal.

Fig. 1, 2는 본 실험에 사용한 mould 및 용탕 단조기를 나타낸다. 먼저 SiC whisker preform 10%, 20%, 30%를 별도의 로를 이동하여 750~800°C로 예열하고 squeeze mould는 400°C로 예열한 후 Fig. 1과같이 예열된 preform을 mould안에 장입하고 800°C로 용해한 AC4A 알루미늄 합금 용탕을 주입함과 동시에 가압하여 복합재료를 제조하였다. 이때 press의 가압력은 40, 75, 100MPa의 세가지로 실시하였다. press가압시 가압압력은 Fig. 2와 같이 내부 실린더에 가해지는 압력 P를 나타낸다. 그러므로 실제 ram이 가하는 압력과 게이지상 압력간에 차이를 고려하여 load cell로 직접 punch의 가압 압력을 측정하였다. 또한 punch는 limit switch에 의하여 2단계의 속도로 가압을 하였다.

Fig. 2에서 3개의 limit switch(L₁, L₂, L₃)에 의해 속도가 조절될 수 있다, 첫번째 limit switch L₁에서 출발한 punch는 두번째 limit switch L₂에 닿을때까지 빠른속도로 이동하여 두번째 limit switch L₂에서 보다 느린 속도로 가압 됨과 동시에 timer가 작동하게 된다.

punch의 가압은 L₁에서 L₂까지의 1단계와 L₂에서 L₃까지의 2단계로 진행되는데 1단계에서는 2.28cm/sec, 2단계에서는 1.75cm/sec의 속도로 가압하였으며 가압시간은 90sec로 하였다.

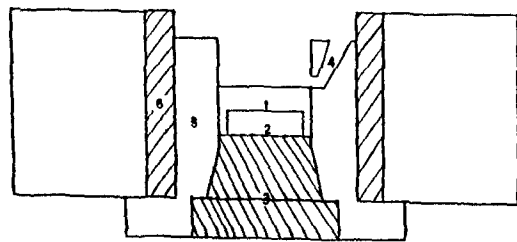


Fig. 1. Schematic of squeeze casting permanent mould

- 1. melt 2. preform 3. spacer 4. air hole
- 5. mould 6. heater 7. adiabatic material

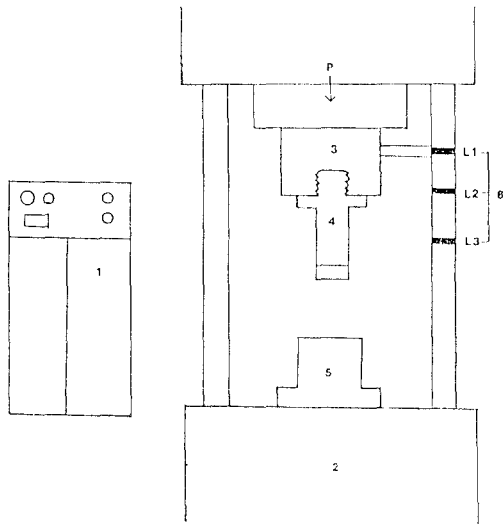


Fig. 2. Schematic diagram of squeeze casting machine

- 1. pressure controller 2. body
- 3. interior cylinder 4. punch
- 5. mould 6. limit switch

2-2 방사선 투과 시험

SiC whisker preform의 volume fraction 10% 20% 30%로 제조된 AC4A 알루미늄합금기 복합재료의 표면 결함을 육안으로 검사한 후 재료 내부의 결함(cavity등)을 검사하기 위하여 Toshiba사의 방사선투과 시험기(radiographic tester) 260KVP를 이용하여 복합재료 내부의 결함을 검사하였다.

2-3. 복합재료의 응고 조직 관찰

복합재료의 응고 조직은 연마 후 polishing 한 다음 자장을 이용하여 전해연마를 하였다.

Keller시약으로 약 10초간 부식시켜 광학현미경으로 조직을 관찰하였다.

2-4. 경도시험

순수 AC4A 및 복합재의 경도변화를 비커스 경도기로 측정하였다. 시험기는 Matsuzawa Seiki사의 No 7169M이며 하중 1kg, 유지시간 15초로 하였다.

2-5. 마멸시험

AC4A와 복합재료에 대하여 마멸특성을 파악하고자 Fig. 3과 같이 1쌍의 V블록과 1개의 핀으로 구성된 시험편을 미국 Falex사의 friction and wear test machine, model : pin and v-

block 1248-60을 사용하여 마멸시험을 행하였다. 시험은 대기중에서 실시하였으며 하중 501bs, 회전수 290rpm, 유지시간은 30초로 하였다.

상대마모재료는 마멸시험기의 제작사인 Falex사에서 표준시험편으로 제공된 S45C를 사용하였으며 마멸시험후 각 시험편마다 초음파 세척기로 탈지 및 건조를 시켜 시료표면을 깨끗히 한다음 마멸시험 전후 시료표면의 마멸상태 및 무게감량을 측정하여 복합재료의 내마멸성을 관찰하였다.

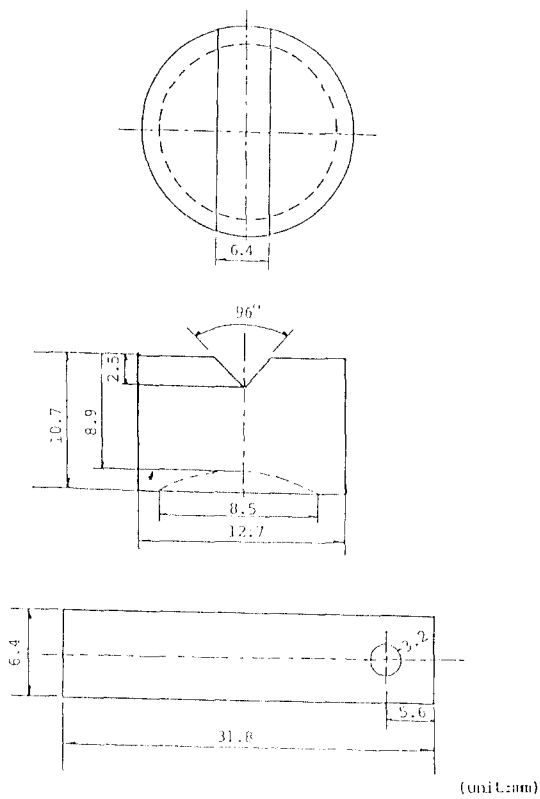


Fig. 3. Falex testpieces.

(unit:mm)

3. 결과 및 고찰

3-1. 복합 재료의 제조조건

용탕단조법에 의한 복합재료 제조에는 금형의 형상과 예열온도, preform의 형상과 크기, 체적분율 및 예열온도, 용탕의 주입온도, 펀치의 가압 속도와 가압력등 여러가지 인자들이

영향을 미친다. 이 가운데 금형은 preform을 사용한 복합재료 제조시 preform의 형상과 크기에 좌우된다. 따라서 preform은 모합금 용탕과 preform과의 습윤성을 좋게 하기 위하여 표면적이 큰 원형을 사용하였다.

whisker에는 앞에서 말한 바와같이 여러가지가 있으며 이들을 이용하여 용탕단조법으로 제조한 복합재료는 일반적인 중력주조재에 비하여 다음과 같은 이점이 있다.

(1) 인장강도 및 연신율이 높으며 특히 짧은 용체화 처리 시간에서도 인장강도는 높게 되고 시간의 경과에 따른 경도 변화도 거의없이 일정하다.²³⁾

(2) 고압하에서 주조하므로 가늘고 얇은 제품 뿐만아니라 복잡한 형상의 제품도 주조가 가능하다.

(3) 장섬유 강화의 복합재료에 비해 기계적 성질이 등방적이다.

(4) 압연, 단조, 압출 및 2차적인 기계가공이 가능하다.⁶⁾

(5) 고분자 복합재료에 비해 강도, 열전도도, 전기전도도 및 내마모성이 우수하다.

이와같은 성질을 이용해서 자동차를 비롯하여 우주항공 및 일반 산업기기 분야등에 실용화 하고자하는 연구가 활발히 진행 되고 있다.^{1~5)}

한편 preform이 클수록 높은 가압력과 금형, preform 및 용탕의 보다 높은 예열온도가 필요하며 preform이 너무 클 경우 preform의 whisker 사이사이로 용탕이 잘 스며들지 못하여 whisker와 용탕과의 계면 접촉상태가 나쁘게 된다. 또한 preform을 사용할 경우 matrix의 유동성과 계면은 복합재료의 제조에 큰 영향이 미치며 특히 preform의 체적분율이 높아질수록 whisker 사이의 크기가 작기 때문에 matrix의 유동성이 좋아야된다. 따라서 금형과 preform을 예열하여야 한다.

만약 preform의 예열온도가 낮으면 용탕주입시 preform에 의한 용탕의 열손실이 발생하며 이로 인하여 whisker와 용탕간 계면접촉이 나쁘게 될 우려가 있다. 따라서 preform을 용탕 온도부근까지 예열하여 용탕주입시 whisker에 의한 열손실을 최소화 하였다. 이러한 점을 고려 하여 본 연구에서 얻은 최적의 제조 조건은 preform 크기 27mm에서 금

형 예열 온도 400°C, preform 예열온도 750~800°C, 용탕온도는 800°C로 하였다.

Fig. 4는 제조한 복합재료의 macro 조직을 나타낸다.

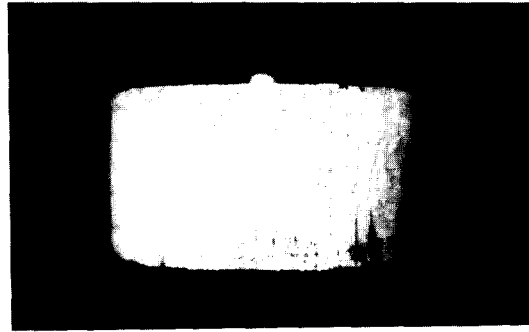


Fig. 4. Typical macro photograph by squeeze casting

3-2. 경도시험

Fig. 5는 제조된 복합재료의 경도값을 나타낸 것으로써 용제법(Ingot Metallurgy ; I/M)

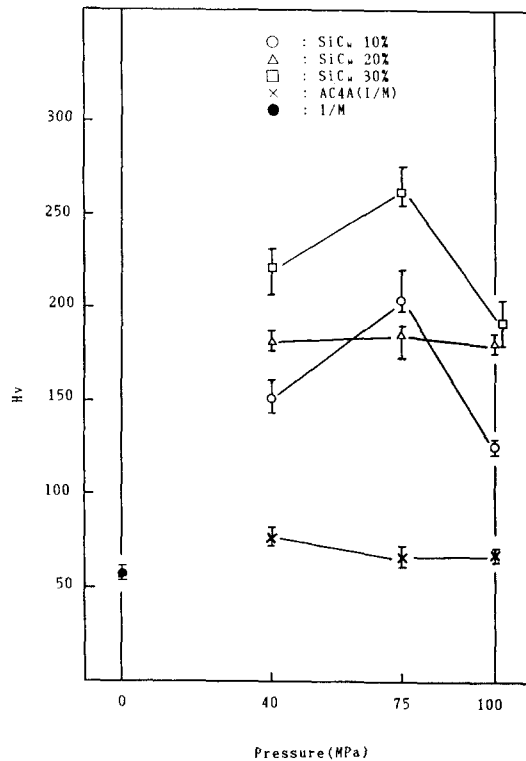


Fig. 5. The results of vickers hardness test

의 주조상태보다 가압된 상태의 AC4A 모재 부 경도가 다소 높을 뿐 아니라 SiC whisker의 volume fraction이 클수록 그 절대값이 상당히 높음을 알 수 있다. 이는 강화재인 SiC whisker의 인장강도가 약 2100kg/mm²로²²⁾ 높고 whisker가 일정한 방향성을 가지지 않고 random하게 matrix와 완전한 결합을 이루고 있기 때문이라 사료된다.

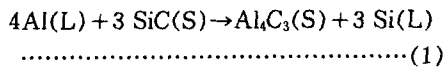
SiC_w 10%와 30%에서는 가압력에 의해 영향을 많이 받으나 20%에서는 크게 영향을 받지 않고 거의 균일한 특성을 나타낸다. 이는 matrix와 강화재사이의 접합강도가 가압력과 강화재에 크게 의존하지 않기 때문으로 사료된다.

小原²⁴⁾에 의하면 실제 강화재의 volume fraction이 증가함과 더불어 강화 효과도 상승하지만 SiC_w를 사용하여 분체소결법과 액상 hot press법으로 복합재료 제조시 SiC_w 체적률 상승이 15% 정도에서 한계에 이르며, 용탕단조시는 용탕온도 800°C, SiC_w 체적률 30%에서 가장 강도가 크다고 하였다. 이는 본 실험결과와 잘 일치하고 있다.

한편, 가압력이 75MPa로 증가함에 따라 경도값이 상승하다가 100MPa에서는 오히려 경도값이 감소하게 된다. 이는 40MPa의 가압력은 불충분하고 100MPa는 가압력이 너무 높아 whisker 손상 및 이에 따른 계면에서의 박리현상등 whisker와 기지금속과의 계면접촉상태가 나빠지게 되기 때문인 것으로 사료된다. 본 실험에서는 75MPa경우가 가장 경도값이 높았다.

한편, whisker 강화한 복합재료의 경도가 AC4A I/M재에 비해 두배 이상으로 높다.

이는 (1)의 반응식에서



미세한 Al₄C₃ 입자가 분산하여 존재하므로써 전위운동에 대한 장애물로 작용하기 때문인 것으로 사료된다. 三浦 등은²⁵⁾ 이로 인하여 고온에서의 인장강도가 높은 것으로 추정하고 있다.

3-3. 방사선 투과 시험

SiC whisker preform으로 강화한 복합재료에 대하여 육안검사후 재료내부의 결합 유무를 확인하기 위하여 방사선 투과 시험을 실시하였다. Fig. 6에 그 대표적인 사진을 나타낸다.

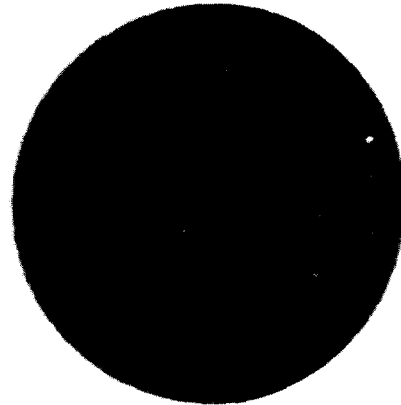


Fig. 6. Typical photograph after radiographic test (SiC_w 30% 75 MPa)

그림에서 보는 바와 같이 재료내부에 생기기 쉬운 가장 큰 결함인 cavity는 보이지 않는다. 이는 AC4A 용융금속이 SiC whisker 내부로 골고루 침투되어 재료의 복합화가 잘 이루어졌음을 나타낸다.

3-4. 마멸 시험

Fig. 7은 제조된 복합재료의 길이방향(압력 가압방향)으로 시험편을 채취하여 마멸시험을

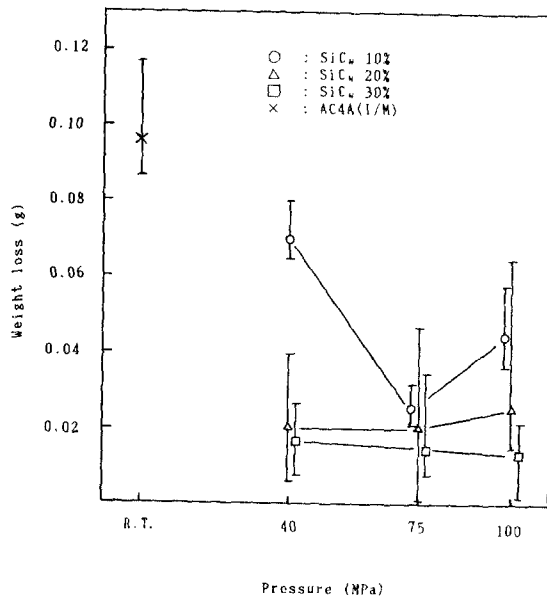


Fig. 7. Relation between weight loss and pressure at squeeze casting.

행한 결과이다.

그림과 같이 matrix인 AC4A I/M재에 비하여 whisker 강화했을 경우가 마멸량이 훨씬 적었으며 SiC_w volume fraction이 증가할수록 마멸량이 감소하고 있음을 알 수 있다. 그중 가압력 75MPa일때가 가장 마멸량이 적음을 알 수 있다. 이는 경도값이 가장 높고, SiC_w 와 matrix간 계면 접합상태가 가장 양호하다는 것을 의미한다.

또한, SiC_w 20%일 경우가 마멸량의 분포가 제일 크다. 이는 whisker와 AC4A matrix사이의 불완전한 계면 결합 상태에서 마멸에 의한 중량감소와 더불어 whisker가 쉽게 떨어져나가기 때문이라 사료되며 이 부분에 대해선 다음호에 더 자세히 게재할 예정이다.

3-5. 미세조직

Fig. 8은 SiC whisker 10-30v/o를 100MPa로 제조한 복합재료의 현미경 조직을 나타낸



a)



b)

Fig. 8. Micrographs of SiC_w reinforced composite by various volume fraction(100MPa, X200)

a) 10% b) 30%

다. SiC whisker의 volume fraction이 증가할수록 matrix 부분이 감소하고 있으며 SiC whisker 30v/o에서는 파손된 whisker가 다소 나타나고 있다. 이는 preform내 SiC whisker간 간격이 조밀한데다 100MPa의 높은 압력이 가해진 때문으로 사료된다. a)에서와 같이 volume fraction이 낮은 경우 preform내 whisker간의 공간이 넓어 matrix가 차지하는 부분이 많이 존재함으로 인하여 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 경도값이 낮은 것으로 추정된다.

4. 결 론

AC4A Al 기지 합금에 SiC whisker preform의 volume fraction 10-30%를 이용하여 용탕 단조법으로 복합재료를 제조한 후 방사선 투과시험, 시효처리에 따른 조직관찰과 경도 및 마멸시험을 행한 결과는 다음과 같다.

1. 용탕단조법에 의한 본 재료의 최적 제조조건은 용탕온도 800°C, mould 온도 400°C, preform 온도 750-800°C, 가압압력 75MPa이다.

2. SiC_w 의 volume fraction이 30%까지 증가할수록 경도값이 증가하였으며 SiC_w 20%에서는 가압력에 큰 영향이 없었다.

3. 가압력 100MPa에서는 다소 파손된 whisker 조직을 나타내며, 본 재료의 강화효과는 가압력 75MPa > 40MPa > 100MPa 순이고, SiC_w 는 30% > 10% > 20%이다.

4. 본 복합재료는 I/M재에 비하여 경도 및 마모특성이 두배이상 좋았으며, 특히 75MPa일 때 가장 우수하였다.

후 기

본 연구의 시료제작에 도움을 주신 일본대학의 Kaneko교수와 김득규 학형 및 한양대학교 윤의박 교수님과 연구생들께 감사드립니다.

아울러 한국과학재단의 1991년 학위논문 연구비 지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. J. E. Schoutens and K. Tempo : Introduction to Metal Matrix Composite Materials, DOD Metal Matrix Composites Information Analysis Center(1982)
2. A. P. Divecha, S. G. Fishman and S. D. Karmarker : J. Met., **9**, 12 (1981)

3. R. J. Arsenault : *Met. Sci. Eng.*, **64**, 171 (1984)
4. O. Watanabe : in *Proc. Conf. on Composite Materials*. Japanese Inst. of Metals, Tokyo, 17 (1983)
5. 王殿斌, 大橋照男 : *輕金屬*, **39**(10), 699 (1989)
6. Y. Inose, J. Kaneko, M. Sugamata : *輕金屬*, **40** (3), 221 (1990)
7. 渡邊英雄, 齊藤洋 : *輕金屬*, **39** (4), 255 (1989)
8. H. J. Rack and P. W. Niskanen : *Light Met. Age*, **42-1** (2), 9 (1984)
9. A. P. Divecha, S. G. Fishman and S. D. Karmarker : *J. Met.*, **33-9**, 12 (1982)
10. N. C. Kothari : *J. Nuclear Materials*, **22**, 165 (1967)
11. 木內學, 杉山澄雄, 富岡美好, 山本隆嗣 : 昭和 61年度 塑性加工 春季講演會豫講集, 571(1986)
12. 木內學, 杉山澄雄 : 塑性加工, **29**, 279 (1988)
13. Deo Nath, R. T. Bhat and P. K. Rohatgi : *J. Mat. Sic.*, **15** 1241 (1980)
14. B. F. Quigley, G. J. Abbaschian, R. Wunderlin and R. Mehrabian : *Met. Trans. A*, **12**, 93 (1982)
15. R. Mehrabian, R. G. Rick and M. C. Flemings : *Metall Trans.*, **5**, 1899 (1974)
16. R. Mehrabian, A. Sato and M. C. Flemings : *Aluminium*, **51**, 710 (1975)
17. A. Sato, and R. Mehrabian : *Metall Trans. B*, **7B**, 443 (1976)
18. A. Banerji, M. K. Surappa and P. K. Rohatgi : *Metall Trans. B*, **14B**, 767 (1983)
19. K. Ohori, H. Watanabe and Y. Takeuchi : *Mat. Sci. and Tech.*, **3**, 57 (1987)
20. C. M. Friend : *J. Mat. Sci.*, **22**, 3005 (1987)
21. 長田純夫, 松田公扶 : 鑄物, **54** (10), 9 (1982)
22. 森田幹郎 : 技術豫側 Series 2, 新素材編, 日本
23. 安達充, 和久芳春, 岩井英樹, 西正, 吉田淳 : *輕金屬*, **39** (7), 487(1989)
24. KOHARA · ASADA : *輕金屬* **37** (7), 483 (1987)
25. MIURA · FUKUI : *輕金屬* **39** (8), 555 (1989)