

(Al₂O₃+SiCp)/AZ91 하이브리드 Mg 복합재료의 기계적 특성에 미치는 SiCp 크기의 영향

하창식* · 김봉룡* · 조경목* · 박익민* · 최일동**

The Effect of SiCp Size on the Mechanical Properties of (Al₂O₃+SiCp)/AZ91 Hybrid Mg Composites

Chang-Sik Ha, Bong-Ryong Kim, Kyung-Mox Cho, Ik-Min Park And Il-Dong Choi

KEY WORDS : hybrid MMC, Reaction squeeze casting, Preform, Wear resistance

ABSTRACT

In the present study, AZ91Mg/Al₂O₃ short fiber+SiC particulates hybrid metal matrix composites(MMCs) were fabricated by squeeze casting method. Different particulate sizes of 45, 29 and 9 μ m were hybridized with 5% volume fraction to investigate the effect of SiC particulates size on microstructure, mechanical and thermal properties such as hardness, flexural strength, wear resistance and thermal expansion. Results show that the microstructure of the hybrid composites were quite satisfactory, namely revealing relatively uniform distribution of reinforcements. Some aggregation of SiC particulates caused by particle pushing was observed especially in the hybrid composites containing in fine particulates(9 μ m). The hardness and flexural strength were improved by decreasing particulates size, whereas wear resistance improved by increasing particulates size because of large particulates restricting matrix wear from contacted stress. Regardless of particulates size, thermal expansion of composites was the same. This may be because the content of particulates was in all cases 5 volume fraction.1

1. 서 론

Mg 합금은 비중이 1.75g/cm³로서 철강재료, Al 합금 등 널리 사용되고 있는 구조용 소재에 비하여 매우 가볍고 최근에 그 필요성이 급증하고 있으며, 또한 해수에서 채취되므로 자원이 무한한 소재다. 그러나 Mg 합금은 낮은 내식성의 문제와 함께 경쟁경량재료인 Al 합금에 비해 낮은 내열, 내피로성을 나타내어 경량화가 요구되는 자동차 및 우주 항공산업분야의 소재로의 적용은 상당히 어려우므로 이를 극복하기 위해서 지난 20년간 복합화의 기술이 개발되어져 오고 있고, 선진국에서는 이미 신기술에 의해 Mg 금속복합재료의 실

용화에 박차를 가하고 있는 실정이다. 한편, SiCp를 포함한 Mg based 복합재료가 저밀도 및 높은 비강도와 더불어 타 강화재료에 비해 경제적인 잇점이 있어 많이 사용되어지고 있으나 재료의 취약성과 낮은 신율에 의해 그 사용이 일부에만 국한되고 있다. 본 연구에서는 이런 난제를 해결하기 위해서 비강도, 내마멸성, 열팽창특성 등을 향상시킬 수 있는 하이브리드 복합재료 개발의 기초 연구로, Alumino-silicate 단섬유와 크기가 상이한 SiC 입자(45 μ m, 29 μ m, 9 μ m)의 하이브리드 예비성형체를 제조하여 AZ91 용탕을 가압침투 응고시키면서 용탕 반응에 의한 금속간화합물의 형성을 검토하고, (10%Al₂O₃+5%SiCp)/AZ91 하이브리드 복합재료에 첨가된 SiCp 크기가 복합재료의 제반 기계적 특성 및 열적특성에 미치는 영향을 섬유강화 효과만 고려한 (15%Al₂O₃)/AZ91 단일섬유강화 복합재료와 비교 평가하여 국내에서는 연구실적이 미미한 하이브리드 Mg 금속 복합재료의 제조 및 특성

* 부산대학교 금속공학과

** 한국해양대학교 금속공학과

에 대한 기초자료를 확보하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 재료

본 실험에 사용된 Mg 기지재료로는 불순물을 최소화하여 내식성을 향상시킨 8.1~9.3%의 Al, 0.4~1.0%의 Zn, 0.1~0.5%의 Mn, 0.3%의 Si의 화학적 조성을 갖는 AZ91 합금을 사용하였으며, 강화재로는 δ - Al_2O_3 인 경정질 단섬유 Saffil(97% Al_2O_3 -3% SiO_2)와 순도 99.9%의 Si 분말을 사용하였고, 한편 SiC 입자는 NORTON COMPANY에서 제조된 평균입경 45 μm , 29 μm , 9 μm 의 3 종류의 SiC 입자 분말을 사용하였다

2.2 SiC 입자분석

실험에 앞서 NORTON COMPANY에서 제조한 SiC의 평균크기를 영상 분석기(Image Analyzer)로 count 100을 평균하여 측정해 보았다.

2.3 예비성형체의 제조

하이브리드 예비성형체의 제조는 이온교환수에 강화재(Al_2O_3 단섬유와 SiC)를 일정량 혼합한 후 slurry 상태로 만든 다음 교반하면서 무기바인더, 유기바인더, 응집제 순으로 첨가하였다. 그리고 포수제를 첨가한 후 closed micropores를 줄이기 위해 진공 감압 탈포 처리를 행하여 양호한 예비성형체를 제조하였다.

2.4 반응 용탕단조법에 의한 복합재료의 제조

복합재료의 제조시 기지 금속과 강화재 사이의 젖음성을 향상시키기 위하여 예비성형체를 450°C로 예열된 금형에 장착하였으며, 800°C의 AZ91 용탕을 예비성형체가 장착된 mold 내에 주입하고 plunger로 가압하여 제조하였다.

2.5 미세조직 관찰 및 기계적 특성 평가

제조된 (10% Al_2O_3 +SiCp)/AZ91를 Oxalic acid 부식액으로 에칭한 후 광학현미경 및 주사식 전자현미경(SEM)으로 미세조직을 관찰하였으며, 반응생성물 여부를 조사하기 위하여 EDS 및 XRD 분석을 행하였다. Mg 합금기지 하이브리드 복합재료의 파괴거동을 관찰하기 위해 본 실험에서는 보다 정확한 파괴 거동에 대한 진단을 위한 것으로 SEM 내에 20kg loadcell을 장착한 tensile stage를 설치한 후 파괴에 대한 미소거동을 직접 관찰하였다. 경도는 Rockwell 경도기로 측정하였으며, 3점 굽힘 시험은 ASTM D350 규격에 의거하여 시험속도 2mm/min, 지간거리 50mm의 조건으로 3점 굽힘 시험을 행하였고, ANTER Co.의 Linear Dilatometer 장비를 사용하여 bar-shaped 시편을 승온속도 5°C/min, 최고온도 250°C 조건으로 가열로내에 장

입하여 시험하였으며 CTE(Coefficient of Thermal Conductivity)값은 상온에서 100°C까지의 길이변화로 계산되었다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 미세조직

Fig. 1은 SiCp의 각각의 크기에 따른 예비성형체의 SEM 조직 사진을 나타내었다. (a), (b), (c) 모두 강화재의 분포가 비료적 양호한 것을 확인할 수 있었으며 특히 각기 크기가 다른 SiCp가 Al_2O_3 단섬유사이에 균일하게 부착되어있는 것을 관찰할 수 있었다

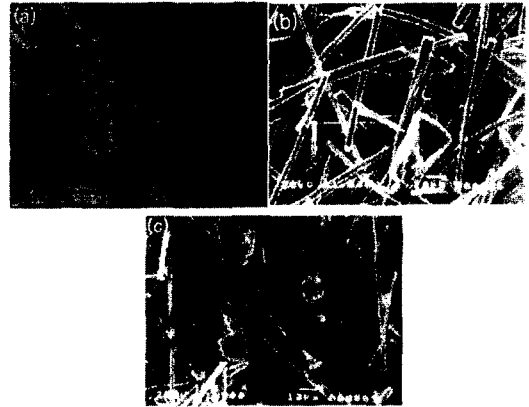


Fig. 1 SEM morphology of preform
(a) Al_2O_3 +SiCp(45 μm) (b) Al_2O_3 +SiCp(29 μm)
(c) Al_2O_3 +SiCp(9 μm).

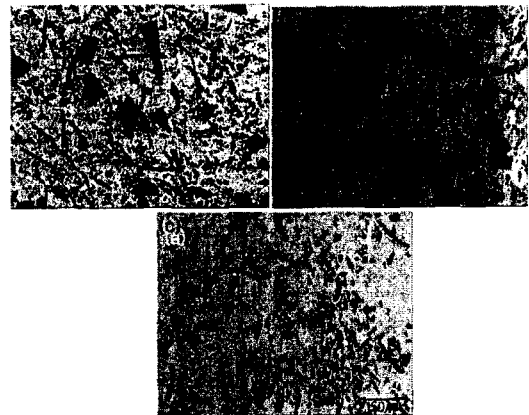


Fig. 2 Optical microstructure of
(10% Al_2O_3 +5%SiCp)/AZ91 hybrid composites
(a) 45 μm SiCp+ Al_2O_3 /AZ91 (b) 29 μm SiCp+
 Al_2O_3 /AZ91 (c) 9 μm SiCp+ Al_2O_3 /AZ91.

Fig. 2는 용탕단조법으로 Mg 용탕을 예비성형체에 침투시켜 제조한 복합재료의 광학현미경 조직 사진으로서 (a)는 Al_2O_3 +SiCp(45 μm)/AZ91 하이브리드

리드 복합재료이고 (b)와 (c)는 SiCp의 크기가 각각 29 μm , 9 μm 인 하이브리드 복합재료이다. (a), (b), (c) 복합재료에서 모두 강화재가 균일하게 분포되어 있고 구조결합이 발견되지 않아 미세조직 상에서는 성공적으로 복합재료가 제조되었음을 확인하였다. 그러나 SiCp는 특정부위로 불균일하게 분포되는 양상을 나타내었으며 SiCp 크기가 작을수록 이러한 불균일 분포정도가 심화되고 있는 것으로 관찰되었다. 이는 AZ91 기지 용탕이 가압침투되어 응고가 진행될 때, 입자상인 SiCp가 불규칙한 방향으로 서로 지지되어 있는 단섬유 Al_2O_3 보다 밀려나기가 용이하여 최종응고부에 SiCp 입자가 모여서 일어난 것으로 사려된다. 즉 응고 도중 SiCp 입자의 particle pushing 현상이 일어난 것이며 입자의 크기가 작을수록 particle pushing 현상은 더욱 현저하였음을 알 수 있다.

Fig. 3 과 Fig. 4 는 강화재와 matrix 간 계면생성물을 관찰하기 위해 SiCp 표면을 각각 점분석과 선분석한 결과인데, 점분석 결과 O, Mg, Al, Si 원소가 검출되었으며 선분석 결과 역시 Mg, Al, Si 성분이 검출되어 SiCp 표면 전반에 걸쳐 MgO , Mg_2Si 가

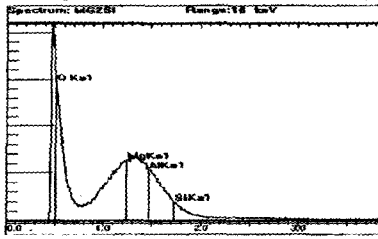


Fig. 3 EDS analysis of SiCp surface.

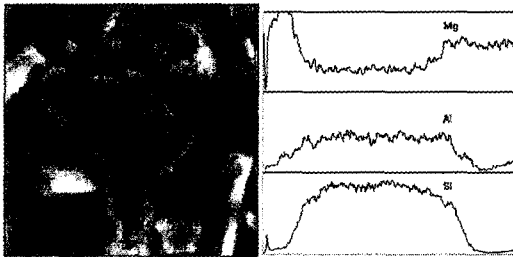


Fig. 4 EDS Line scanning analysis of SiCp.

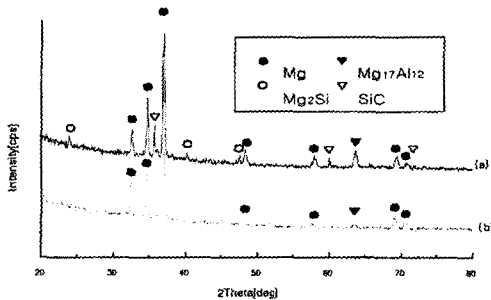


Fig. 5 X-ray spectra obtained from
 a) (10% $\text{Al}_2\text{O}_3+5\%\text{SiCp}$)/AZ91 hybrid composites and
 b) 15% $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Mg}$ composites.

형성된 것으로 판단된다.

Fig. 5 는 X 선 회절시험의 결과로서 (a)는 (10% $\text{Al}_2\text{O}_3+5\%\text{SiCp}$)/AZ91 하이브리드 복합재료이고 (b)는 15% $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AZ91}$ 복합재료이다. 주 peak 로는 $\alpha\text{-Mg}$ 이 보이고 있고 하이브리드 복합재료에서는 기지와 SiCp 와의 반응으로 보이는 Mg_2Si peak 가 나타난 것으로 보아 EDS 분석결과에서 동일하게 금속간화합물의 형성을 증명하였다.

3.2 기계적 특성 평가

Fig. 6 에서 SiCp의 크기가 다른(10% $\text{Al}_2\text{O}_3+5\%\text{SiCp}$)/AZ91 하이브리드 복합재료의 경도값을 나타내었는데 그림에서 나타난 것처럼 (a) AZ91 < (b) $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AZ91}$ < (c) 45 μm SiCp+ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AZ91}$ < (d) 29 μm SiCp+ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AZ91}$ < (e) 9 μm SiCp+ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AZ91}$ 의 경향을 나타내었고 9 μm SiCp+ $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{AZ91}$ 복합재료는 matrix 보다 2 배 이상의 경도값을 보였다. 그러나 강화재 (Al_2O_3 , SiCp)의 종류의 따른 큰 차이는 보이지 않았다.

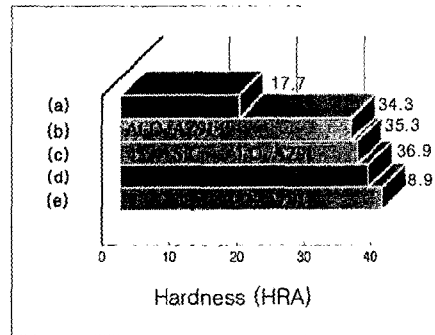


Fig. 6 Hardness of squeeze cast AZ91 and AZ91matrix composites.

Fig. 7 은 SiCp 첨가 하이브리드 복합재료의 굽힘강도를 나타낸 그래프이다. 경도값과 동일한 경향을 보였으나 비복합재료와 복합재료의 3 점 굽힘강도의 차이가 경도차이에 비해 그다지 높게 나타나지 않았다.

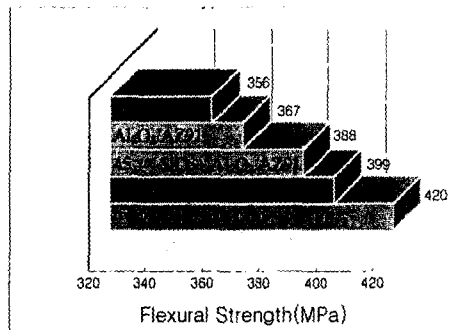


Fig. 7 Flexural strength (MPa) of squeeze cast Mg and Mg matrix composites.

이는 강화된 복합재료와 기지와의 계면이 defect

로 작용하여 비교적 낮은 강도를 보인 것으로 판단되며 SiCp 크기가 작을수록 큰 강도를 보인 것은 입자크기에 따른 미세분산 강화효과로 사려된다.

Fig. 8 은 AZ91 및 복합재료의 상온 건식 마멸시험결과를 나타낸 것이다. 마멸시험 조건으로 마멸속도는 0.63m/sec(200rpm), 마멸거리는 1km 로 하였으며 하중을 42N, 66.5N, 91N 으로 변화시키면서 마멸시험을 행하였다. 하중이 증가할수록 네 시편 모두 마멸량은 증가하는 경향을 보였으며 복합재료가 비복합재료보다 강화재의 종류와는 상관없이 2 배이상 마멸특성이 향상되었다. 또한 크기가 작은 SiCp 가 하이브리드화 될수록 마멸량이 증가하는 것으로 보아 마모시험시 상대재의 회전운동에 의하여 전단응력이 가해지면 9 μm SiCp 는 완전히 마모되지 않은 상태에서 입자의 계면분리에 의해 이탈되어 나가기 용이하고 상대적으로 29 μm SiCp, 45 μm SiCp 는 입자가 이탈되어 나가기 어려워 마모특성이 향상되는 것으로 판단된다. 아울러 비교적 첨가된 SiCp 의 크기가 작은 9 μm SiCp+ Al₂O₃/AZ91 복합재료의 경우는 Al₂O₃/AZ91 단섬유 강화 복합재료와 비슷한 수준의 마멸량을 나타낸 것으로 보아 SiCp 의 우수한 마멸특성이 소실된 것으로 사료된다.

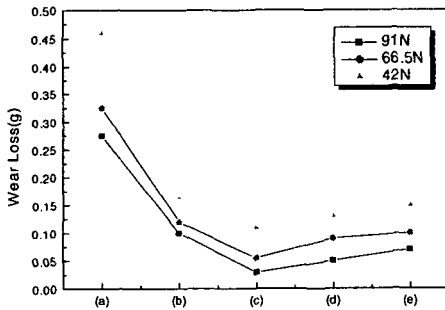


Fig. 8 Wear loss of AZ91 and AZ91 composites as a function of applied load. (sliding speed : 0.64m/sec, sliding distance : 1km)

한편 마멸 거동을 조사하기 위하여 마멸시험 조건 중 하중 42N 에서의 시편의 마멸면(worn surfaces)과 마멸 입자(wear debris)를 주사식 현미경으로 관찰한 결과를 Fig. 9, Fig. 10 에 각각 나타내었다. 연질금속인 AZ91 은 급격한 온도상승에 의한 시편의 연화가 이루어져 큰 판상의 마멸입자가 떨어져 나간 것으로 판단되는 응착마멸(adhesive wear)을 보였고 Al₂O₃ 및 SiCp 가 하이브리드 첨가된 복합재료에서는 평활한 마멸궤적과 마멸면에 입자가 많이 존재하는 것으로 관찰되고 있다. 마멸기구는 경한 입자나 돌출부분에 의해 마멸된 연

삭마멸(abrasive wear)로 보여지며 Fig. 10 (c), (d), (c) 의 마멸입자에서 관찰되는바와 같이 하이브리드된 SiCp 크기가 작은 복합재료일수록 큰 마멸입자가 기계적으로 뜯겨져 나간 것을 알 수 있다.

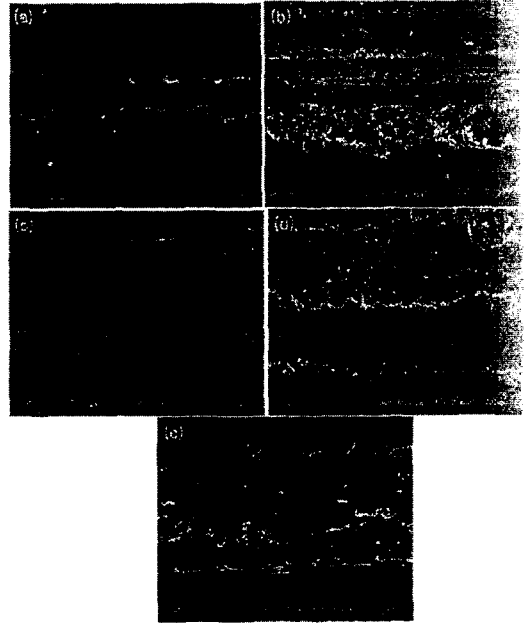


Fig. 9 Worn surface of AZ91 and AZ91 composites.

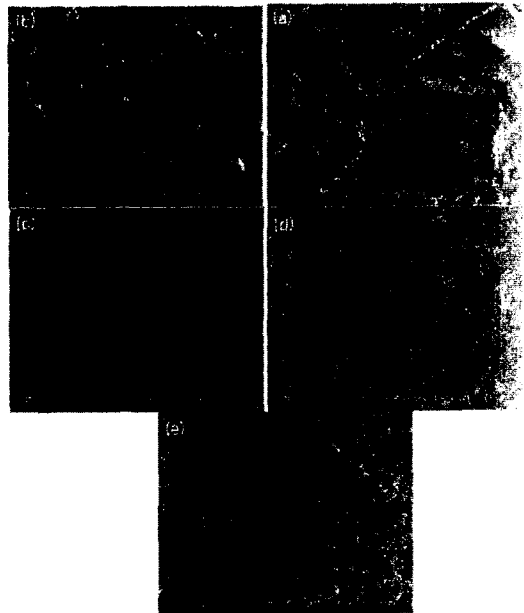


Fig. 10 Worn debris of AZ91 and AZ91 composites.

Fig. 11 은 SiCp 하이브리드 복합재료의 열팽창특성을 나타낸 그래프로써 강화재의 종류 또는 크기가 복합재료의 열팽창특성에는 무관하게 동일한 CTE(Coefficient of Thermal Expansion) 값을 보였으나 비복합재료보다 복합재료의 열팽창특성이 우수하

게 나타났다. 이는 열팽창계수가 작은 SiCp($5.4 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$) 가 열팽창계수가 큰 기지의 복합재료내에 균일하게 분산되어 있어 열팽창을 억제하기 때문이며 SiCp 가 동일 부피분율로 복합재료에 하이브리드 첨가 되었기 때문에 SiCp 의 크기가 복합재의 열팽창 특성에는 큰 영향을 주지 않는다고 할 수 있다.

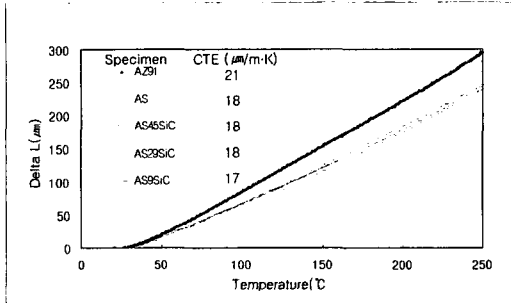


Fig. 11 Linear expansion properties of metal matrix composite.

4. 결론

Al_2O_3 단섬유와 SiC 입자를 복합 첨가한 (10% Al_2O_3 +5%SiCp)/AZ91 하이브리드 Mg 복합재료를 Squeeze infiltration 으로 제조하여 SiC 입자의 크기 변화(45 μm , 29 μm , 9 μm)에 따른 미세조직 및 경도, 내마멸성, 굽힘강도, 열팽창특성 등을 평가하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) Squeeze infiltration 에 의해 Al_2O_3 단섬유 및 SiC 입자가 비교적 균일하게 분포된 (Al₂O₃+SiCp)/AZ91 하이브리드 Mg 복합재료를 성공적으로 제조할 수 있었다.

(2) 하이브리드 Mg 복합재료의 미세조직은 SiC 입자가 작을수록 particle pushing 현상이 증가하여 SiC 입자가 편석되는 경향을 나타내었고, SiC 입자 개면에는 Mg₂Si 가 일부 형성됨이 관찰되었다.

(3) 하이브리드 Mg 복합재료의 경도 및 3 점굽힘강도는 SiC 입자가 미세할수록 증가하였다.

(4) SiC 입자가 클수록 하이브리드 Mg 복합재료의 내마멸성은 증가되었다. 이는 SiC 입자가 클수록 파쇄된 SiC 입자에 의한 연삭마멸특성이 향상됨에 의한 것으로 사료된다.

(5) 하이브리드 복합재료의 열팽창특성은 SiC 입자 크기에는 무관하였으나 기지재료보다는 우수함을 보였다. 이는 기지에 비해 열팽창계수가 작은 SiC 입자가 동일한 부피분율로 기지에 균일하게 분산되어 복합재료의 열팽창을 억제하기 때문으로

사료된다.

참고문헌

- (1) Light Metal Processing, JOM Vol. 52 No. 1, A public of the Minerals, Met.& Mater. January p.4 (2000)
- (2) M. Kobashi and T. Choh : Proc. ICCM-12, Metal Matrix Composites (1999) abst. 454
- (3) S.Lim, T. Imai, Y. Nishida and D. Jiang : Proc. ICCM-11, Metal Matrix Composites and Physical Properties (1997) 486
- (4) John E. Allison and Gerald S. Cole : JOM, 1 (1993) 19
- (5) E. Jeon, M. Kim, I. Choi, K. Cho and I. Park : Proc. of the 2nd Pacific Rim Intern. Conf. on Advanced Materials and Processing, K. S. Shin, J. K. Yoon and S. J. Kim, eds., KIM, Kyungju, June (1995) 2675
- (6) V. M. Plyatski : Extrusion Casting (1965)
- (7) S. O. Suzuki : Kinsoku 38 (1966) 12
- (8) I. Horsfall and S.I Cundy, Ceram. Eng. Sci. Proc., 13(9-10) (1992), p. 605-613
- (9) J. Mackowiak : Physicalchemistry for Metallurgist (1966) 96
- (10) Reed-Hill : Physical Metallurgy Principles (1964) 257 & 280
- (11) B. Chalmers : Principles of Solidification, New York (1964)
- (12) Y. Nishita and H. Matsubara : B. of JIM, 19(1980)895
- (13) David A. Rigney : Fundamentals of Friction and Wear of Materials, ASM, (1980) p. 13, 43, 187
- (14) G. Kruger, K. U. Kainer : "Characterization of ceramic fiber preforms", ICCM9, vol 2, (1993)
- (15) P. Abachi, B. L. Mordike and K. U. Kainer : Improving of the Fracture Toughness of Mg alloy Composites produced by Powder Metallurgical technique, Proceedings of ICCM-11, Vol. II p424 (1997)