

液狀燒結에 의한 β -SiC-ZrB₂ 복합체의 제조와 특성(II)

論 文

49C-2-5

Properties and Manufacture of β -SiC-ZrB₂ Composites Densified by Liquid-Phase Sintering(II)

尹世元* · 黃 澈* · 朱陳榮** · 辛龍德***

(Se-Won Yoon · Chul Hwang · Jin-Young Ju · Yong-Deok Shin)

Abstract - The mechanical and electrical properties of the hot-pressed and annealed β -SiC+39vol.%ZrB₂ electroconductive ceramic composites were investigated by adding 1, 2, 3wt% Al₂O₃+Y₂O₃(6:4wt%) of the liquid forming additives. In this microstructures, no reactions were observed between β -SiC and ZrB₂. The relative density is over 90.8% of the theoretical density and the porosity decreased with increasing Al₂O₃+Y₂O₃ contents. Phase analysis of the composites by XRD revealed α -SiC(6H, 4H), ZrB₂ and β -SiC(15R). Flexural strength showed the highest of 315.5MPa for composites added with 3wt% Al₂O₃+Y₂O₃ additives at room temperature. Owing to crack deflection and crack bridging of fracture toughness mechanism, the fracture toughness showed 5.5MPa·m^{1/2} and 5.3MPa·m^{1/2} for composites added with 2wt% and 3wt% Al₂O₃+Y₂O₃ additives respectively at room temperature. The area fraction of the elongated SiC grain in the etched surface of sample showed 65% and 65.1% for composite added with 2wt% and 3wt% Al₂O₃+Y₂O₃ additives respectively. The electrical resistivity showed the lowest of 1.5×10⁻⁴Ω·cm for composite added with 2wt% Al₂O₃+Y₂O₃ additives at room temperature. The electrical resistivity of the composites was all positive temperature coefficient(PTCR) against temperature up to 700°C

Key Words : Fracture toughness, Area fraction, PTCR

1. 서 론

SiC-ZrB₂계 복합체는 열전도성, 내산화성, 기계적 강도 등 1000°C 이하 및 고온용 도전재료로서 필요한 특성을 지닌 전력용 세라믹히터이며 점화기 및 발열체 등에 반영구적인 소재로 그 응용이 기대된다[1]. 그러나, 향후 그 응용분야를 더욱 확대시키기 위해서는 파괴인성의 증진과 제조단가가 저렴한 상압소결법의 연구가 요구된다.

β -SiC-ZrB₂ 세라믹히터의 파괴인성을 향상시키기 위한 방법의 하나로써 본 저자들은 액상소결의 Al₂O₃+Y₂O₃를 4~12wt%첨가하여 elongated된 SiC 입자의 미세구조 제어를 통하여 제조한 β -SiC-ZrB₂복합체에 대하여 그 기계적, 전기적 성질 및 미세구조를 체계적으로 조사한 바 있다[2].

그 결과에 의하면 SiC의 입자가 elongated되어 균열 편향과 균열 가교등의 고인성화 기구가 활발히 일어나 파괴인성이 증진되었음을 밝혔다. 액상소결의 Al₂O₃+Y₂O₃를 4~12wt%첨가하였을 때 4wt%첨가시 파괴인성 K_{IC}가 가장 높게 나타난바 4wt%이하를 첨가하면 그 파괴인성이 어떻게

나타날 것인가에 대한 연구가 필요하였다.

본 연구에서는 β -SiC와 ZrB₂의 조성비를 61:39vol.%로 혼합하고 이 혼합물에 1, 2, 3wt%의 Al₂O₃+Y₂O₃를 첨가하여 1850°C에서 고온가압소결후 1950°C에서 4시간동안 열처리를 통하여 SiC 입자의 성장을 피하였다. Al₂O₃+Y₂O₃를 첨가한 β -SiC+39vol.%ZrB₂ 복합체의 전기적, 기계적 특성을 평가할 목적으로 XRD분석, 상대밀도, 격입강도, Vicker's 경도, 파괴인성, SEM 및 Pauw법에 의한 전기저항률에 대하여 조사하였다.

2. 실험 방법

2.1 출발 원료 및 혼합

본 실험에서 사용된 β -SiC와 ZrB₂는 독일 H. C. Starck사의 Grade BF12와 Grade B제품을 사용하였고, 소결첨가제로 쓰인 Al₂O₃와 Y₂O₃는 각각 일본 Showa Chemical Inc.사의 제품과 미국 Aldrich Chemical Company, Inc.사의 제품을 이용하였다.

출발원료는 61vol.%의 β -SiC에 39vol.%의 ZrB₂를 혼합하고, 이 혼합물에 1, 2, 3wt%의 Al₂O₃+Y₂O₃(6 : 4mixture of Al₂O₃ and Y₂O₃)를 첨가하였다. 이렇게 준비된 분말을 polyurethane jar(diameter=120mm ϕ , height=140mmL, volume=1538.4 ml)에서 SiC 볼(10, 20 ϕ), 1:5 비로 아세톤에서 24시간 동안 planetary ball milling을 시킨 후 80°C에서 6시간동안 잘 건

* 準 會 員 : 圓 光 大 電 氣 工 學 科 碩 士 課 程

** 正 會 員 : 圓 光 大 電 氣 工 學 科 博 士 課 程

*** 正 會 員 : 圓 光 大 電 氣 電 子 工 學 部 副 教 授 · 工 博

接 受 日 字 : 1999年 7月 28日

最 終 完 了 : 2000年 1月 11日

조시켰다. 건조된 시료는 60메쉬 망체로 체가름을 하였다.

2.2 소결

β -SiC+39vol.%ZrB₂에 Al₂O₃+Y₂O₃를 1, 2, 3wt%씩 각각 혼합하여 체가름된 분말을 흑연 몰드에 넣고 흑연 유도 가열식 가압소결로[Astro, California, U.S.A]로 아르곤 가스 분위기에서 소결시켰다.

소결방법은 1950℃까지 분당 10℃로 승온하고, ZrB₂ 입자 성장과 β -SiC를 elongated 입자로 변형시키기 위하여 1950℃에서 4시간 동안 열처리 한 다음 분당 12.8℃로 냉각시켰다. 이때 온도측정은 광온도계 [TR-630A, Japan]을 사용하여 측정하였다.

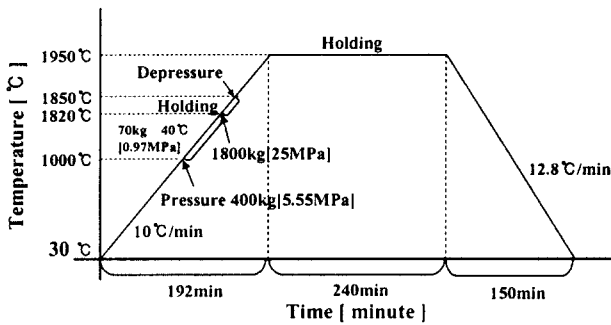


그림 1 SZ-A1, SZ-A2과 SZ-A3의 시편제조를 위한 승온 및 냉각 프로그램

Fig. 1 Heating & cooling schedule for the preparation of SZ-A1, SZ-A2 and SZ-A3 composites

그림 1의 소결과정에 나타난 것처럼 승압은 1000℃에서 5.55MPa를 주고 매 40℃씩마다 0.97MPa를 승압하여서 1820℃까지 25MPa를 가한 뒤 1850℃까지 약 3분간 유지한 다음 1850℃에서 압력을 풀어주었다.

61vol.% β -SiC에 39vol.%의 ZrB₂를 혼합하고 이 혼합물에 Al₂O₃+Y₂O₃를 1, 2, 3wt%씩 첨가한 시편을 각각 SZ-A1, SZ-A2, SZ-A3로 명명한다.

2.3 물성 측정

β -SiC-ZrB₂에 Al₂O₃+Y₂O₃를 첨가한 세라믹 복합체의 이론밀도는 혼합법칙에 의해서 구해졌고, 상대밀도는 증류수를 이용한 아르키메데스법으로 SZ-A1, SZ-A2와 SZ-A3 세 개의 시편 당 6개의 시편을 취하여 각 시편당 5회 측정 한 값의 평균값을 취하였다.

소결시편의 상분석은 XRD(PW1700 system, Philips, U.S.A.)을 이용하여 분석하였고, 미세구조는 각시편의 격임강도 측정이 끝난 시편을 파괴면과 etching면을 SEM(JSM-840A Jeol, Japan)를 이용하여 관찰하였다.

파괴강도 값은 시편크기 3×4×25(mm)로써 표면은 10(μm)의 다이아몬드 분말로 최종 연마후 재료시험기(Instron, Model 4204)를 이용하여 0.5 mm/min의 조건으로 곡강도 시험법(JIS R 1601)에 의해 3점 곡강도를 각 시편당 3회 측정하였다.

경도 및 파괴인성 측정은 시편을 0.1μm 다이아몬드 분말로 최종 경면가공한 후 비커스 미소경도시험기(Matsuzawa, Model DVK-2, Japan)를 이용하여 경도 및 파괴인성 시험법인 압인법(Indentation Method)으로 측정하였다. 시편에 가한 하중은 20kgf, 40μm/sec, 유지시간은 10초로 하였으며, 각 시편당 5회 측정하였다. 경도 및 파괴인성치는 A. G. Evans & T. R. Wilshaw[3]식으로 계산하였다.

2.4 전기 저항률 측정

β -SiC-ZrB₂계 복합체의 전기저항률은 25℃에서 700℃까지 Pauw법[4]으로 시편당 110회를 측정하여 다음 식에 의해서 전기저항률 ρ는 계산되었다. Pauw 법에 사용된 시편은 대우중공업의 A320D(Sodick Ex 21, Japan) 선방전 가공기를 이용하여 wire-EDM[5](Electro Discharge Machining)으로 가공되었다.

$$\rho = \frac{\pi d}{\ln 2} \frac{R_1 + R_2}{2} \times f \left(\frac{R_1}{R_2} \right)$$

여기서,

$$R_1 = \frac{V_{CD}}{I_{AB}} (\Omega) \quad R_2 = \frac{V_{BC}}{I_{AD}} (\Omega)$$

V_{BC} : 단자 AD간에 전류 I_{AD}를 흘렸을 때의 단자 BC간의 전압.

V_{CD} : 단자 AB간에 전류 I_{AB}를 흘렸을 때의 단자 CD간의 전압.

f : 보정계수(R₁/R₂ < 1.5이면, f = 1)

d : 시료의 두께.

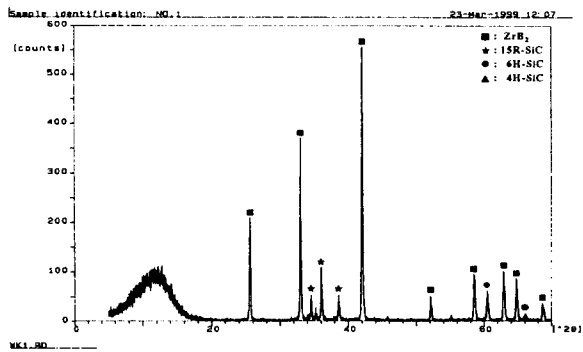
3. 결과 및 고찰

3.1 상분석 및 미세구조

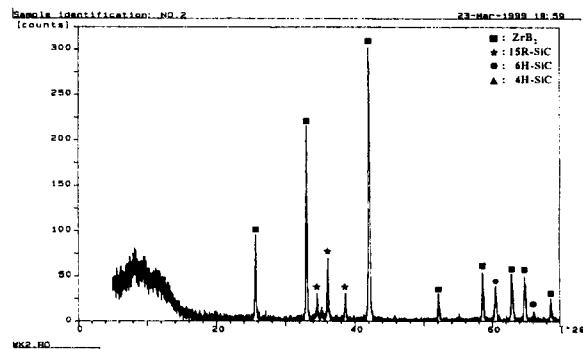
상대밀도는 SZ-A1, SZ-A2, SZ-A3 세 개의 시편에 대해 각각 여섯 개의 시편을 취하여 시편당 5회 실험한 측정치를 평균하였으며, 3wt%에서 97.3%로 가장 높게 나타나고 있으며, Al₂O₃+Y₂O₃의 첨가량이 증가할수록 기공률은 9.2 → 4.5 → 2.7%로 감소하고 있다. 이것은 SiC와 Al₂O₃, Y₂O₃의 액상 반응으로 나타난 휘발성 성분인 Al₂O, Y₂O, SiO, CO등의 영향보다는 Al₂O₃+Y₂O₃의 첨가량이 적을수록 액상 소결이 충분하지 않아 SiC의 elongated화가 방해되었기 때문으로 생각된다.

그림 2에서 나타난 바와 같이 XRD분석결과 ZrB₂입자는 SiC 기지상에 2차상으로 존재하고 SiC와 ZrB₂의 반응은 일어나지 않았으며 소결원조제로 첨가한 Al₂O₃와 Y₂O₃상은 나타나지 않고 있다. SiC는 15R상이 나타나고 있지만, 6H, 4H polytype으로 변하여 β상에서 α상으로의 상전이라도 보여주고 있다. 특히 SZ-A3 시편에서 2θ가 34.725° 일 때 4H-SiC상이 나타난 것으로 보아 상전이가 약간 많아진 것으로 생각된다. 그림 3에 나타난 바와 같이 미세구조 관찰

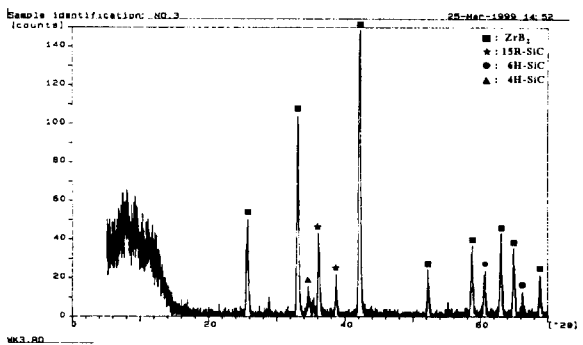
에서도 하얀 입자는 ZrB_2 상이고 회색 기지상은 SiC를 나타내고 있다.



(a) SZ-AY₁



(b) SZ-AY₂

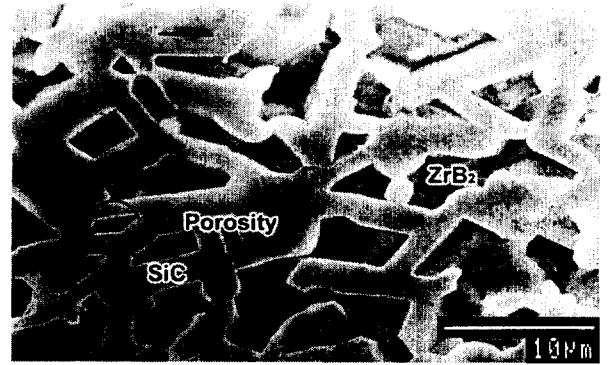


(c) SZ-AY₃

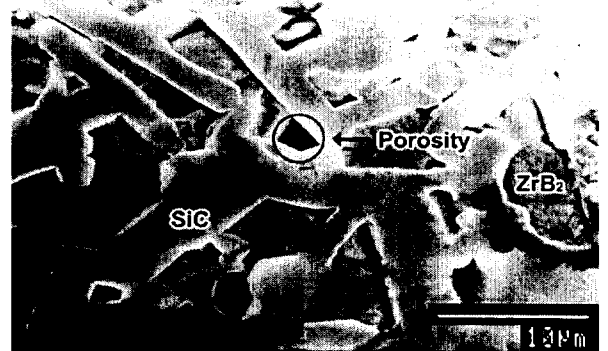
그림 2 SZ-AY₁, SZ-AY₂와 SZ-AY₃의 X선 회절분석
Fig. 2 X-ray diffraction analysis of SZ-AY₁, SZ-AY₂ and SZ-AY₃

3.2 적임강도

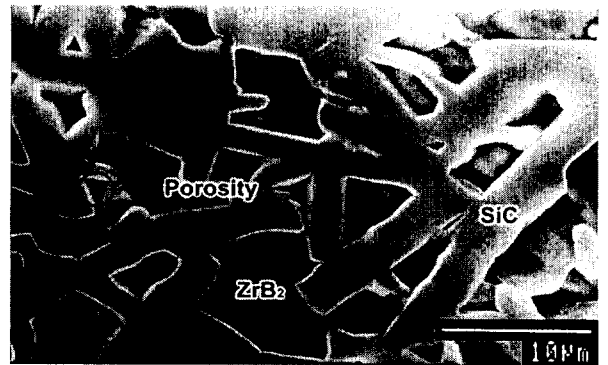
그림 4은 각 시편당 3회씩 3점 곡강도 시험법(JIS R1601)으로 실온에서 측정하여 적임강도의 평균값을 나타낸 것인데, SZ-AY₁가 299.1MPa로 낮게 나타나고, SZ-AY₂와 SZ-AY₃가 각각 313.8과 315.5MPa로 높게 나타나고 있다.



(a) SZ-AY₁



(b) SZ-AY₂



(c) SZ-AY₃

그림 3 SZ-AY₁, SZ-AY₂과 SZ-AY₃ 옛칭 표면의 SEM사진
Fig. 3 SEM micrograph of the etched surface of SZ-AY₁(a), SZ-AY₂(b) and SZ-AY₃(c)

이것은 기공률이 $Al_2O_3+Y_2O_3$ 의 첨가량이 증가할수록 줄어들어 상대밀도가 증가되었기 때문이다.

그림 3 (a), (b), (c)는 적임강도를 측정한 파단면의 옛칭한 표면을 나타낸 것이다. $Al_2O_3+Y_2O_3$ 의 첨가로 인한 액상 소결과 연성-취성인 ZrB_2 의 유연성 때문에 SiC의 입자 성장은 이루어지지만 elongated된 SiC 결정립의 면적분율이 그림 5에 나타난 바와 같이 SZ-AY₁ 보다는 SZ-AY₂와 SZ-AY₃가 각각 65%와 65.1%로 높게 나타나 있다. 이와같은 현상으로도 SZ-AY₂와 SZ-AY₃의 적임강도가 높게 나타나고 있는 이유를 보완 설명할 수가 있다.

파괴인성 등에 미치는 SiC 결정립의 면적분율의 영향을

조사하기 위해 그림 3에 나타난 SEM의 2차원 단면 조직내에서의 결보기 길이와 직경을 측정하여 곱한 것을 SiC결정립이 점유하는 면적으로하고 전체의 SiC 면적분율을 그림 5에 나타내었다. 그림 5에 나타난 바와 같이 $Al_2O_3+Y_2O_3$ 의 첨가량이 증가할수록 SiC의 면적분율이 높아지고 있다. 이것은 액상소결과정에서 SiC 입자의 elongated화가 더 많이 일어났기 때문이다.

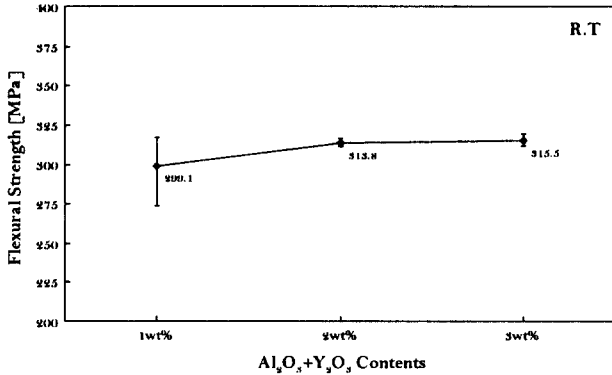


그림 4 $Al_2O_3+Y_2O_3$ 양의 변화에 따른 β -SiC+39vol.%ZrB₂의 3점굽 강도시험

Fig. 4 Three-point flexural strength of the β -SiC+39vol.%ZrB₂ with $Al_2O_3+Y_2O_3$ contents

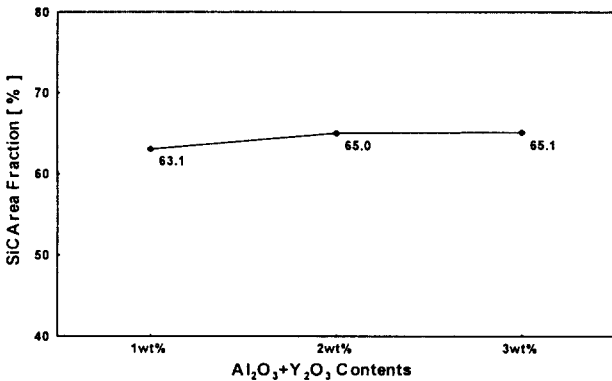


그림 5 $Al_2O_3+Y_2O_3$ 양의 변화에 따른 β -SiC+39vol.%ZrB₂의 �칭 표면에서의 elongated된 SiC grain의 면적분율

Fig. 5 Area fraction of the elongated SiC grain in the etched surface of the β -SiC+39vol.%ZrB₂ with $Al_2O_3+Y_2O_3$ contents

3.3 경도 및 파괴인성

그림 6는 실온에서 비커스 압인법으로 측정하여 경도의 최고, 최저 및 평균값을 나타낸것인데 $Al_2O_3+Y_2O_3$ 의 첨가량이 증가할수록 경도 값이 증가하고 있다. 이와 같이 증가되는 이유 중 하나는 액상소결을 위해 1, 2, 3wt%를 첨가한 $Al_2O_3+Y_2O_3$ 의 첨가량이 많을수록 액상소결과정에서 elongated된 SiC grain의 면적분율이 높아지기 때문이다.

그림 7은 실온에서 비커스 압인법으로 경도를 5회 측정하여 A. G. Evans & T. R. Wilshaw[3]의 식으로 파괴인성치

를 계산하여 최고, 최저 및 평균값을 나타낸 것이며 $Al_2O_3+Y_2O_3$ 의 첨가량이 2wt%와 3wt%일 때 평균 5.5와 5.3MPa·m^{1/2}으로 거의 같게 나타나고 있으며, 1wt%가 평균 4.8MPa·m^{1/2}으로 낮게 나타나고 있다.

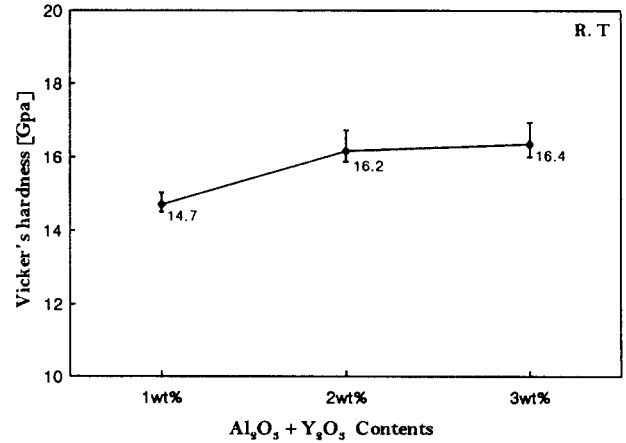


그림 6 $Al_2O_3+Y_2O_3$ 양의 변화에 따른 β -SiC+39vol.%ZrB₂의 Vicker's 경도

Fig. 6 Vicker's hardness of the β -SiC+39vol.%ZrB₂ with $Al_2O_3+Y_2O_3$ contents

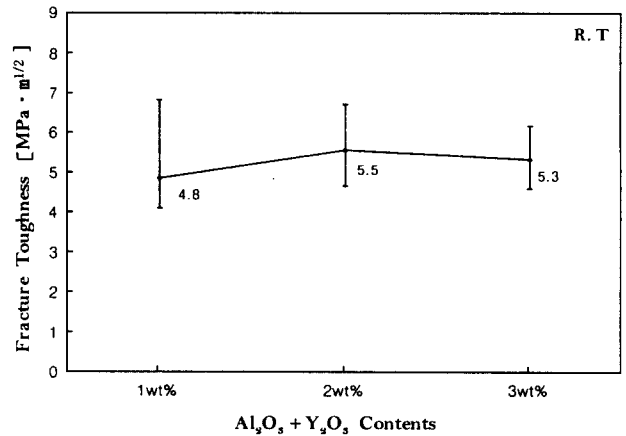
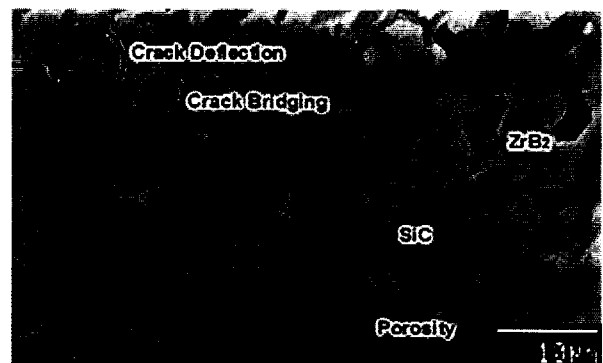
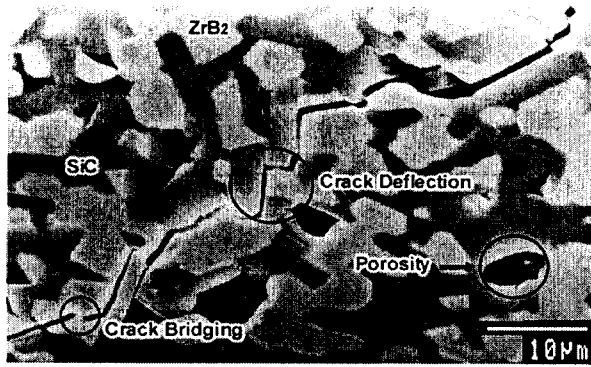


그림 7 $Al_2O_3+Y_2O_3$ 를 첨가한 β -SiC-ZrB₂의 파괴인성

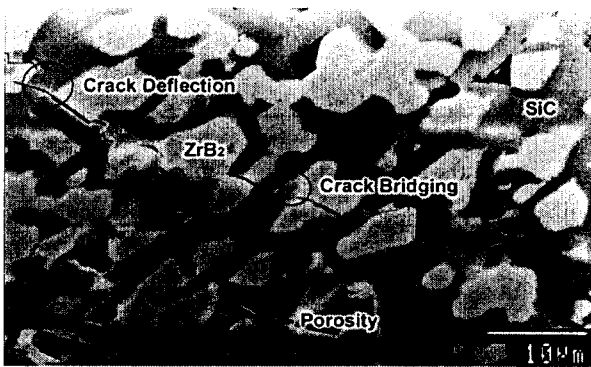
Fig. 7 Fracture toughness of the β -SiC+ZrB₂ with $Al_2O_3+Y_2O_3$ contents



(a) SZ-AY₁



(b) SZ-AI2



(c) SZ-AI3

그림 8 SZ-AI1, SZ-AI2과 SZ-AI3의 파괴거동 SEM 사진
Fig. 8 SEM micrographs of crack propagation of SZ-AI1, SZ-AI2 and SZ-AI3

파괴인성치는 SZ-AI2일 때 미세한 차이로 SZ-AI3보다 약간 높게 나타나는데 이것은 그림 8에 나타난 바와 같이 SiC의 입자가 elongated되어 파괴강도를 증가시키는 균열 편향 현상과 균열 가로 현상이 더 많이 나타나면서 직선적으로 지나가는 입내파괴의 형태는 더 적게 나타나고 있기 때문이다.

SZ-AI2일 때 파괴인성치의 평균치가 SZ-AI3보다 약간 높게 나타나고 있지만, SZ-AI1, SZ-AI2와 SZ-AI3의 각각 표준편차는 0.9, 0.6, 0.4로 Al₂O₃+Y₂O₃의 첨가량이 증가하면서 점차 줄어들고 분포도가 평균값 근처로 밀집되어지는 현상이 나타나고 있다.

그림 7에서도 나타난 바와 같이 SZ-AI2의 파괴인성치가 평균값에서 SZ-AI3보다 미세한 차이로 약간 높게 나타나더라도 분포도 면에서 보면 SZ-AI3보다는 산포도가 넓게 분포되어 나타나고 있다. 이러한 관점에서 보면 꼭 SZ-AI2가 SZ-AI3보다 파괴인성치가 높다고 볼 수는 없다.

전파 균열이 elongated된 SiC 결정립과 거의 직각으로 충돌하였을 때 결정립의 입내를 관통하지 못하고 결정입계를 따라 우회하는 것을 알 수 있다. 전파 균열이 elongated된 SiC 결정립과 충돌하면 균열의 진로는 SiC 결정립의 입내를 파단시키는데 필요한 에너지와 결정립계를 파단시키는데 필요한 에너지와의 상대적 크기차이에 의해 결정된다. SiC 결

정립의 입내 파괴에너지는 결정립이 elongated화가 될 수록 커질것이므로 elongated된 SiC 경우 전파에너지가 상대적으로 적은 입계를 따라서 균열이 편향되어 파괴인성치의 향상에 기여한다고 생각한다.

상대밀도가 낮아질수록 즉 기공률이 증가할수록 파괴인성치는 감소한다. 이것은 탄성계수 E가 $E = E_0(1-1.9E+0.9P^2)$ 에 따라서 최적분률의 기공률이 커지면 감소하기 때문이다 [6].

일반적으로 SiC 세라믹이 액상존재하에서 용해·석출과정에 의해 β 상으로부터 α 상으로 상전이에 의해 결정립의 형상이 등축립 조직에서 침상조직으로 변하며 상전이량이 많을수록 파괴인성치가 높게 나타난 것으로 잘 알려져 있다.

이상과 같은 파괴인성에 미치는 인자 즉 소결체의 상대밀도, 상전이 및 elongated된 SiC 입자의 면적분률이 증가하면 파괴인성치가 증가하게 되는 일반적인 경향과 본 실험결과가 잘 일치하고 있다.

3.4 전기저항률

전기저항률은 Pauw법[4]을 이용하여 세 가지 시편을 25℃에서 700℃사이의 온도 범위에서 측정하였으며, 그 결과를 그림 9에 나타내었다.

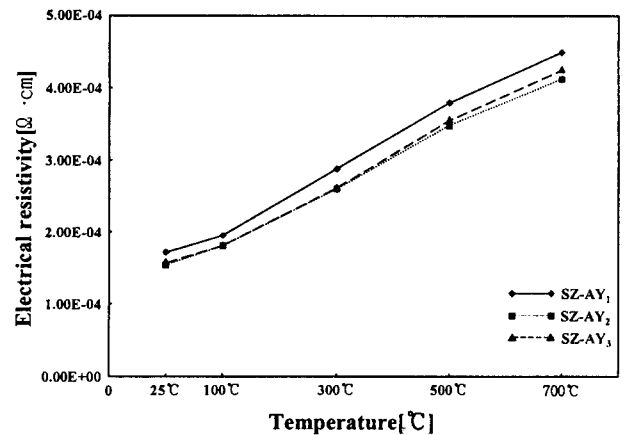


그림 9 SZ-AI1, SZ-AI2과 SZ-AI3 전기저항률의 온도 의존성
Fig. 9 Temperature dependence of electrical resistivity of SZ-AI1, SZ-AI2 and SZ-AI3

SZ-AI1, SZ-AI2과 SZ-AI3의 전기저항률은 25℃에서 각각 1.7 × 10⁻⁴ Ω · cm, 1.5 × 10⁻⁴ Ω · cm, 1.6 × 10⁻⁴ Ω · cm를 나타내었고, 700℃에서 각각 4.5 × 10⁻⁴ Ω · cm, 4.1 × 10⁻⁴ Ω · cm, 4.3 × 10⁻⁴ Ω · cm로 증가하고, SZ-AI1, SZ-AI2, SZ-AI3 모두 선형성을 지닌 PTCR특성을 나타내고 있다. 이것은 제 2종 Ni-Cr의 전기저항률 1.1 × 10⁻⁴ Ω · cm와 고온가압소결법으로 제조한 α-SiC+39vol.%ZrB₂의 전기저항률 1.1 × 10⁻⁴ Ω · cm(25℃)[1]보다 약간 높은 값이다.

전기저항률이 높게 나타난 이유는 첨가제인 Al₂O₃+Y₂O₃가 고온에서 액상 소결되는 과정에서 휘발 성분이 발생하면

서 기공이 생성되었기 때문이며 고온가압소결법으로 제조한 α -SiC+39vol.%ZrB₂[1]의 상대밀도 99%보다 낮기 때문이다.

4. 결 론

β -SiC+39vol.%ZrB₂ 복합체에 Al₂O₃+Y₂O₃의 첨가량을 1, 2, 3wt%로 변화시켜 고온가압과 4시간 동안 열처리에 의하여 소결한 복합체의 특성을 조사한 결과는 다음과 같다.

1) β -SiC와 ZrB₂의 반응은 나타나지 않고 단지 ZrB₂가 2차상으로 존재하면서 약 90.8%이상의 상대밀도를 나타내었다. SiC는 6H, 4H polytype으로 변하여 β 상에서 α 상으로 약간의 천이를 보여주고 있으며, 15R상도 나타나고 있으며 Al₂O₃+Y₂O₃의 첨가량이 3wt%일 때 2θ 가 34.725° 때 4H-SiC상이 나타나 상전이가 약간 많이 나타나고 있다.

2) 파괴인성치는 Al₂O₃+Y₂O₃의 첨가량이 1, 2, 3wt%일 때 각각 4.8, 5.5, 5.3MPa·m^{1/2}로 나타나고 있다. 파괴인성치의 표준편차는 1wt%일 때 가장 높고, 3wt%일 때 가장 낮게 나타나고 있으며 elongated SiC 면적분율은 2, 3wt%일 때 65%와 65.1%로 높게 나타나고 있다.

3) Al₂O₃+Y₂O₃의 첨가량이 1, 2, 3wt%일 때 전기저항률은 25°C에서 각각 1.7×10⁻⁴Ω·cm, 1.5×10⁻⁴Ω·cm, 1.6×10⁻⁴Ω·cm을 나타내었고, 700°C에서 각각 4.5×10⁻⁴Ω·cm, 4.1×10⁻⁴Ω·cm, 4.3×10⁻⁴Ω·cm로 증가하며, 모두 선형성을 지닌 PTCR특성을 나타내었다.

감사의 글

이 논문은 2000학년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 연구됨.

참 고 문 헌

- [1] Yong Deok Shin and Yong Kap Park "Properties of Hot-Pressed SiC-ZrB₂ Electro Conductive Ceramic Composites" Trans. KIEE. Vol. 46, NO. 4, pp. 566-572, 1997.
- [2] Yong Deok Shin and Jin Young Ju "Properties and Manufacture of the β -SiC-ZrB₂ Composites Densified by Liquid-Phase Sintering" Trans. KIEE. Vol. 48 C, NO 2, pp. 92-97, 1999.
- [3] A. G. Evans and T. R. Wilshaw "Quasi-Static Solid Particle Damage in Brittle Solids-1. Observation Analysis and Implication" Acta Metallurgica. Vol. 24, pp. 939-956, 1976.
- [4] "Philips Research Reports" Philips Res. Repts 13, 1-9, 1958.
- [5] Yong Deok Shin "Electric Discharge Machining of Hot-Pressed SiC-ZrB₂ Composites Ceramic" Trans. KIEE. Vol. 46, NO. 7, pp. 1062-1067, 1997.
- [6] William D. Callister, JR. "Materials Science and Engineering an Introduction" p. 403, Fourth Edition, John Wiley & Sons, Inc., 1997.

저 자 소 개



황 철 (黃 澈)

1974년 10월 25일생. 1999년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 석사과정.

Tel : 0653-850-6736, Fax : 0653-850-6736

E-mail : chul74@shinbiro.com



윤 세 원 (尹 世 原)

1974년 1월 25일생. 1999년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 석사과정.

Tel : 0653-850-6736, Fax : 0653-850-6736

e-mail : sel@shinbiro.com



주 진 영 (朱 陳 榮)

1974년 5월 16일생. 1997년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

Tel : 0653-850-6736, Fax : 0653-850-6736

E-mail : nympe@shinbiro.com



신 용 덕 (辛 龍 德)

1953년 11월 18일생. 1983년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 1983년~1988년 동 대학교 연구조교 및 강사. 1988년~1990년 계양전기(주) 중앙연구소 차장. 1991년 성균관대 대학원 전기공학과(공박). 1998년 PennState Univ. Visiting Professor.

현재 원광대 공대 전기전자공학부 부교수.

Tel : 0653-850-6736, Fax : 0653-850-6736

E-mail : ydshin@wonms.wonkwang.ac.kr