

SiC-ZrB₂系 導電性 複合세라믹스의 放電加工
Electrical Discharge Machining of SiC-ZrB₂
Electroconductive Ceramic Composites

辛 龍 德

Yong-Deok Shin

圓光大學校 工科大学 電氣工學科

Dept. of Elec. Eng., WonKwang Uni.

Abstract - The influences of ZrB₂ additives to the SiC and pulse width on electrical discharge machining of SiC-ZrB₂ electroconductive ceramic composites were investigated.

Higher-flexural strength materials show a trend toward smaller crater volumes, leaving a smoother surface; the average surface roughness of the SiC-ZrB₂ 15 Vol.% Composite with the flexural strength of 375Mpa was 3.2 μm, whereas the SiC-ZrB₂ 30 Vol.% composite of 457Mpa was 1.35 μm. In the SEM micrographs of the fracture surface of SiC-ZrB₂ composites, the SiC-ZrB₂ two phases are distinct; the white phase is the ZrB₂. In the micrograph of the EDM surface, however, these phases are no longer distinct because of thicker recast layer of resolidified-melt-formation droplets present.

1. 서론

파인세라믹스의 가공법중 다이아몬드지석에 의한 연삭, 연마 가공이 현재 실용적으로

광범위하게 이용되고 있다. 이 가공법은 고가의 다이아몬드지석을 사용하기 때문에 가공효율이 좋다고 할 수 없으며 가공비용이 높고 복잡한 형상의 부품제작이 어려워 SiC를 주성분으로 한 파인세라믹스를 실용화하는데 커다란 장애가 되고 있다.[1,2]

위와 같은 문제를 해결하기 위해서는 전기적 가공법인 방전가공이 가능하도록 SiC에 도전성 물질을 첨가하여 도전성 세라믹 복합체를 제조하면 된다.[3,4]

열화학적으로 안정한 IV-IV화합물 반도체인 SiC는 강한 공유결합성으로 난 소결성이며 높은 경도와 파괴인성이 낮은 결점이 있는데 도전성물질을 첨가함으로써 결점을 또한 개선 할 수도 있다.[5,6]

본 연구에서는 SiC에 ZrB₂의 첨가량 15, 30, 45 Vol%에 따른 기계적, 전기적 특성이 와이어 방전가공에 미치는 영향을 평가할 목적으로 SiC-ZrB₂계 도전성 세라믹 복합체[7]의 가공속도, 가공면상태 및 용융물의 EDS분석등의 방전가공특성을 조사하였다.

2. 실험 방법

2.1 시료의 제작

본 실험에서 사용된 α-SiC 분말과 첨가제인 ZrB₂ 분말(평균입경은 2μm)은 (독) IICST 사의 산업용 분말을 사용하였다. α-SiC는 소결조제로 Boron(0.5wt.%)와 Carbon(3.0wt.%)이 혼합된 분말이며 평균입경은 0.5 μm, 비표면적은 15 m²/g이다. α-SiC 와 ZrB₂ 분말을 각각 15, 30, 45 Vol.%에 따라 아세톤 용액으로 폴리우레탄

jar 에서 SiC 분을 사용하여 24시간 습식 분말 밀링한 후 건조하였다. 건조 후 응집체를 없애기 위하여 100 μ m 이하로 입도조절하였다. 입도조절한 분말은 유기결합체를 제거하기 위하여 탈지로를 이용하여 700 $^{\circ}$ C 질소분위기하에서 6 시간동안 탈지시켰다. 소결은 고온가압 소결법으로 SiC-ZrB₂ 혼합 분말을 내부를 graphite foil로 둘러싼 60mm ϕ , 150mm l 크기의 흑연 몰드에 넣고 흑연유도가열식 가압소결로 (Vacuum Industry)에서 진공도 10⁻⁴ torr 조건하의 상온에서 1000 $^{\circ}$ C 까지 40 $^{\circ}$ C/min, 1000~2000 $^{\circ}$ C까지 20 $^{\circ}$ C/min의 승온속도로 가열하였다. 압력은 상온에서 1000 $^{\circ}$ C 까지 5 MPa 로 유지시킨 후 1000 $^{\circ}$ C~2000 $^{\circ}$ C 까지 매 200 $^{\circ}$ C 승온할 때 5 MPa 로 승압한 후 2000 $^{\circ}$ C 에서 60 분간 유지시켰다. 냉각과 강압은 승온, 승압의 반대조건으로 하였으며 1000 $^{\circ}$ C 이후에는 로빙시켰다.

2.2 피가공재 및 방전가공기

피가공재료로 이용된 SiC-ZrB₂계 도전성 세라믹 복합체의 조성, 기계적, 전기적 및 열적 성질을 표1에 나타내었다.[7]

표 1 SiC-ZrB₂계 도전성 세라믹 복합체의 특성
Table 1 Properties of electroconductive SiC-ZrB₂ ceramic composites

Compositions (Vol.%)	SiC	85	70	65
	ZrB ₂	15	30	45
Relative Density(%)		99	99	99
Flexural Strength(MPa) R.T(Room Temp.)		375	457	400
Vicker's Hardness (GPa) R.T		20.54	19.59	18.07
Fracture Toughness (MPa · m ^{1/2}) R.T		3.38	4.55	5.05
Thermal Expansion ($\times 10^{-6}/^{\circ}$ C)	R.T ~537 $^{\circ}$ C	1.98	2.51	3.22
	537 ~766 $^{\circ}$ C	-1.52	2.51	3.22
	766 ~822 $^{\circ}$ C	-31.26	2.51	3.22
	822 ~1360 $^{\circ}$ C	-9.17 $\times 10^{-2}$	2.51	3.22
Electrical Resistivity (Ω -Cm) R.T		9.52 $\times 10^{-3}$	6.50 $\times 10^{-4}$	5.37 $\times 10^{-4}$

실험가공은 대우 중공업의 A320D (sodick Ex21 ; Japan) wire 방전 가공기를 이용하였다.

그림 1은 Wire-EDM (Electrical Discharge Machining)의 작업공정을 나타낸 것이다.

2.3 와이어 방전가공

피가공재료인 SiC-ZrB₂ 복합체의 가공 시작과 끝의 영향을 무시하기위해서 가공

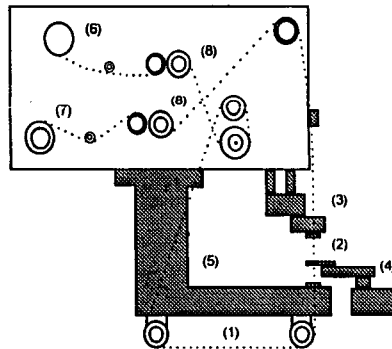
길이를 두께 5mm보다 충분히 긴 20mm를 방전가공하여 가공속도를 구하였다. 와이어 방전가공시의 각종 파라메타는 표 2와 같다.

표 2 와이어 방전가공의 조건
Table 2 Conditions of wire-EDM

On Time $\tau_{on}(\mu$ s)	1	2	3	4	5
Off Time $\tau_{off}(\mu$ s)	19				
Duty Factor(%)	5	9.5	13.6	17.4	20.8
Polarity	-				
Wire Material and Thickness	Brass=Cu(70%) +Zn(30%) ,0.25mm ϕ				
Wire Tension	400g				
Wire Speed	5.8m/min				

2.4 가공면의 조도측정과 상태관찰

가공면의 표면 조도측정은 Roughness Tester[SEF-30D, Kosaka co.]를 이용하였고 기준길이는 15mm로 하였다. SEM (JSM-840A, Jeol co.) 과 EDS (Link AN10-9, Link analytical co.) 에 의하여 가공면의 상태와 용융물을 분석하였다.



Components include (1) wire (cathode), (2) workpiece (anode), (3) wire-guide table, (4) workpiece table, (5) machine body, (6) wire spool, (7) used-wire spool, and (8) wire-tension adjusters.

그림 1 Wire-EDM의 작업 공정
Fig. 1 Process works of wire-EDM

3. 실험결과 및 고찰

3.1 가공속도

SiC-ZrB₂ 복합체의 방전가공은 이론이나 실험식이 아직 확립되어있지 않지만 다음과 같은 식을 이용하여 평가 하였다.

$$W \propto I_p^{3/2} \frac{\tau_{on}}{\tau_{on} + \tau_{off}} \dots (1)$$

$$R_{ma} \propto I_p \tau_{on}^{0.38} \dots (2)$$

(1)식은 피가공재료의 전기전도도가 10²s/cm 이상의 금속에 일반적으로 이용되고 있으며 (2)식은 방전흔에 의해 표면 조도를 구한 식이다.[2]

가공속도 W는 피크전류 I_p와 전류의 펄스폭 τ_{on} 에 따라 비례하므로 펄스폭과 피크전류를 크게하면 방전가공량이 많아져

서 가공시간이 짧아지지만 가공조건 R_{max} 는 커져서 표면조도가 불량하게 된다.

그림 2는 SiC에 ZrB_2 를 30Vol.% 첨가한 복합체의 가공속도에 미치는 펄스폭의 영향을 나타낸 것으로 펄스폭이 1 μs 씩 증가함에 따라 (1)식에 나타난 바와 같이 충격계수에 따라 가공속도가 증가하였다.

그림 3은 SiC- ZrB_2 복합체의 ZrB_2 의 첨가량에 따라 가공속도를 나타낸 것으로 첨가량이 증가할 수록 가공속도는 낮아지고 있다.

이것은 SiC 매트릭스상(용점; 2700 $^{\circ}C$)이 ZrB_2 상(용점; 3200 $^{\circ}C$)보다 용점이 낮으므로 방전에너지에 의해 먼저 용융기화되고 난 후 ZrB_2 상과 함께 용융유동되므로 ZrB_2 첨가량이 증가할 수록 가공속도가 낮아진 것으로 사료된다.

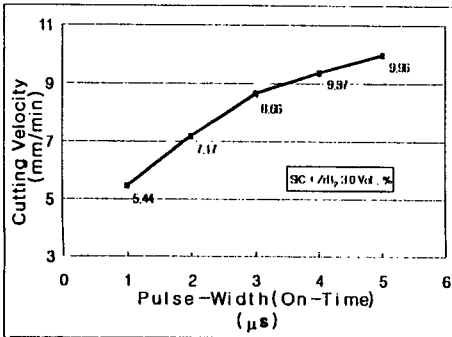


그림 2 가공속도에 미치는 펄스폭의 영향
Fig. 2 Effect of pulse width on cutting velocity

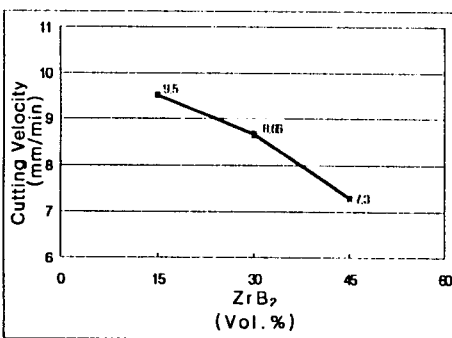


그림 3 가공속도에 미치는 ZrB_2 의 영향
Fig. 3 Effect of ZrB_2 content on cutting velocity

3.2 가공면의 상태

3.2.1 EDM표면의 조도

모든 방전가공은 방전에너지에 의해 방전흔을 발생시키는데 그의 가공면은 위치에 따라 방전흔이 중첩 될 수가 있고 용융기화상태에서 재 용고하며 입자들이 불규칙적인 모양이나 구립으로 나타난다.

그림 4는 SiC에 ZrB_2 를 30Vol.% 첨가한 복합체의 표면조도에 미치는 펄스폭의 영향을 나타낸 것이다. 펄스폭 1 μs 증가함에 따라, 최대조도 R_{max} 와 평균조도 R_a 가 약간 증가하는 경향이 있으나 펄스폭이 2 μs 일 때 가장 크게 나타나기 때문에 (2)식과 일치한다고 볼 수는 없다. 이것은 방전 에너지에 의해 용융기화상태에서 재 용고할 때 불규칙적인 입자 모양을 나타내기 때문이라고 사료된다.

그림 5는 SiC- ZrB_2 복합체의 ZrB_2 첨가량에 따른 표면 조도를 나타낸 것으로 15Vol.% 첨가일 때 가장 높게 나타나고, 45Vol.%, 30Vol.% 순으로 낮아지고 있다. 이것은 표 1에 나타난 꺾임 강도의 역수에 비례함을 알 수 있다. 즉, 꺾임강도가 375MPa로 가장 낮은 15Vol.% 때 R_a 가 3.2 μm 로 가장 저철고 457MPa로 가장 높은 30Vol.% 때가 1.35 μm 로 가장 스무스하다.

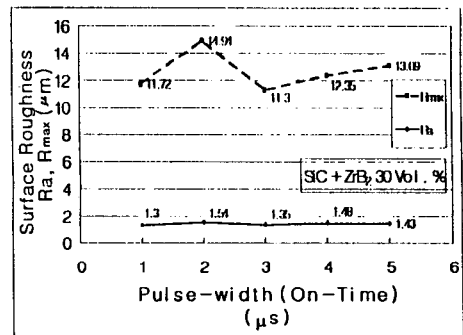


그림 4 표면 조도에 미치는 펄스폭의 영향
Fig. 4 Effect of pulse-width on surface roughness

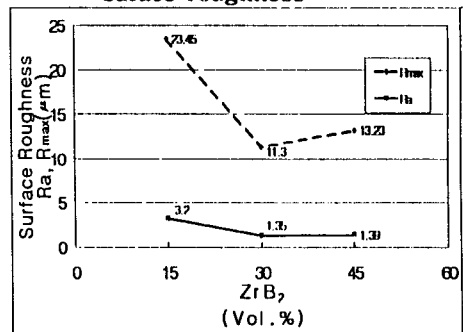


그림 5 표면 조도에 미치는 ZrB_2 의 영향
Fig. 5 Effect of ZrB_2 content on surface roughness

3.2.2 EDM표면의 SEM관찰

그림 6은 SiC에 ZrB_2 30Vol.%를 첨가한 SiC- ZrB_2 복합체의 EDM표면에 미치는 펄스폭의 영향을 나타내는 SEM사진으로 거의 같은 표면의 형태이고 그림 7은 SiC- ZrB_2 복합체의 EDM표면에 미

치는 ZrB_2 의 영향을 나타낸 SEM사진으로 ZrB_2 의 첨가량이 적을 수록 유동형상이 크게 나타나고 돌출부의 변질층의 중첩이 더 많은 것으로 판단된다.

그림 8에 나타난 바와 같이 SiC- ZrB_2 계 복합체의 파단면에서는 하안입자의 ZrB_2 와 회색부분의 SiC 매트릭스상이 반응하지 않고 2차상으로 균일하게 분포되어 구분이 되는 반면에 그림 6, 7의 EDM표면에서는 두상을 더 이상 구분할 수가 없다. 이것은 돌출부의 변질층으로 방전에너지에 의해 용융기화 상태에서 재 응고된 형태로 SiC- ZrB_2 성분이 혼재된 상태이기 때문이라고 사료된다.

기공부위는 물방울의 형태로 용융기화 상태에서 재 응고된 후의 전형적인 기공이다. SiC 매트릭스상이 ZrB_2 상 보다 용점이 낮으므로 먼저 용융기화되고 난 후 ZrB_2 상과 함께 용융유동되었음을 관찰할 수가 있어 방전가공의 진행방향을 또한 알 수가 있다. 열적크랙은 용융이 발생하지 않고 방전가공조건인 On-time(τ_{on})과 Off-time(τ_{off})와 냉각수 및 재료특성에 따른 주기적인 열충격변화에 의해 재료의 팽창, 수축이 일어나는 기계적인 파손이라 할 수 있다.

그림 6, 7에 나타난 바와 같이 열적크랙은 발생하지 않은 것으로 사료된다.

3.2.3 EDM 표면의 EDS의 분석

EDM 표면의 EDS의 분석결과를 보면 그림 9에 나타난 바와 같이 기공부위는 ZrB_2 첨가량이 증가함에 따라 Zr이 많아지고 Si는 다소 적어지지만 거의 변화가 없는 것으로 나타난다.

또 입자등의 불규칙적인 모양의 형태로 용융기화상태에서 재 응고된 돌출부위의 변질층은 ZrB_2 첨가량이 증가함에 따라 Si는 적어지고 Zr은 많아지는데 그 변화폭은 다소 크게 나타나고 있다.

4. 결론

SiC- ZrB_2 계 도전성 세라믹복합체의 와이어 방전가공특성을 조사한 결과 다음과 같다.

1. SiC에 ZrB_2 를 30Vol.% 첨가한 복합체의 가공속도에 미치는 펄스폭의 영향은 펄스폭이 1 μ s씩 증가 하면 충격계수에 따라 증가한 반면에 표면조도에 미치는 영향은 약간증가하는 경향은 있으나 비례적이라고는 볼 수 없다.
2. SiC- ZrB_2 의 복합체에서 ZrB_2 의 첨가량에 따른 가공속도는 첨가량이 증가할 수록 낮아지고 표면조도는 꺾임강도가 375MPa로 가장 낮은 15Vol.%때 R_a 가 3.2 μ m로 가장 거칠고 457MPa로 가장높은 30Vol.

%때가 1.35 μ m로 가장 스무스하여 꺾임강도의 역수에 비례함을 알 수 있다.

3. SiC에 ZrB_2 를 30Vol.% 첨가된 복합체의 EDM표면에 미치는 1 μ s씩 증가한 펄스폭의 영향은 크지않고 SiC 매트릭스상과 ZrB_2 상을 구분하여 관찰할 수가 없다.
4. SiC- ZrB_2 의 복합체에서 ZrB_2 의 첨가량에 따른 EDM표면은 첨가량이 감소할 수록 용융유동현상이 심하여 방전가공의 진행방향을 또한 알 수가 있다.
5. 용융기화상태에서 재 응고된 형태로 기공부위와 돌출부위의 변질층은 생성되었으나 열적크랙은 발생하지 않았다.

참고문헌

1. Kazuo Mannami, Kohzo Sakai and Masataro Okuniya, "Electro Discharge Machining of ZrB_2 -Based Composite Ceramics", *Yogyo-Kyokai-Shi*, 94[1], PP 214-223, 1986
2. Nobuyuki Tamari, Isao Kondo, Kazuo Ueno and Yasu Toibana, "Electrical Discharge Machining of Si_3N_4 -SiC Whisker Composite Ceramics", *Yogyo-Kyokai-Shi*, 94[12], PP 1231-1235, 1986
3. Mamora Nakamura, Kouzou Kanayama, Wataru Kanematsu and Yukio Hirai, "Electro-Discharge Machining of Ceramics (Part 2)-On Electro-Conductive β -sialon and Titanium Nitride Ceramics Composite-", *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 96[9] PP 901-906, 1988
4. Mamora Nakamura, Katsushi, and Yakio Harai, "Electro-Discharge-Machining of Reaction Bonded Silicon Carbide(RB-SiC)", *Yogyo-Kyokai-Shi*, 92[11], PP 54-59, 1984
5. V.D.Kristic, "Optimization of Mechanical properties in SiC by Control of the Microstructure", *Mater. Res.Soc.Bull.*, 20[2], PP 46-48, 1995
6. Mideto Ihashiguchi and Hisashi Kinugasa, "Electrical Resistivity of α -SiC Ceramics Added with NiO",

Journal of the Ceramic Society of Japan, 102[2], PP 160-164, 1994
 7.Yong-Deok Shin and Yong-Kap Park, "Properties of ElectroConductive SiC-ZrB₂ Composites" KIEE 96 Annual Summer Conference, PP 1512-1515, 1996

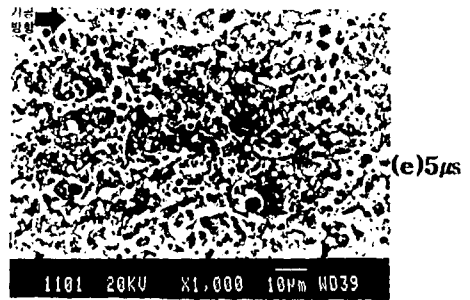
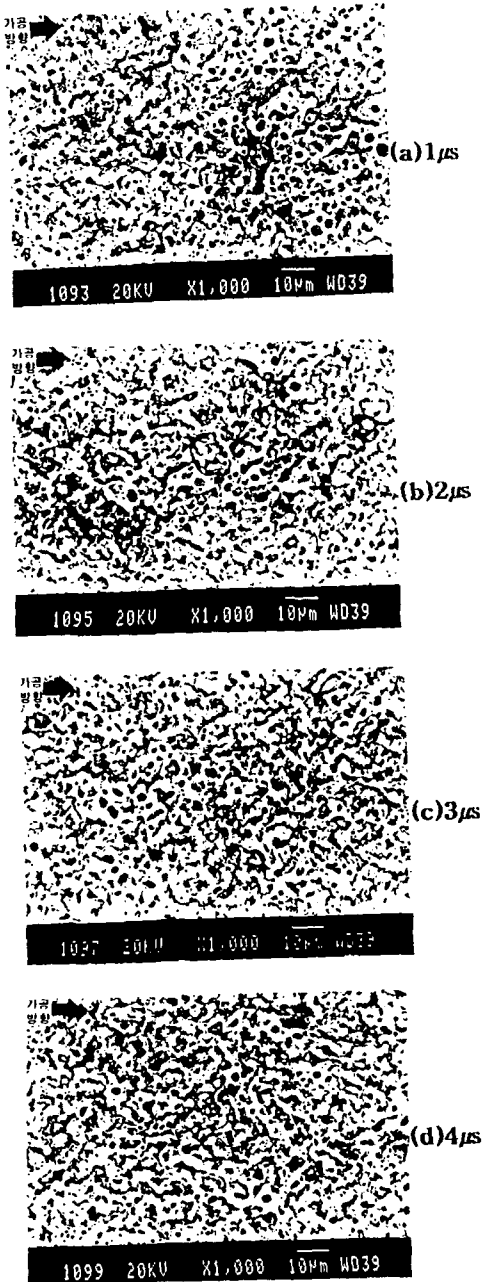


그림 6 펄스폭에 따른 SiC-ZrB₂ 30Vol.% 복합체의 EDM표면의 SEM 사진

Fig. 6 SEM of EDM surface of SiC-ZrB₂ 30Vol.% composites as a function of pulse-width

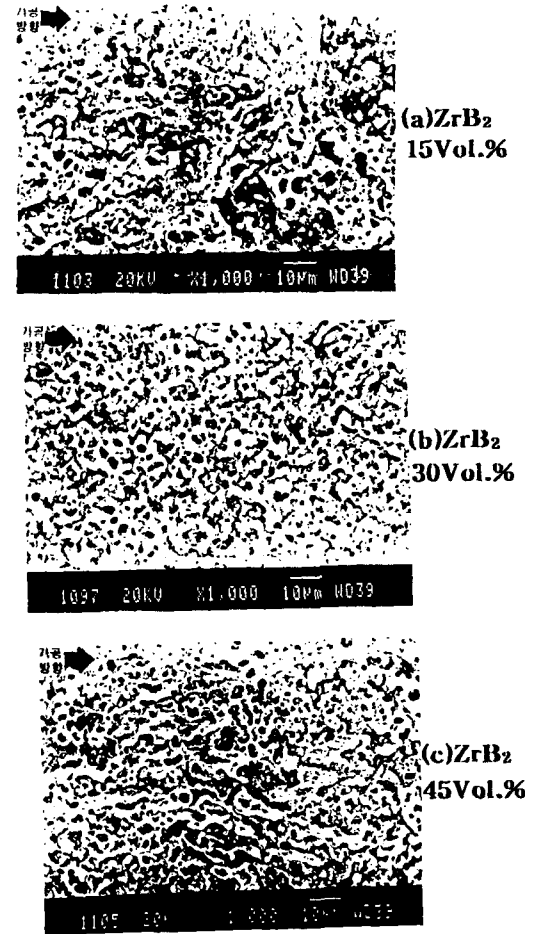
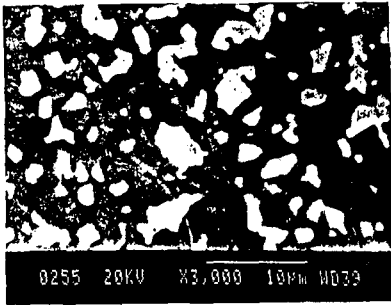
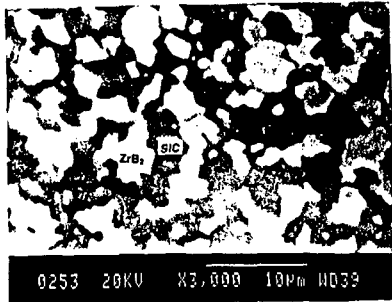


그림 7 ZrB₂첨가량에 따른 SiC-ZrB₂ 복합체의 EDM표면의 SEM 사진

Fig. 7 SEM of EDM surface of SiC-ZrB₂ composites as a function of ZrB₂ content



(a)ZrB₂
15Vol.%



(b)ZrB₂
30Vol.%



(c)ZrB₂
45Vol.%

그림 8 ZrB₂첨가량에 따른 SiC-ZrB₂ 복합체의 파단면의 SEM사진

Fig. 8 SEM of fracture surface of SiC-ZrB₂ composites as a function of ZrB₂ content

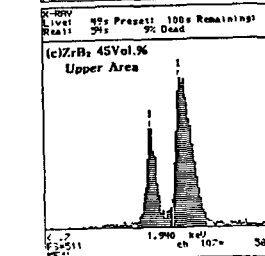
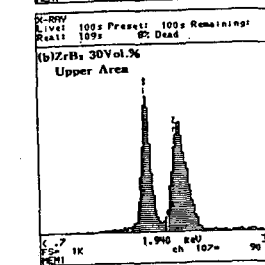
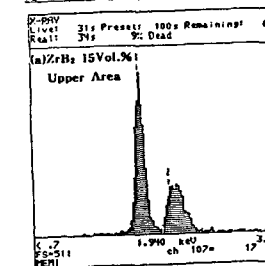
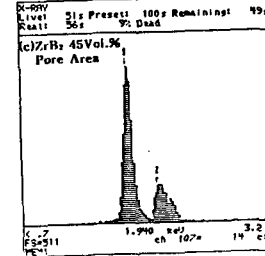
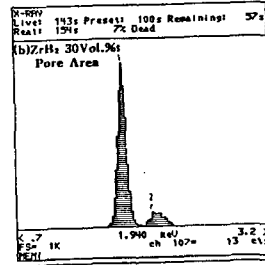
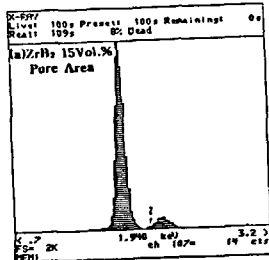


그림 9 ZrB₂첨가량에 따른 SiC-ZrB₂ 복합체의 EDM표면의 EDS분석
Fig. 9 EDS analysis of EDM surface of SiC-ZrB₂ composites as a function of ZrB₂ content