

세라믹(SiC) 소재의 연삭가공 특성 분석

박휘근*[#], 박상현*, 박인승*, 양동호*, 차승환*, 하병철*, 이종찬*

*금오공과대학교 기계설계공학과

Analysis of Grinding Characteristics of Ceramic (SiC) Materials

Hwi-Keun Park*[#], Sang-Hyeon Park*, In-Seung Park*, Dong-Ho Yang*, Seung-Hwan Cha*,
Byeong-Cheol Ha*, Jong-Chan Lee*

*School of Mechanical Engineering, KUMOH UNIV.

(Received 5 December 2017; received in revised form 7 January 2018; accepted 30 January 2018)

ABSTRACT

Silicon carbide (SiC) is used in various semiconductor processes because it has superior thermal, mechanical, and electrical characteristics as well as higher chemical and corrosion resistance than existing materials. Due to these characteristics, various manufacturing technologies have been developed for SiC. A recent development among these technologies is Chemical Vapor Deposition SiC (CVD-SiC). Many studies have been carried out on the processing and manufacturing of CVD-SiC due to its different material characteristics compared to existing materials like RB-SiC or Sintered-SiC. CVD-SiC is physically stable and has excellent chemical and corrosion resistance. However, there is a problem with increasing the thickness, because it is manufactured through a deposition process. Additionally, due to its high strength and hardness, it is difficult to subject to machining.

Key Words : Grinding Characteristics Analysis(연삭 특성 분석), Grinding Force(질삭력), Material Removal Rate(재료제거율), Specific Grinding Energy(비 연삭에너지), Surface Roughness(표면거칠기)

1. 서 론

SiC 소재는 열, 기계적, 내 화학특성, 전기적 특성, 내식성 등이 기존 소재들보다 우수하여 다양한 반도체 공정에 적용이 되고 있다. 이에 다양한 제조기술을 접목하여 개발이 진행되고 있는데, 최근에 업계의 이슈화가 되고 있는 SiC 소재가 화학증착법을 이용하여 제조되는 CVD-SiC이다^[1].

CVD-SiC 소재는 제조기술이 다른 SiC 소재와는 확연히 다르기 때문에 제조기술에서부터 가공기술에 이르기까지 많은 연구가 진행되고 있다.

CVD-SiC 소재는 물성 적으로 안정되고, 내식성 및 내 화학적 안정성이 뛰어나다. 또한, 경도 및 강도가 높아 기존 Sintered-SiC, RB-SiC 소재보다 기계 가공의 어려운 단점을 가진다.

본 논문에서는 CVD-SiC 소재가 기존 소재인 Sintered-SiC, RB-SiC 소재와 동일하거나 그 이상의 기계 가공 특성을 가지는지 확인하기 위하여 연삭 가공 특성에 대한 연구를 수행하였다.

Corresponding Author : aircraft2743@kumoh.ac.kr

Tel: +82-54-478-7382, Fax: +82-54-478-7319

2. 실험장치 및 조건

2.1 피삭재

본 실험에서 사용한 피삭재는 화학증착법으로 제조된 CVD-SiC, 상압소결법으로 제조된 Sintered-SiC, 반응소결법으로 제조된 RB-SiC 3개의 소재이며 크기는 83×65×11mm로 제작하였으며, Fig. 1에 나타내었다. 각 소재의 물성치는 Table 1~3에 나타내었다.

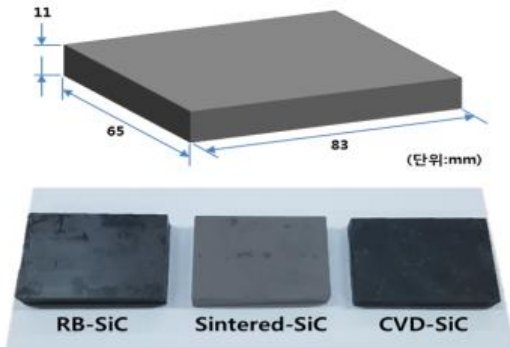


Fig. 1 Shape of workpiece

Table 1 Mechanical properties of CVD-SiC

Items	Value	Unit
Density	3.2	g/cm^3
Hardness	30	GPa
Flexural Strength(3P)	582	MPa
Young's Modulus of Elasticity	466	GPa
Poisson's Ratio	0.21	-
Fracture Toughness	2.94	$MPa \cdot m^{1/2}$

Table 2 Mechanical properties of Sintered-SiC

Items	Value	Unit
Density	3.1	g/cm^3
Hardness	27.5	GPa
Flexural Strength(3P)	428	MPa
Young's Modulus of Elasticity	430	GPa
Poisson's Ratio	0.14	-
Fracture Toughness	4	$MPa \cdot m^{1/2}$

Table 3 Mechanical properties of RB-SiC

Items	Value	Unit
Density	2.9	g/cm^3
Hardness	24.5	GPa
Flexural Strength(3P)	274	MPa
Young's Modulus of Elasticity	393	GPa
Poisson's Ratio	0.22	-
Fracture Toughness	4.5	$MPa \cdot m^{1/2}$



Fig. 2 Surface grinding machine

2.2 장치 구성도

본 실험에서는 유일기계사의 평면연삭기 (Model : YGS-63 SCZ)를 사용하였으며, Fig 2에 나타내었다. 연삭저항력 측정 장치는 Fig. 3과 같이 연삭 가공 시 발생하는 연삭저항력을 측정하기 위해 압전형 공구동력계(piezo-electric Type Tool dynamometer, Kistler 9254)를 연삭기 테이블에 설치하고 그 위에 공작물인 CVD-SiC, Sintered-SiC, RB-SiC 3개의 소재를 본딩을 이용하여 접촉한 지그를 고정하였다.

연삭실험 시 연삭 휠과 공작물의 상대운동에 의해 발생되어지는 힘은 압전형 공구동력계에서 발생

하는 아날로그 신호로 변환되어 다채널 증폭기(Multichannel charge amplifier)에서 신호가 증폭된 후 아날로그-디지털 변환기(A/D converter)를 거쳐 디지털 신호로 변환되어 PC로 전송된다.

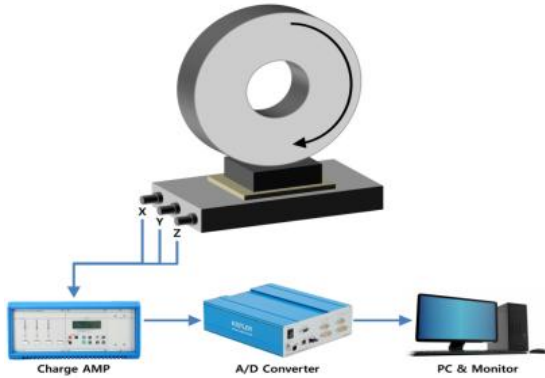


Fig. 3 Experimental set-up for measuring grinding force

Table 4 Specification of Surface Roughness measurement

Manufacturer		Mitutoyo
Model		SJ-210
Z - axis range/resolution		360 μ m/0.0256 μ m, 100 μ m/0.0064 μ m, 25 μ m/0.0016
Cut off	λ s	0.08, 0.25, 0.08, 2.5mm
	λ c	2.8, 8 μ m
Detector		Detection method : Differential inductance method Measurement range : 360 μ m (-200 ~ 160 μ m) Stylus material : Diamond Tip radius : 5 μ m Measuring force : 4mN Drive range : 21mm Measurement : 0.25mm/s, 0.5mm/s, 0.75mm/s Return : 1mm/s
Sampling length		0.08, 0.25, 0.8, 2.5mm

Table 5 Experimental conditions for grinding

Grinding machine	Horizontal spindle surface grinding machine
Workpieces	CVD-SiC, Sintered-SiC, RB-SiC
Wheel	SDC170L100BW
Wheel speed	1,700rpm(1870m/min)
Table speed	2, 4, 6, 8 m/min
Depth of cut	5, 10, 15, 20 μ m
Grinding type	Plunge & Wet

PC로 전송된 Data를 이용하여 주분력 F_t 와 배분력 F_n 으로 나누어 수치 및 도시화되며, 이를 이용하여 각 조건에 따른 연삭저항력을 비교분석 한다. 연삭 가공 후 표면거칠기 측정을 위해 Mitutoyo사의 SJ-210을 이용하였으며 제원은 Table 4에 나타내었다. 시편을 정반위에 올려놓고 축의 중심이 움직이는 길이방향으로 축심을 밀착하여 측정하였으며, 측정값의 평균값인 Ra값을 이용하여 데이터 분석을 실시하였다. 측정조건은 축심의 이송속도는 0.25mm/s, Sample Length 0.08mm를 5회 반복 실시하여 측정하였다^[2].

2.3 실험조건

본 실험을 위해 레진본드계의 접착제를 사용한 wheel을 이용하여 가공을 실시하였다. 휠의 입도는 #170이며, 지름이 350mm인 Resin wheel을 사용하였다. 휠의 속도는(wheel speed) 1,700rpm으로 실험을 진행하였다. 실험 소재는 CVD-SiC, Sintered-SiC, RB-SiC 3개의 소재를 사용하였으며, 테이블 이송속도 (Table Speed) 2, 4, 6, 8m/min에서 절입 깊이 (Depth of cut) 5, 10, 15, 20 μ m를 적용하여 실험을 수행하였다. Table 5에 실험조건을 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 연삭저항력

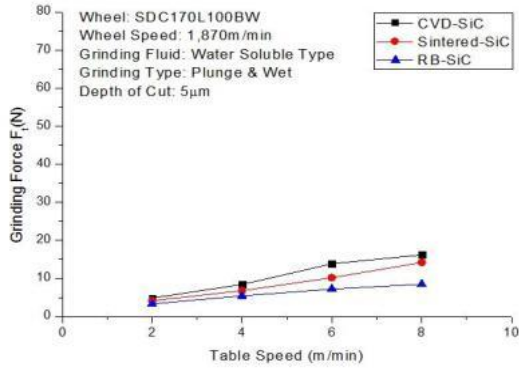


Fig. 4 Tangential grinding force versus table speed(Depth of cut:5μm)

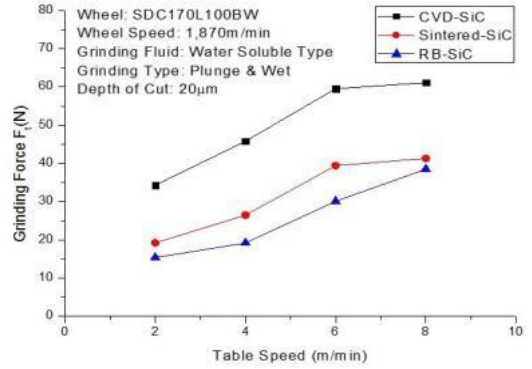


Fig. 7 Tangential grinding force versus table speed(Depth of cut:20μm)

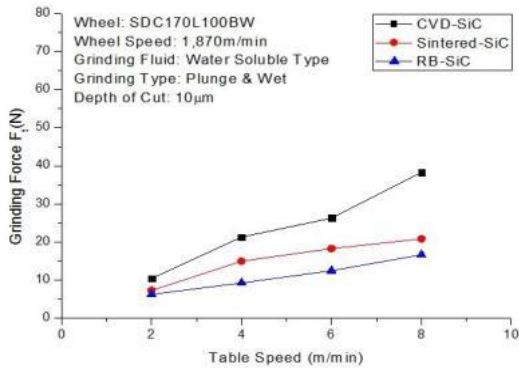


Fig. 5 Tangential grinding force versus table speed(Depth of cut:10μm)

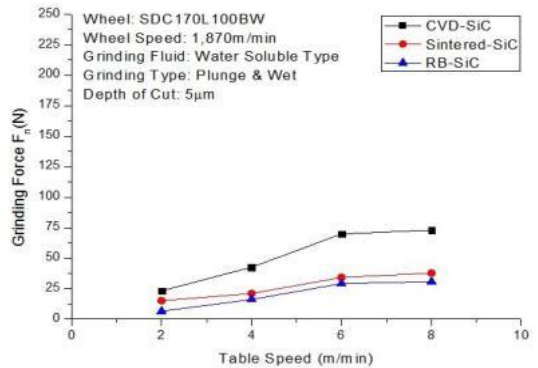


Fig. 8 Normal grinding force versus table speed(Depth of cut:5μm)

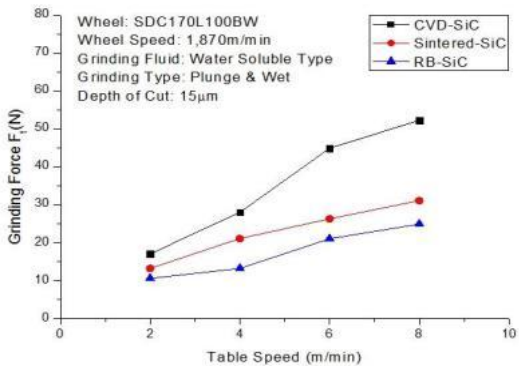


Fig. 6 Tangential grinding force versus table speed(Depth of cut:15μm)

CVD-SiC, Sintered-SiC, RB-SiC 3개의 소재를 각각 연삭가공함에 있어서 가공조건에 따른 연삭저항력의 변화를 파악하였다. 일정한 휠의 원주속도(V_s), 절입깊이(a_s), 테이블 이송속도(V_f)의 변화에 따른 연삭저항력(F_t , F_n)의 변화를 알아보았다. Fig. 4-7은 테이블 이송속도에 따른 Tangential Grinding Force를 나타낸다. Fig. 8~11는 테이블 이송속도에 따른 Normal Grinding Force를 나타낸다. 테이블 이송속도가 증가함에 따라 Tangential Grinding Force와 Normal Grinding Force는 CVD-SiC, Sintered-SiC, RB-SiC 3개 소재 모두 증가하였고 그 중 CVD-SiC에서 가장 높은 연삭저항력이 측정되었다.

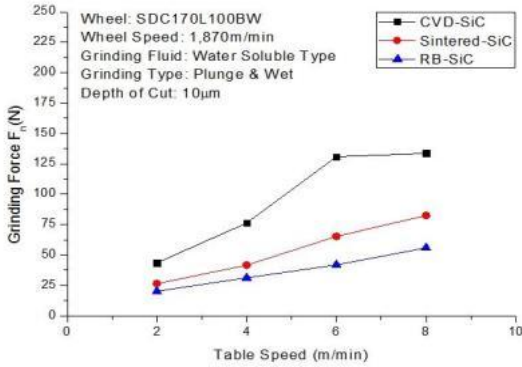


Fig. 9 Normal grinding force versus table speed (Depth of cut: 10 μm)

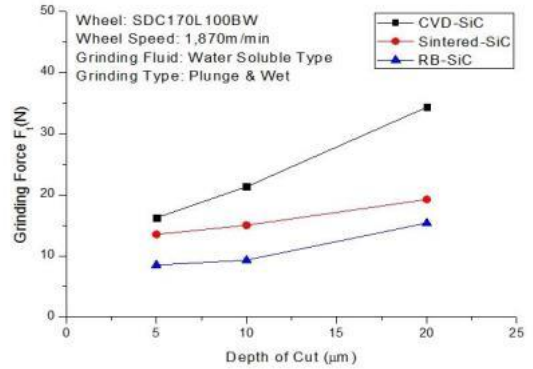


Fig. 12 Tangential grinding force versus depth of cut on same material removal rate

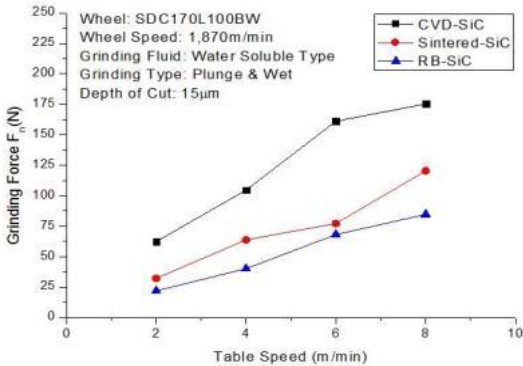


Fig. 10 Normal grinding force versus table Speed (Depth of cut: 15 μm)

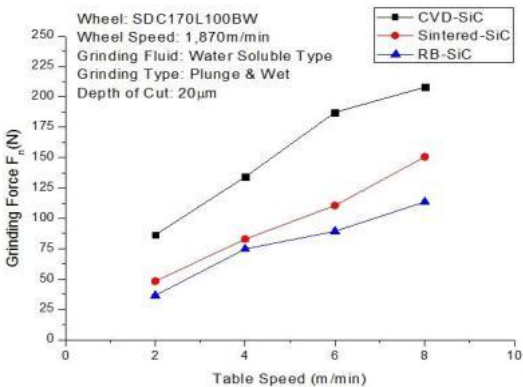


Fig. 11 Normal grinding force versus table Speed (Depth of cut: 20 μm)

3.2 재료제거율

재료제거율(Material Removal Rate)은 단위시간에 기계가공으로 제거하는 공작물의 체적으로, 식 (1)으로 나타낼 수 있는데, 이는 절입깊이(a_s)와 테이블의 이송속도(V_f)에 의해 결정된다.

$$Z_w = V_f \times a_s \times B \dots\dots\dots(1)$$

본 실험에서는 3개의 소재 모두 일정한 재료제거율일 경우에 절입깊이(a_s)와 테이블의 이송속도(V_f)의 변화에 따른 연삭저항력의 크기를 비교해 보았다. 재료제거율은 $Z_w=800\text{mm}^3/\text{min}$ 의 경우가 비교할 연삭조건이 3개로 가장 많았기 때문에 절입깊이 및 테이블 이송속도에 따른 연삭저항력을 비교하였다.

Fig. 12~13는 재료제거율이 $Z_w=800\text{mm}^3/\text{min}$ 인 경우에 절입깊이에 따른 연삭저항력을 나타낸 그림이다. 동일한 재료제거율에서 절입깊이가 클수록 연삭저항력이 증가하는 결과를 알 수 있다.

Fig. 14~15은 재료제거율이 $Z_w=800\text{mm}^3/\text{min}$ 인 경우에 테이블 이송속도에 따른 연삭저항력을 나타낸 그림이다. 동일한 재료제거율에서 테이블 이송속도가 빨라질수록 연삭저항력이 감소하는 것으로 보여진다^[3].

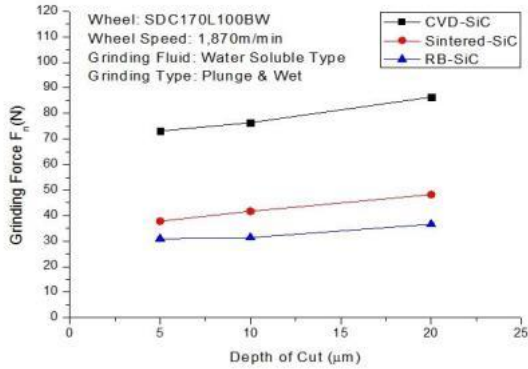


Fig. 13 Normal grinding force versus depth of cut on same material removal rate

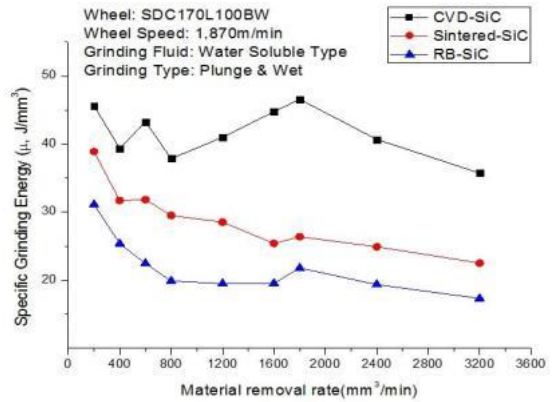


Fig. 16 Specific grinding energy versus material removal rate(CVD-SiC, Sintered-SiC, RB-SiC)

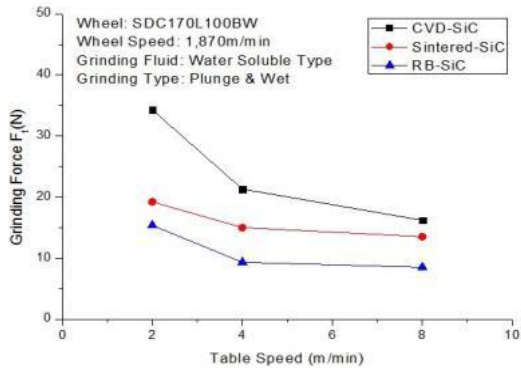


Fig. 14 Tangential grinding force versus table speed on same material removal rate

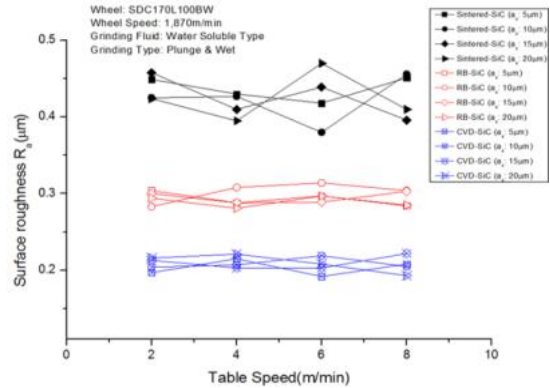


Fig. 17 Surface Roughness versus table speed

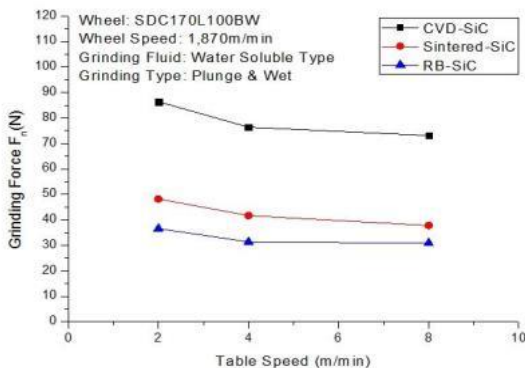


Fig. 15 Normal grinding force versus table speed on same material removal rate

3.3 비연삭에너지

비 연삭에너지(Specific Grinding Energy)는 단위체 적당 재료를 제거하는데 필요한 에너지를 의미하며, 연삭성능을 평가하는 기준으로 널리 사용되고 있다. 비 연삭에너지는 식(2)을 통해 계산할 수 있다.

$$u = \frac{P}{Z_w} = \frac{F_t \cdot V_s}{b \cdot a_s \cdot V_f} \dots\dots\dots(2)$$

식 (2)에서 u 는 비 연삭에너지(J/mm³), P 는 연삭 동력(W), Z_w 는 재료제거율(mm³/min), F_t 는 접선방

향 연삭저항력(N), V_s 는 휠의 원주속도(m/min), b 는 휠 폭(mm), a_s 는 절입깊이(μm), V_f 는 테이블의 이송속도(m/min)를 의미한다. Fig. 16을 볼 때 3개 소재 모두 대체적으로 재료제거율이 증가함에 따라 비 연삭에너지가 작아지는 경향을 보이고 그 중 CVD-SiC가 비 연삭에너지가 가장 크고 Sintered-SiC, RB-SiC 순으로 작아지는데, CVD-SiC 소재 제조 방법이 증착에 의한 층상형 구조를 가지므로 가공성이 좋지 않은 것으로 생각된다.

3.4 표면거칠기

Fig. 17은 CVD-SiC, Sintered -SiC, RB-SiC 3개 소재의 테이블 이송속도(V_f)에 따른 표면거칠기(Ra) 비교 그래프를 나타낸다. 결과 CVD-SiC의 표면거칠기(Ra) $0.201\mu\text{m}$ 으로 가장 낮았으며, RB-SiC의 표면거칠기(Ra) $0.294\mu\text{m}$, Sintered-SiC의 표면거칠기(Ra) $0.422\mu\text{m}$ 을 확인하였다⁴⁾.

4. 결론

본 연구에서는 CVD-SiC와 기존 Sintered-SiC, RB-SiC 소재의 비교 분석을 위해, 3개 소재의 연삭가공에서 가공조건에 따른 연삭 저항력과 표면조도를 측정하였으며, 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. CVD-SiC, Sintered-SiC, RB-SiC 소재의 연삭 저항력과 비 연삭 에너지를 분석한 결과 CVD-SiC에서 가장 비 연삭 에너지가 측정되었다. 이와 같은 결과는 CVD-SiC 소재 자체가 화학 증착법에 의한 증착으로 조직이 치밀하기 때문인 것으로 판단된다.
2. CVD-SiC, Sintered-SiC, RB-SiC 소재의 표면 거칠기를 분석한 결과 CVD-SiC에서 가장 낮은 표면 거칠기(Ra)값을 확인하였다. 이와 같은 결과는 Sintered-SiC, RB-SiC 소재는 소결 법으로 제조를 하기 때문에 소재에 기공이 잔존하게 된다. 이에 비해 CVD-SiC 소재는 화학 증착법 제조로 인한 층상형 구조를 가지기 때문에 기존 소재보다 표면 거칠기가 낮은 것으로 판단된다.

3. 위의 실험 결과들을 보면 기존 Sintered-SiC, RB-SiC 소재에 비해 CVD-SiC 소재가 가공은 어려우나 반도체 공정, 기계적 특성, 경제성 등을 고려해보면 기존 소재에 비하여 동일 이상 수준으로 활용이 가능하리라 판단된다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비(2015-104-037)를 지원받아 수행되었습니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

REFERENCES

1. Park, H. K., "A Study on the Machining Characteristics of CVD-SiC" Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 5, PP. 40-46, 2017.
2. Lee, S. M., "A Study on the Grinding Characteristics of Surgical Implant Zirconia," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 1, PP. 72-77, 2004.
3. Lee, C. S., "A Study on the Grinding Characteristics of SiC," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 13, No. 1, pp. 245-250, 2006.
4. Choi, H., "A Study on the Precision of a Machined Surface in Thrust Internal Grinding," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 5, pp. 73-79, 2016.
5. Lee, J. C., Machine tools for the 21st century, Munundang, pp. 15-329, 2004.
6. Malkin, S., Grinding Technology(Theory and Applications of Machining with Abrasives), Amer Society of Civil Engineers, pp. 110-111, 2007.