

CVD-SiC 소재의 가공 특성에 관한 연구

박휘근*, 이원석*, 강동원*, 박인승*, 이종찬*^{*,#}

*금오공과대학교 기계설계공학과

A Study on the Machining Characteristics of CVD-SiC

Hwi-Keun Park*, Won-Seok Lee*, Dong-Won Kang*, In-Seung Park*, Jong-Chan Lee*^{*,#}

^{*}School of Mechanical Engineering, KUMOH UNIV.

(Received 16 August 2017; received in revised form 22 August 2017; accepted 31 August 2017)

ABSTRACT

A plasma gas control apparatus for semiconductor plasma etching processes securely holds a cathode for forming a plasma, confines the plasma during the plasma etching process, and discharges gas after etching. It is a key part of the etching process. With the advancement of semiconductor technology, there is increasing interest in parts for semiconductor manufacturing that directly affect wafers. Accordingly, in order to replace the plasma gas control device with a CVD-SiC material superior in mechanical properties to existing SiCs (Sintered-SiC, RB-SiC), a study on the grinding characteristics of CVD-SiC was carried out. It is confirmed that the optimal grinding condition was obtained when the result table feed rate was 2 m/min and the infeed depth was 5 μ m.

Key Words : Plasma Gas Control Apparatus(플라즈마 가스 제어장치), Grinding Force(절삭력), Material Removal Rate(재료제거율), Specific Grinding Energy(비연삭에너지), Optimum Grinding Conditions of CVD-SiC(CVD-SiC 최적 연삭 조건)

1. 서 론

반도체 플라즈마 에칭공정용 플라즈마 가스 제어 장치는 플라즈마를 형성시키는 캐소드를 공정상 안전하게 잡아주고, 플라즈마 에칭 공정이 진행되는 동안 플라즈마를 가두어 주며, 에칭 후 파티클을 포함한 가스를 배출해 주는 역할을 하는 장치로써 반도체 플라즈마 에칭공정의 핵심부품이다.

현재 플라즈마 가스 제어장치는 Sintered-SiC 소재를 이용하고 있으며, 반도체 기술이 발달됨에 따

라 웨이퍼에 고집적, 고 정밀한 회로를 요하고 있다. 이에 따라 회로선폭이 점차적으로 작아짐으로 아주 미세한 변화 즉, 파티클, 온도 구배, 유전율, 식각비 등은 웨이퍼 손상을 주게 된다. 따라서 웨이퍼에 직접적인 영향을 미치는 반도체 제조용 부품 소재에 대한 관심이 증대하고 있으며, 기존 Sintered-SiC 소재보다 고온에서 내변형성, 고청정성 및 화학적으로 내식성이 우수한 CVD-SiC 소재를 이용하여 플라즈마 가스 제어장치를 만들면 기존 소재 대비 플라즈마 가스 제어장치의 수명이 2~3배 늘어 날 것으로 판단된다.

CVD-SiC 소재는 CVD(화학적 기상 증착법)를 이용하여 그라파이트에 SiC를 적층시킨 후 그라파이트

Corresponding Author : aircraft2743@kumoh.ac.kr
Tel: +82-54-478-7382, Fax: +82-54-478-7319

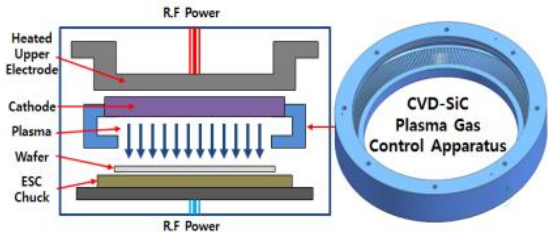


Fig. 1 Plasma etching process & plasma gas control apparatus

를 제거한 고순도의 SiC를 말한다. 이렇게 만들어진 CVD-SiC 소재는 표면 평탄도 위해 연삭 가공을 거친 후 플라즈마 가스 제어장치 형상에 따른 연삭 가공을 거치게 된다. CVD-SiC 소재는 기계적 특성 때문에 불가피하게 연삭 가공을 해야 하지만, 국내의 적으로 CVD-SiC 소재의 연삭 가공 및 연삭 조건에 대한 연구는 미미한 것으로 확인되었다.

본 연구에서는 플라즈마 가스 제어장치의 소재를 CVD-SiC로 접목시키기 위해 기존 소재인 Sintered-SiC와 비교를 통해 플라즈마 가스 제어 장치 소재를 CVD-SiC로 교체 타당성을 검토하고자 한다. 또한, 연삭 가공 조건인 연삭 휠 속도, 절입깊이, 피드에 따른 연삭저항력, 주분력·배분력, 비연삭에너지, 재료 제거율을 측정 및 분석을 하여 CVD-SiC 소재의 최적 연삭 조건을 제시하고자 한다.

2. 실험장치 및 조건

2.1 시험편

본 연구에 사용된 시험편은 반도체 제조공정에 사용되는 화학기상증착기법에 의해 제조된 고순도

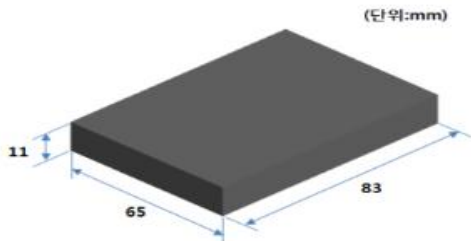


Fig. 2 Shape of CVD-SiC

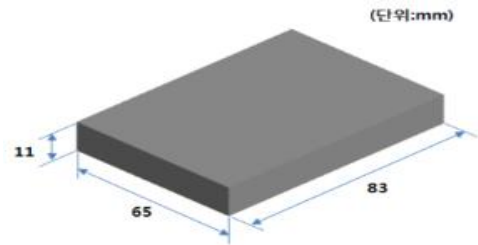


Fig. 3 Shape of Sintered-SiC

Table 1 Mechanical properties of CVD-SiC

Items	Value	Unit
Density	3.2	g/cm^3
Hardness	30	GPa
Flexural Strength(3P)	506	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)	550	MPa
Young's Modulus of Elasticity	430	GPa
Poisson's Ratio	0.14	-
Fracture Toughness	4	$MPa \cdot m^{1/2}$

의 CVD-SiC 및 가압소결을 통한 고순도 Sintered-SiC이며 두 소재의 시험편의 크기는 83mm(L)x11mm(W)x65mm(H)이며 Fig. 2, 3에 나타내었으며, Table 1~4에 CVD-SiC와 Sintered-SiC 소재에 대한 물성치를 나타내었다.

2.2 장치 구성도

Fig. 4 Fig. 5는 연삭저항력 실험 장치 Setup 및 구성도를 나타낸 것이다.

본 연삭실험은 Fig 4와 같이 최소눈금 1 μ m인 평



Fig. 4 Experiment setting of grinding

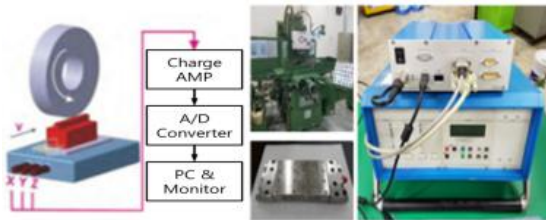


Fig. 5 Experimental set-up of grinding

면연삭기 (Model : YGS-63 SCZ)를 사용하였으며, 실험 장치는 Fig. 5와 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-SiC를 본딩을 이용하여 접착한 지그를 고정하였다.

연삭실험 시 연삭 휠과 공작물의 상대운동에 의해 발생되어지는 힘은 압전형 공구동력계에서 발생하는 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.

PC로 전송된 Data를 이용하여 주분력 F_t 와 배분력 F_n 으로 나누어 수치 및 도식화되며, 이를 이용하여 각 조건에 따른 연삭저항력을 비교분석 한다.

2.3 실험조건

본 실험을 위해 레진본드계의 접착제를 사용한 wheel을 이용하여 가공을 실시하였다. 휠의 입도는

Table 3 Experimental conditions

Grinding machine	YGS-63 SCZ
Workpiece	CVD-SiC, Sintered-SiC
Wheel	Mash : #170
	Diameter : 350mm
Wheel speed	1,700rpm
Table speed	2, 4, 6, 8 m/min
Depth of cut	5, 10, 15, 20 μm

#170이며, 지름이 350mm인 Resin wheel을 사용하였다. 휠의 속도(wheel speed) 1,700rpm으로 실험을 진행하였다. 실험 소재는 CVD-SiC, Sintered-SiC 두 개의 소재를 사용하였으며, 테이블 이송속도 (Table Speed) 2, 4, 6, 8m/min에서 절입 깊이 (Depth of cut) 5, 10, 15, 20 μm 를 적용하여 실험을 수행하였다. Table 3에 실험조건을 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 연삭저항력 분석

CVD-SiC와 Sintered-SiC의 연삭가공에 있어서 가공조건의 변화에 따른 연삭저항력의 변화를 살펴보기 위하여 동일한 Wheel을 사용하고, 일정한 Wheel speed에서 휠의 절입 깊이와 테이블 이송속도의 변화에 따른 연삭저항력의 변화를 알아보았다. 분석 결과, Wheel speed에서 절입 깊이가 증가함에 따라 연삭저항력이 점차적으로 증가하고 있음을 보여주고 있으며, 공작물의 이송속도가 증가할수록 연삭저항력 또한 증가하는 것으로 나타났

다. Fig. 6~13은 절입 깊이와 이송속도조건에서 절선분력(F_t)와 법선분력(F_n)을 나타낸 그래프이다. 절입 깊이와 이송속도가 증가함에 따라 연삭저항력이 증가하는 것으로 보이며, 이는 절입 깊이와 이송속도가 증가함에 따라 단위시간당 재료를 제거하는 제거율(Removal rate)이 증가하기 때문이라 유추해볼 수 있다.

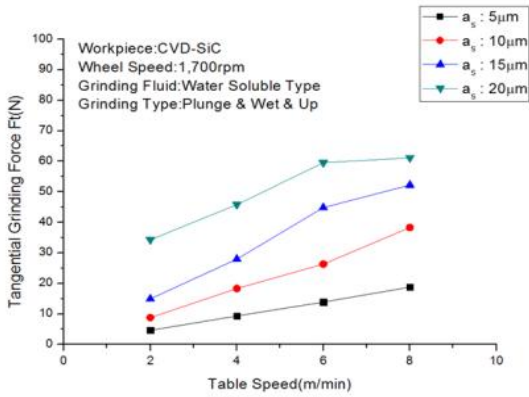


Fig. 6 Tangential grinding force versus feed & depth of cut(CVD-SiC) - Up grinding

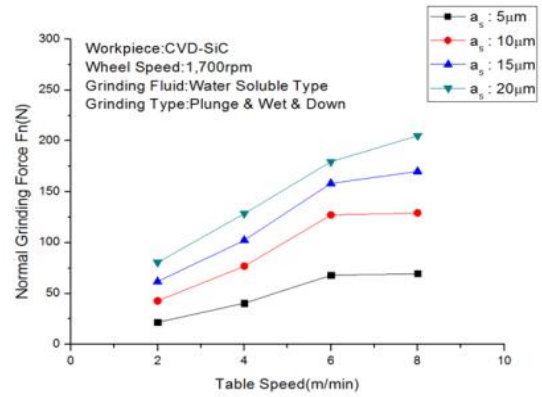


Fig. 9 Normal grinding force versus feed & depth of cut(CVD-SiC) - Down grinding

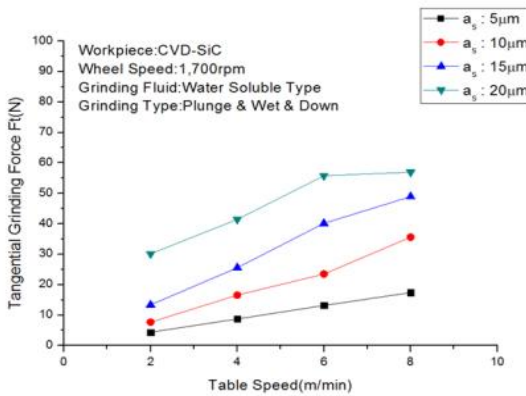


Fig. 7 Tangential grinding force versus feed & depth of cut(CVD-SiC) - Down grinding

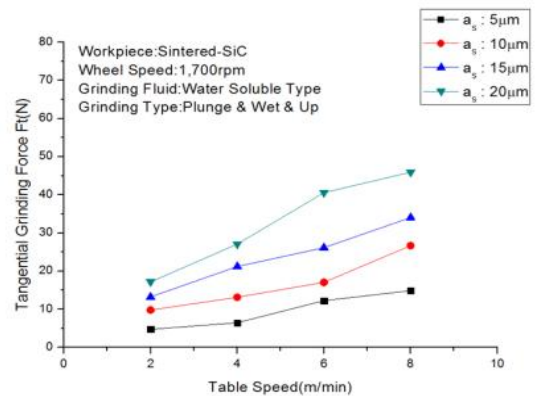


Fig. 10 Tangential grinding force versus feed & depth of cut(Sintered-SiC) - Up grinding

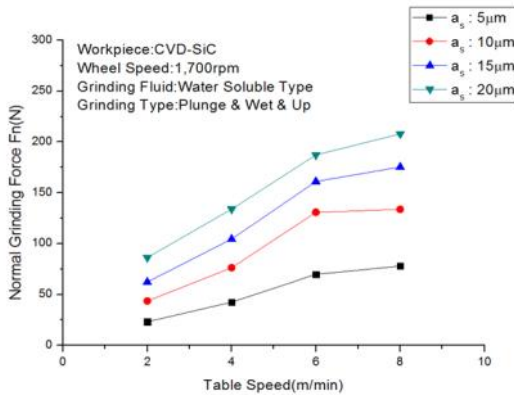


Fig. 8 Normal grinding force versus feed & depth of cut(CVD-SiC) - Up grinding

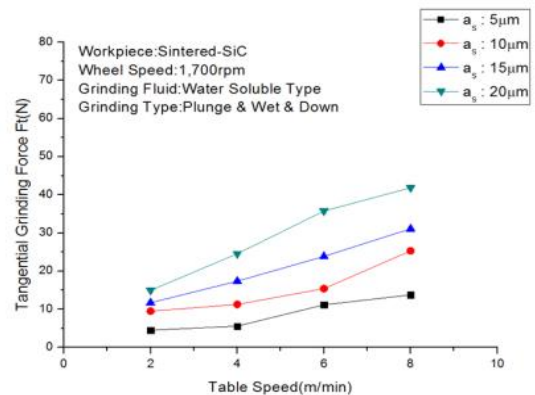


Fig. 11 Tangential grinding force versus feed & depth of cut(Sintered-SiC) - Down grinding

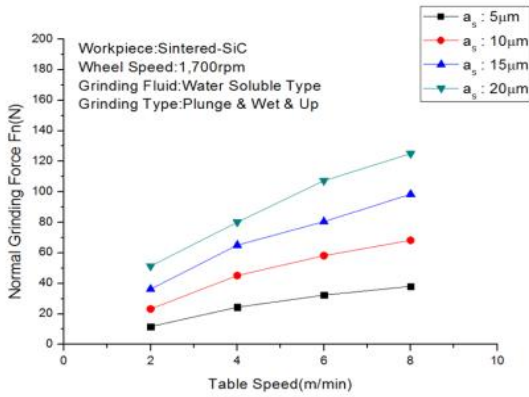


Fig. 12 Normal grinding force versus feed & depth of cut(Sintered-SiC) - Up grinding

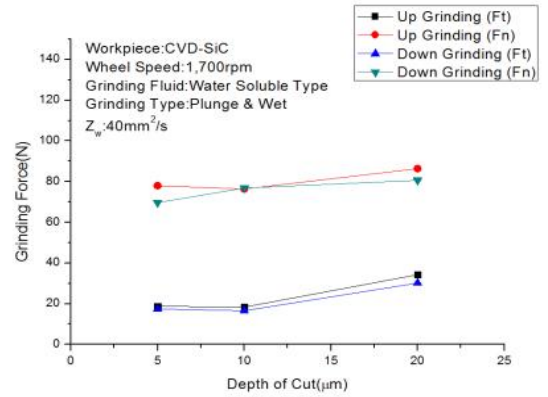


Fig. 14 Grinding force versus depth of cut on same material removal rate ($Z_w=40\text{mm}^2/\text{s}$) - CVD-SiC

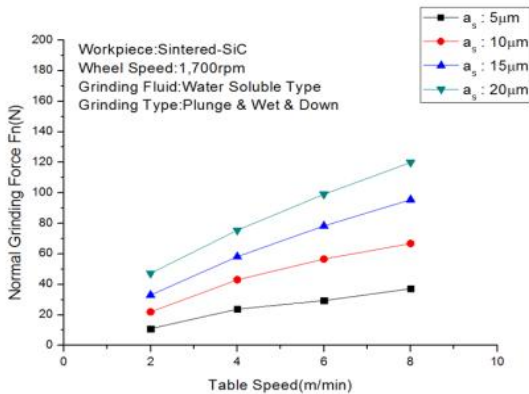


Fig. 13 Normal grinding force versus feed & depth of cut(Sintered-SiC) - Down grinding

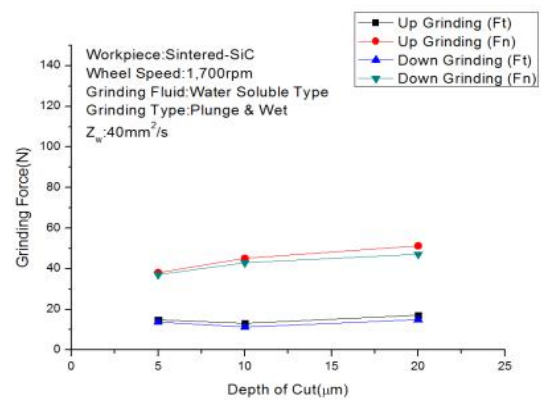


Fig. 15 Grinding force versus depth of cut on same material removal rate ($Z_w=40\text{mm}^2/\text{s}$) - Sintered-SiC

3.2 재료제거율

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

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

절입깊이와 이송속도의 변화에 따른 연삭저항력 크기를 비교하였으며, 시험편의 폭(B)는 일정하므로 면적에 대한 재료제거율만 고려하였다.

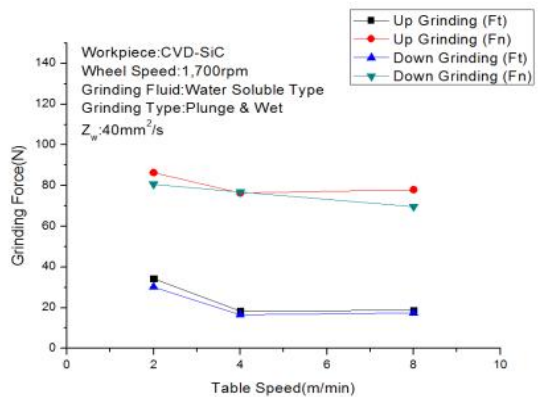


Fig. 16 Grinding force versus table speed on same material removal rate ($Z_w=40\text{mm}^2/\text{s}$) - CVD-SiC

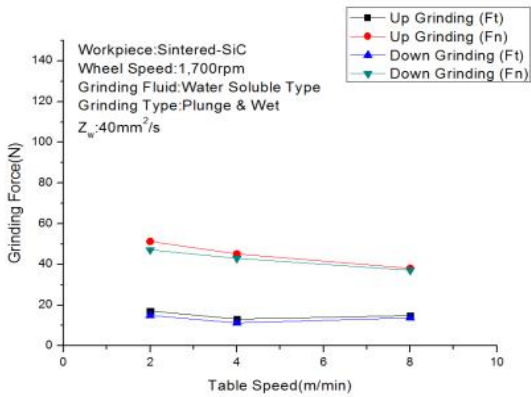


Fig. 17 Grinding force versus table speed on same material removal rate ($Z_w=40\text{mm}^3/\text{s}$) - Sintered-SiC

재료제거율 $Z_w=40\text{mm}^3/\text{s}$ 의 경우 비교할 연삭조건이 3개로 가장 많았으며, 실험의 정확도를 위해 $Z_w=20\text{mm}^3/\text{s}$, $Z_w=30\text{mm}^3/\text{s}$, $Z_w=60\text{mm}^3/\text{s}$, $Z_w=80\text{mm}^3/\text{s}$, $Z_w=120\text{mm}^3/\text{s}$ 의 절입 깊이의 변화에 따른 연삭저항력 및 이송속도의 변화에 따른 연삭저항력을 비교하였다.

동일한 재료제거율에서의 연삭저항은 절입 깊이가 클수록 연삭저항력이 증가하고, 이송속도가 증가할수록 연삭저항력이 감소하는 것으로 보여진다. 또한 이 결과로부터, 이송속도의 변화보다 절입 깊이의 변화가 연삭저항력의 크기에 영향을 더 많이 끼친다는 것을 알 수 있다.

3.3 비연삭에너지에 따른 연삭성

비연삭에너지(Specific grinding energy)는 단위체 적당 재료를 제거하는데 필요한 에너지를 의미하며, 연삭성능을 평가하는 기준으로 널리 사용되고 있다. 아래 식(2)을 통해 비연삭에너지를 계산할 수 있다.

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

식 (2)에서 μ 는 비연삭에너지(J/mm^3), P는 연삭동력(W), V_s 는 휠 속도(m/s), F_t 는 주분력(N), Z_w 는 재료제거율(mm^3/s), b는 휠 폭(mm), a_p 는 절입깊이(mm), V_f 는 테이블 이송속도(mm/s)를 의미한다.

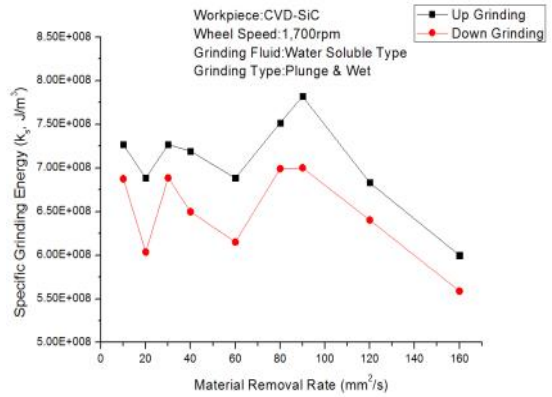


Fig. 18 Specific grinding energy versus material removal rate - CVD-SiC

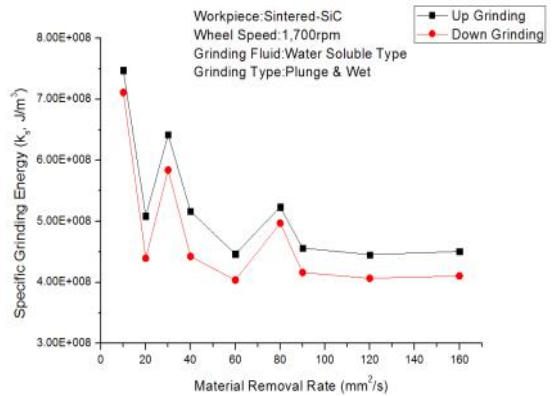


Fig. 19 Specific grinding energy versus material removal rate - Sintered-SiC

Fig. 18은 CVD-SiC 소재에 대한 재료제거율에 따른 비연삭에너지를 나타낸 것이다. 재료제거율이 증가함에 따라 CVD-SiC 소재의 비연삭에너지가 일정 구간에서 증가하나 점차 감소하는 경향을 보이는 데 이러한 현상은 CVD-SiC 소재가 기존 Sintered-SiC 소재에 비하여 난삭재로 가공 조건에 따른 영향으로 보인다.

Fig. 19는 Sintered-SiC 소재에 대한 재료제거율에 따른 비연삭에너지를 나타낸 것이다. 재료제거율이 증가함에 따라 비연삭에너지는 감소하는 경향을 보인다. Fig. 18~19의 결과를 볼 때 이러한 이유는 슷돌입자가 칩을 제거하기 위해서는 칩을 제거하는데 필요한 힘과 공작물과 공구사이의 마찰력과 절삭날 끝에 발생하는

압력 등의 압괴력으로 나뉘는데 이 압괴력은 칩을 제거하는 데는 아무런 역할을 하지 못하기 때문에 절입 깊이가 깊어지면 비연삭에너지는 감소하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 기존 플라즈마 가스 제어장치의 소재인 Sintered-SiC에서 CVD-SiC으로 소재 변경을 위해, 두 소재의 연삭가공에서 가공조건에 따라 연삭저항력을 측정하여 최적의 가공조건을 알아보았으며, 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. Sintered-SiC 소재와 CVD-SiC 소재 모두 연삭을 위한 테이블 이송속도 및 절입깊이에 대한 연삭저항력을 확인한 결과, 두 소재 모두 테이블 속도가 빠르고 절입깊이가 깊을수록 연삭저항력이 많이 걸리는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 절입깊이 5 μ m일 때 그래프의 기울기가 가장 낮은 것으로 보아 최적의 절입깊이는 5 μ m이 가장 좋은 연삭조건임을 알 수 있었다.
2. 재료제거율이 동일할 경우 휠의 절입깊이가 작을수록 연삭저항이 작음을 알 수 있었다. 이에 따라 연삭저항력 측면에서 본다면, 동일한 재료 제거율일 경우 절입깊이가 작아야 한다. 따라서 테이블 이송속도 2m/min, 절입깊이를 5 μ m일 때 가장 이상적인 연삭조건이라고 할 수 있다.
3. 위의 실험결과들을 살펴보면 기존 Sintered-SiC 소재에 비하여 CVD-SiC 소재가 가공이 어려움을 확인할 수 있다. 그러나 반도체 에칭공정 환경을 고려해 보면 CVD-SiC 소재의 내구성이 높음을 확인할 수 있다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비(2014-104-039)를 지원받아 수행되었습니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

REFERENCES

1. 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.
2. 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.
3. Rhee, H. W., "Experimental Evaluation of Fatigue Threshold for SA-508 Reactor Vessel Steel," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 4, pp. 160-167, 2012.
4. Park, J. K., Kim, I. W. and Choi, M. P., "Optimal Synthesis of Steering Mechanisms Considering Transmission Angles," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 11, No. 1, pp. 68-75, 2012.
5. 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.
6. Choi, H., "A Study on the Comparison of Internal Plunge Grinding and Internal Thrust Grinding," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 15, No. 1, pp. 68-73, 2016.
7. Malkin, S., "Grinding Technology(Theory and Applications of Machining with Abrasives)" pp. 110-111
8. Lee, J. C., Machine tools for the 21st century, Munundang, pp. 15-329, 2004.