

피드스루용 세라믹의 선삭 가공 특성에 관한 연구

박세진*[#], 하준태*, 양동호**, 이종찬**

*모던세라믹스(주), **금오공과대학교 기계설계공학파

Turning the Machining Characteristics of Feed-through Ceramics

Se-Jin Park*[#], Jun-Tae Ha*, Dong-Ho Yang**, Jong-Chan Lee**

*Modern Ceramics, Inc., **School of Mechanical Engineering, KUMOH UNIV.

(Received 06 May 2020; received in revised form 03 June 2020; accepted 07 June 2020)

ABSTRACT

A ceramic vacuum chamber feedthrough ceramic insulator is made of Al₂O₃; the manufacturing process involves filling alumina powder into a urethane mold and pressing it with a rubber press to produce a molded body. Thereafter, manufacturing is completed through primary shape processing, sintering, and secondary shape processing in the green body, which is a pressurized molding body.

This work is intended to prevent defects in the first shape processing by improving the ceramic insulator in the green body, and to improve the productivity of the ceramic insulator by determining the optimal processing conditions.

Key Words : Feed through(피드스루), Cutting Force(절삭력), Material Removal Rate(재료제거율), Specific Grinding Energy(비연삭에너지), Turning Machining(선삭 가공)

1. 서 론

피드스루 (Feed through)란 반도체 공정에서 사용되는 진공 챔버(Vacuum Chamber) 내부에 전압을 인가하기 위한 장치이며, 본 연구에서 다루고자 하는 Insulator는 세라믹 소재로 이루어져 있으며 전류를 원활하게 공급하기 위한 절연체 역할을 하는 핵심 부품이다. Fig. 1에 진공 챔버에 사용되는 피드스루를 나타내었다.

반도체 진공 챔버(Vacuum Chamber) 피드스루 (Feed through)용 세라믹 절연체(Ceramic Insulator)는 Al₂O₃ 소재로 제작되며, 제작 과정은 알루미늄나 파우

더를 우레탄 몰드에 충전 후 Rubber Press로 가압하여 성형체를 제작한다. 이후 가압 성형체인 Green Body에서 1차 형상가공, 소결, 2차 형상가공 순의 공정을 통해 제작이 완료되며 소결 공전 전, 후로 형상가공 공정을 거치게 된다.

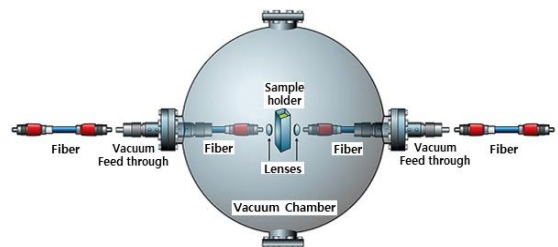


Fig. 1 Feed through in vacuum chamber

Corresponding Author : acep3j@gmail.com

Tel: +82-54-476-6268, Fax: +82-54-476-6269

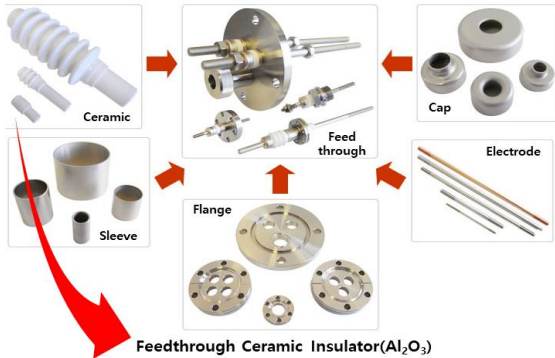


Fig. 2 Feed through ceramic insulator

Green Body 상태의 알루미나 성형체는 경도가 낮아 가공 시 걸리는 부하에 의해 Crack, Chattering 등의 불량 이 빈번하게 발생하며 이는 제품의 생산성을 저하시키고, 완제품으로 사용 시 Vacuum chamber 내부에서 사용될 때 고전압, 고온에 의한 Damage 축적으로 인해 Crack 발생으로 Particle을 유발하여 공정 중 악영향을 끼치는 문제로 이어진다.

이에 따라 본 연구에서는 가압 성형체인 Green Body 상태의 세라믹 절연체의 가공 조건별 가공 실험을 통해 1차 형상가공에서 발생하는 가공 불량 문제를 해결하여 제품 사용 시 발생하는 문제점을 해결하고 최종적으로 가공 조건 최적화를 통해 생산성 향상에 기여하고자 한다.

2. 실험방법 및 조건

실험 방법은 선삭 가공 조건인 절입깊이와 테이블 이송속도의 변화에 따른 절삭력을 측정하고, 절삭성 평가 파라미터인 재료제거율, 비절삭에너지를 계산 및 분석하여 Green Body 상태의 세라믹 절연체의 최적 가공 조건을 제시하고자 한다.

2.1 시험편

본 연구에 사용된 시험편은 고순도 알루미나 (Al_2O_3) 파우더를 Rubber Press를 이용해 가압성형한 Green Body 형태의 Ceramic Insulator이며 시험편의 크기는 83mm(D)x11mm(L)이고 Fig. 3에 나타내었다.



Fig. 3 Shape of ceramic insulator(green body)



Fig. 4 Experiment setting of turning machining

2.2 장치 구성도

본 가공 실험은 Fig. 4와 같이 범용선반 (Model : HL-460)을 사용하였으며, 실험 장치는 Fig. 5와 같이 가공 시 발생하는 절삭력을 측정하기 위해 압전형 공구동력계 (piezo-electric Type Tool dynamometer, Kistler 9257B)를 선반 테이블에 설치하고 그 위에 지그를 이용하여 공구를 고정하였다.

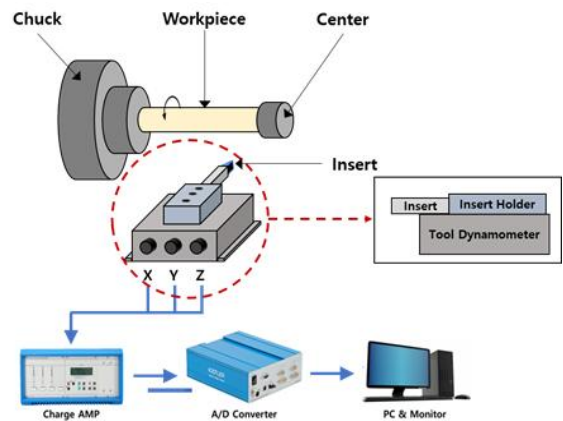


Fig. 5 Experimental set-up of machining

Table 1 Experimental conditions

Machine	HL-460
Workpiece	Ceramic Insulator Green Body(Al_2O_3)
Tool	R Bite
Spindle Speed(rpm)	1,010
Table speed(m/min)	0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8
Depth of cut(mm)	1, 2, 3, 4, 5

선삭 가공 시 발생하는 절삭력의 측정은 Green Body 상태의 Ceramic Insulator에 Bite가 닿아 가공되며 발생하는 힘이 공구동력계에 전달되고, 그 전기적 신호가 다체널 증폭기에 의해 증폭되어 변환기에 의해 디지털 신호로 변환된다. 이후 PC에 설치되어 있는 Dyno Ware에서 모니터링이 가능하도록 힘으로 출력되어 나타난다. PC로 전송된 Data를 이용하여 절삭력 F(Cutting Force)가 수치 및 도식화되며, 이를 이용하여 각 조건에 따른 절삭력을 비교분석 한다.

2.3 실험조건

본 실험을 위해 H社의 범용선반을 이용하여 R Bite로 Green Body 상태의 Ceramic Insulator의 외경을 가공하였으며, 주축의 속도(Spindle Speed)는 1,010rpm, 테이블의 이송속도(Table Speed)는 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8m/min에서 절입량(Depth of Cut) 1, 2, 3, 4, 5mm를 적용하여 실험을 진행하였다.

절삭력의 측정은 R Bite가 피삭재에 닿아 가공되는 시점부터 끝나는 시점까지의 절삭력을 측정하여 최고점을 기준으로 측정하였으며, 동일 조건에서 총 5회씩 반복 측정하여 평균값을 그 결과값으로 산출하였다. Table 1에 가공 조건을 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 절삭력 분석

Green Body 상태의 Ceramic Insulator의 가공조건에 따른 절삭력의 변화를 살펴보기 위하여 일정한 Spindle Speed에서 절입 깊이와 테이블 이송속도의 변화에 따른 절삭력의 변화를 측정하였

다. 분석 결과, Table Speed 0.1~0.6의 경우는 비교적 기울기가 완만하게 절삭력이 증가하는 경향을 보였다. 0.8의 조건에서는 비교적 큰 절삭력이 측정되었다. 절삭력 측정 결과 테이블의 이송속도와 절입깊이가 증가함으로써 평균칩단면적이 증가하게 되고, 이 단면적의 증가에 따라 절삭력이 증가하는 것으로 여겨진다. 이는 저항력 이론에 상응하는 결과로 보이며, 절입깊이와 테이블 이송속도가 증가하면 Tool과 시편 사이에 접촉호의 길이 및 최대 절입깊이가 증가하여 접촉면이 증가하게 되면서 절삭력이 증가한다는 이론과 상응하는 결과라고 보여진다.

Fig. 6-7은 절입 깊이와 테이블 이송속도의 변화에 따른 절삭력(F)을 나타낸 그래프이다.

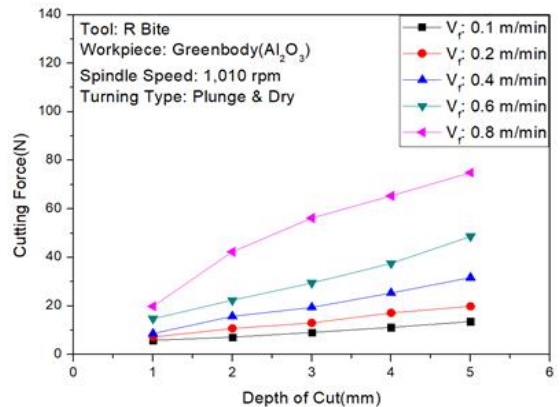


Fig. 6 Cutting force versus depth of cut

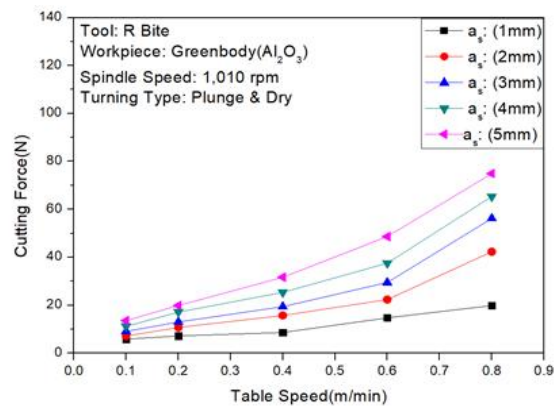


Fig. 7 Cutting force versus table speed

절입깊이와 이송속도가 증가함에 따라 절삭력이 증가하는 것으로 보이며, 이는 절입 깊이와 테이블 이송속도가 증가함에 따라 단위시간당 재료를 제거하는 재료제거율(Material Removal Rate)이 증가하기 때문이라 유추해볼 수 있다.

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), Tool의 폭(B)에 의해 결정된다.

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

본 실험에서는 일정한 재료제거율일 경우에 절입깊이와 테이블 이송속도의 변화에 따른 절삭력의 크기를 비교해 보았다. Tool의 폭은 모든 가공 조건에서 동일하므로 절입깊이와 테이블의 이송속도만 고려하여 재료제거율을 계산하였다. 재료제거율은 $Z_w = 100\text{mm}^3/\text{min} \sim Z_w = 4,000\text{mm}^3/\text{min}$ 으로 총 16가지 경우가 있지만 $Z_w = 400\text{mm}^3/\text{min}$ 의 경우가 동일 재료제거율에서 비교할 가공 조건이 3개로 가장 많았기 때문에 절입깊이 및 테이블 이송속도에 따른 절삭력을 비교하였다.

Fig. 8~9에 재료제거율 $Z_w = 400\text{mm}^3/\text{min}$ 인 경우에

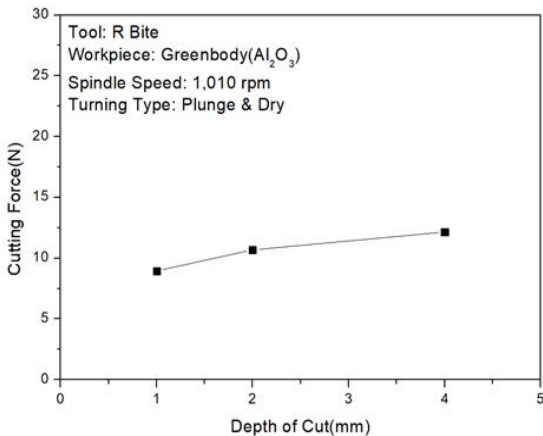


Fig. 8 Cutting force versus depth of cut on same material removal rate ($Z_w = 400\text{mm}^3/\text{min}$)

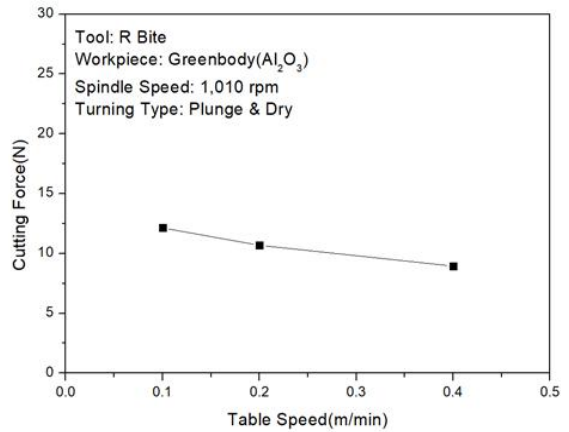


Fig. 9 Cutting force versus table speed on same material removal rate ($Z_w = 400\text{mm}^3/\text{min}$)

절입깊이와 테이블 이송속도에 따른 절삭력을 나타내었다.

위의 그림들로부터 동일한 재료제거율일 경우 절입깊이가 클수록 절삭력이 증가하고, 테이블 이송속도가 빨라질수록 절삭력이 작아지는 경향을 확인할 수 있었다. 이는 선삭 가공은 테이블의 이송속도 보다는 절입깊이의 영향이 더 크다고 판단된다.

3.3 비절삭에너지

비절삭에너지(Specific Cutting energy)는 단위체적당 재료를 제거하는데 필요한 에너지를 의미하며, 절삭성 평가를 위하여 가장 일반적으로 채택되는 파라미터로 널리 사용되고 있다. 아래 식(2)을 통해 비절삭에너지를 계산할 수 있다.

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

식 (2)에서 μ 는 비절삭에너지(J/mm^3), P는 동력(W), V_s 는 회전 속도(m/s), F는 절삭력(N), Z_w 는 재료제거율(mm^3/s), b는 Tool의 폭(mm), a_p 는 절입깊이(mm), V_f 는 테이블 이송속도(mm/s)를 의미한다.

Fig. 10은 재료제거율에 따른 비절삭에너지를 나타낸 것이다. 재료제거율이 아주 적을 경우에는 비절삭에너지가 상당히 높고, 재료제거율이 많아짐에 따라

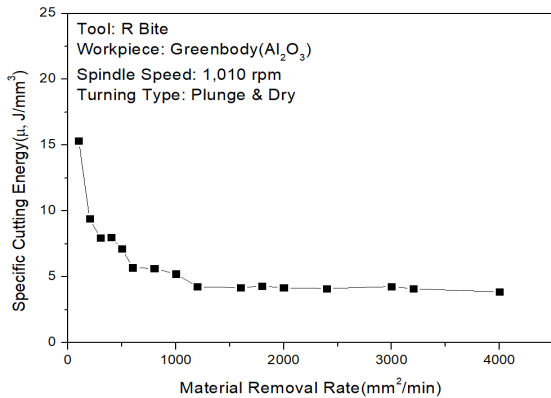


Fig. 10 Specific cutting energy versus material removal rate

비절삭에너지가 큰 감소율로 떨어지다가 점점 감소율이 작아져 일정 지점 부터는 일정한 값을 갖는 것을 발견할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 Feed through용 Ceramic Insulator의 Green Body상태의 최적 가공조건을 도출하기 위해 선삭 가공 시 발생하는 절삭력을 측정하였으며, 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. Feed through용 Ceramic Insulator의 Green Body상태의 최적 가공 조건 도출을 위한 선삭 가공 Test를 테이블 이송속도 및 절입깊이의 변화에 따른 절삭력을 측정한 결과, 테이블 이송속도가 빠르고 절입깊이가 깊을수록 절삭력이 많이 발생하는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 절입깊이 5 μ m일 때 그래프의 기울기가 가장 낮은 것으로 보아 최적의 절입깊이는 5 μ m이 가장 좋은 가공조건임을 알 수 있었다.
2. 재료제거율의 분석 결과 동일한 재료제거율일 경우 절입깊이가 클수록 절삭력이 증가하고, 테이블의 이송속도가 빨라질수록 절삭력이 작아지는 경향을 확인할 수 있었다. 이는 선삭 가공은 테이블의 이송속도 보다는 절입깊이의 영향이 더 크다고 판단된다. 따라서 Ceramic Insulator의

Green Body 상태의 선삭 가공 시 가공 저항력 측면에서 본다면, 동일한 재료제거율에 대해 절입깊이는 작게하고 이송속도는 빠르게 하는 것이 효율적이라고 할 수 있다.

3. 비절삭에너지 결과 재료제거율이 증가함에 따라 지수함수 그래프 경향을 보이며 감소함을 알 수 있는데, 연질 상태인 Ceramic Insulator의 Green Body 상태에서도 일반적인 절삭 이론이 적용되는 것으로 보이며, 이는 치수효과(Size Effect)에 의한 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 중소벤처기업부 창업성장기술개발사업 (S2746403)의 지원을 받아 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. Zhang, B. and Howes, T. D., "Material removal mechanism in grinding ceramics," CIRP Annals, Vol. 43, pp. 305-308, 1994.
3. Brain, K. R., Albert, J. S., Ronald, O. S., Jeffery, L. A., Darry, G., and Marion, B. G., "Wire electrical discharge machining of metal bond diamond wheels for ceramic grinding," International Journal of machine Tool & Manufacture, Vol. 42, pp. 1355-1462, 2002.
4. Prof. Dr. h. c. mult. Dr.-Ing. G. Spur, Dipl.-Ing. S.-E. Ho11, "Ultrasonic Assisted Grinding of Ceramics", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 62, Issue. 4, pp. 287-293, 1996.
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. 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.
 8. Park, H. K., "Analysis of Grinding Characteristics of Ceramic (SiC) Materials," The Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 17, No. 1, pp. 16-22, 2018.