

Quartz의 연삭 특성에 관한 연구(I)

임종고*, 하상백(금오공대 기계설계공학과 대학원), 최 환, 이종찬(금오공대 기계공학부)

A Study on the Grinding Characteristics of the Quartz

J. G. Lim, S. B. Ha(Dept. of Eng. Sci. Mech., KNU), H. Choi, J. C. Lee(Dept. of Mech. Eng., KNU)

ABSTRACT

This investigation reports the grinding characteristics of quartz. Grinding experiments were performed at various grinding conditions including wheel mesh, table speed and depth of cut. The grinding forces and specific grinding energies were measured to compare the grindability of quartz with those of structural ceramics such as Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 and ZrO_2 . Surface roughness was also measured with tracer and the ground surfaces were observed with SEM. The chip formation energy of quartz was about $6J/mm^3$, which is quite smaller than those of structural ceramics. Although plastic flows are occurred in Si_3N_4 and ZrO_2 , micro/macro cracks are occurred in ground surface of quartz like in Al_2O_3 and SiC.

Key Words : Grinding force (연삭력), Surface roughness (표면거칠기), Specific grinding energy (비연삭에너지), Table speed (테이블 이송속도), Material removal rate (재료제거율)

1. 서론

최근들어 반도체 산업의 발달로 고순도와 고온특성을 지닌 Quartz제품의 필요성이 증가하고 있다. 반도체산업에 있어서는 Wafer Carrier 및 Boat, Flange 등에 사용될 뿐만 아니라 CVD공정이나 광섬유 산업에서 중요한 부분을 차지하고 있으며 제품하나의 가격이 상당히 고가이다. Quartz는 특성상 원재료로부터 잉곳형태나 Tube 또는 Plate 형태로 소성되어 나오게 되는데, 필요한 형상으로 가공하기 위해서는 세라믹이나 다른 경취성 재료와 같이 다이아몬드휠을 이용한 연삭가공을 행하게 된다.¹⁾ 갈수록 점차 형상이 복잡하고 정밀가공이 필요한 Quartz제품을 요구하게 되었다.

일반적으로 경취성재료의 연삭 가공에 관한 연구는 연삭저항력의 측정과 연삭칩, 그리고 가공된 표면의 미시적 관찰이 병행된다.²⁾ 연삭칩과 가공된 표면의 현미경적 관찰은 확실한 연삭메카니즘에 대한 직접적인 증거를 제공한다. 기존 경취성 재료의 대표적 재료인 세라믹에 대해서는 많은 연구가 이루어져 왔지만 Quartz의 연삭가공에 대한 연구는 기초적

인 Database가 정립되어 있지 않은 실정이다.³⁾ 따라서 본 연구에서는 Quartz의 연삭 특성을 파악하기 위하여 연삭조건변화에 따른 연삭저항력의 변화를 살펴보고, 연삭가공된 면에 대해 표면 거칠기(R_a , R_{max})값을 측정하였으며, 이 공작물의 가공 표면을 SEM 사진으로 촬영하여 표면 거칠기와 연관한 미시적 관찰을 실시하였다. 비연삭에너지를 구하여 기존의 세라믹스재료인 Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 , ZrO_2 와의 연삭 특성을 비교하여 보았다.

2. 실험조건 및 방법

본 실험에 사용된 슷들은 입도가 각각 #100, #200, #400이고, 결합도 N, 집중도 100인 레진본드 다이아몬드 휠을 사용하였고, 공작물은 GE사에서 생산된 Quartz를 사용하였다. Quartz의 물리적 특성은 유리와 거의 비슷하여 매우 높은 압축강도(110Mpa 이상)를 가지지만 취성이 커서 깨지기 쉬운 성질을 가지고 있다. Table 1은 본 연구에 사용된 실험조건을 나타내고, Fig.1은 실험장치의 개략도를 나타낸다. 공작기계는 $1\mu m$ 까지 절입이 가능하도록 디지털

장치가 부착된 부분 유압식 범용 횡축 수평형 평면 연삭기(Model: YGS-50A (1.5kW, 3440rpm))를 사용하였다. 연삭저항력의 측정을 위해 압전형 공구 동력계(Kistler, 9254)를 연삭기 테이블 위에 설치하고 그 위에 지그를 설치한 후 공작물을 고정하였다. 공작물 연삭시 공구동력계에서 발생된 신호는 다채널 증폭기(Kistler, 5019A)에서 증폭된 후 아나로그-디지털 변환기(10tech, DaqBook)를 거쳐 디지털화되어 개인용 컴퓨터(PC)로 전송되고, Grinding force software를 사용하여 실험에서 얻어진 연삭저항력 값을 측정하였다. 연삭된 공작물의 Cross feed 방향의 표면거칠기(Ra와 Rmax)는 축침식 표면조도계(Mitutoyo, SV-600)를 사용하여 측정하였으며, 이때 Cut Off 값은 3.2mm로 모든 연삭조건과 공작물에 대하여 동일하게 적용하였다. 공작물 표면사진은 전자주사현미경(SEM)을 사용하여 촬영하였다.

Table 1 Experimental conditions

Grinding machine	Horizontal spindle surface grinding machine
Grinding wheel	CD100N100, CD200N100, CD400N100 (180D× 31.75d× 10t)
Grinding conditions	Wheel speed(V_s):32.4m/s
	Table speed(v_w):3, 6, 9, 12m/min
	Depth of cut(a_p):5, 10, 20, 30 μ m
Grinding fluids	Shell lubricool (soluble type, 50:1)
Dressing conditions	Dressing sticks:WA100,WA200,WA400
	Grinding type:Up & Traverse & Wet
	Depth of cut:20, 30 μ m
	Table speed:6m/min

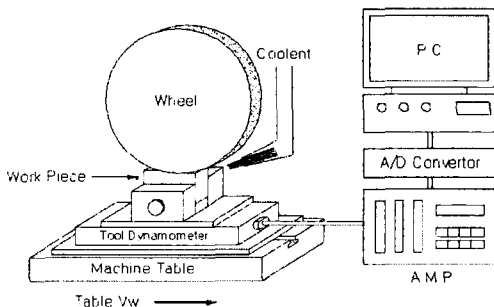


Fig. 1 Experimental set-up

3. 실험결과 및 검토

Fig. 2는 Quartz, Al₂O₃, SiC, Si₃N₄와 ZrO₂의 연삭저항력을 법선방향 연삭저항력(F_n)과 접선방향 연삭저항력(F_t)에 대해 각각 비교한 것이다. Quartz의 연삭저항력은 Al₂O₃ 및 SiC와 비교하였을 경우 1/3정도이고, Si₃N₄, ZrO₂와는 1/10정도로 가장 작게 나타났다.

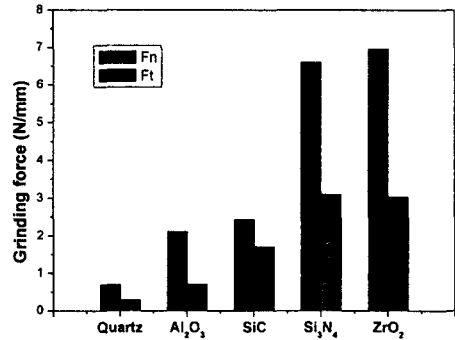


Fig. 2 Grinding force of Quartz, Al₂O₃, SiC, Si₃N₄, and ZrO₂($v_w=6$ m/min, $a_p=10\mu$ m)

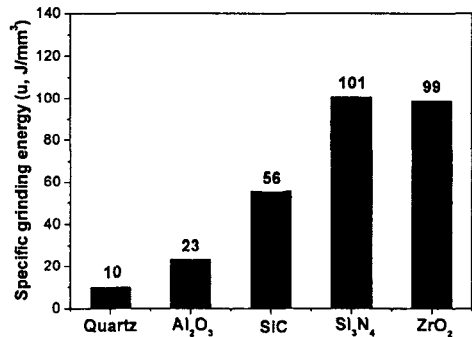


Fig. 3 Specific grinding energy of Quartz, Al₂O₃, SiC, Si₃N₄, and ZrO₂($V_w=6$ m/min, $a_p=10\mu$ m)

Fig. 3은 Quartz, Al₂O₃, SiC, Si₃N₄와 ZrO₂의 비연삭에너지를 나타낸다. 연삭가공에 필요한 비연삭에너지는 다음 식(1)을 이용하여 구하였다.

$$u = \frac{P}{Q_w} = \frac{F_t V_s}{b a_p v_w} \quad (1)$$

여기서, F_t 는 접선방향 연삭저항력(N/mm), V_s 는 휠 속도(m/s), d_w 는 휠 직경(mm), v_w 는 공작물 이송속도(m/min)이며, b 는 휠 폭(mm)이다.

Fig. 3에서 Quartz의 비연삭에너지는 Si₃N₄나 ZrO₂에 비해 1/10 정도이고, SiC에 대해서는 1/5정도이며, Al₂O₃와 비교해서 1/2정도로 작게 나타났다.

Fig. 4는 Quartz, Al₂O₃, SiC, Si₃N₄와 ZrO₂를 연삭하고 난 후의 가공표면에 대한 SEM사진이다. Quartz

의 경우는 공작물 표면에 Micro fracture가 발생한 것으로 보아 주로 취성 모드에 의해 재료가 제거된 것을 알 수 있고, Al_2O_3 나 SiC 의 경우도 Micro fracture 공작물 표면에 발생된 것으로 보아 Quartz와 마찬가지로 취성모드에 의해서 재료가 제거된 것을 알 수 있다. 반면에 Si_3N_4 와 ZrO_2 의 경우는 연성가공에 의해 재료가 제거된 것을 관찰 할 수 있다.

Fig. 5는 위의 재료들에 대해 표면조도를 측정한 결과이며, 취성가공 모드로 연삭된 Quartz와 Al_2O_3 , SiC 의 경우는 SEM사진에서 보는것처럼 측정된 연삭 방향의 표면거칠기값이 크게 나타났으며, 연성가공 모드를 보인 Si_3N_4 와 ZrO_2 의 경우는 표면거칠기값이 작게 나타났다.

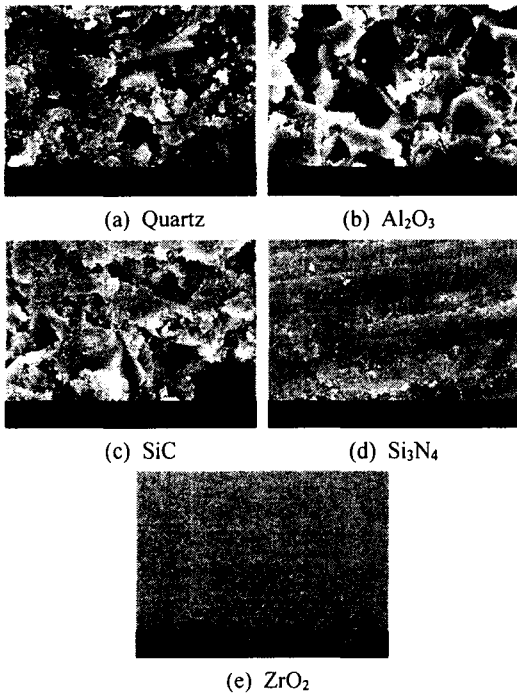


Fig. 4 SEM photograph of Quartz, Al_2O_3 , SiC , Si_3N_4 , and ZrO_2 ($V_w=6m/min$, $a_p=10\mu m$)

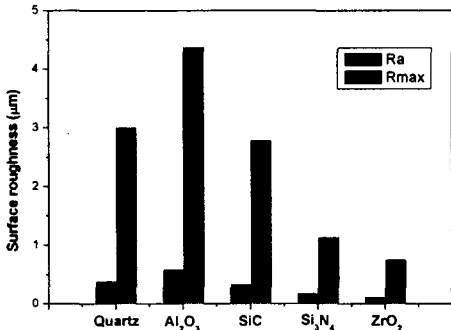
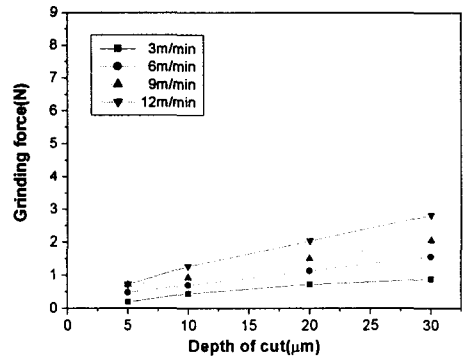
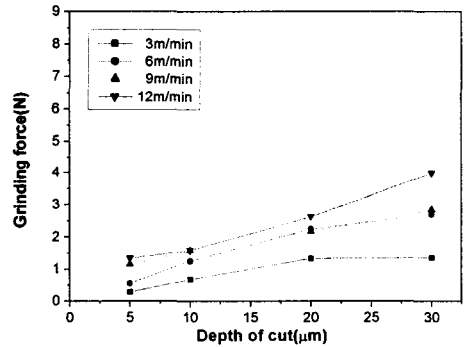


Fig. 5 Surface roughness of Quartz, Al_2O_3 , SiC , Si_3N_4 , and ZrO_2 ($V_w=6m/min$, $a_p=10\mu m$) for Grinding direction

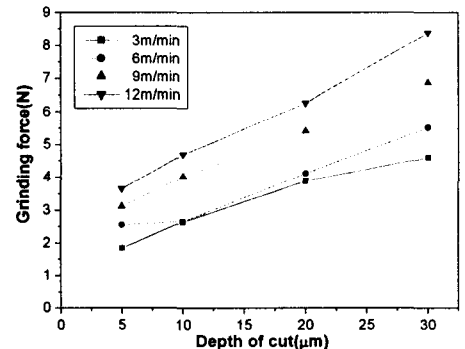
Fig. 6은 연삭시 법선방향 연삭저항력의 변화를 살펴보기 위해 #100, #200, #400입도의 휠로 절입깊이를 5-30 μm 으로 변화시키면서 연삭한 결과이다. 이때 공작물 이송속도를 3-12m/min로 변화시켜 보았다. 그 결과 절입깊이가 증가할수록 연삭저항력이 증가하였으며, 이송속도가 증가함에 따라 연삭저항력도 증가하였다. 그리고 휠의 입도가 #400일 경우의 연삭저항력이 가장 크게 나타났으며 #100의 경우가 가장 작게 나타났다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 6 Grinding forces versus depth of cut for (a) #100, (b) #200, (c) #400mesh wheel

Fig. 7(a)는 절입깊이변화에 따른 표면거칠기를

살펴보기 위해 절입깊이를 5~30 μm 까지 증가시키면서 #100, #200, #400입도의 휠로 연삭 했을때의 Ra값과 Rmax값을 나타낸 결과이고, Fig. 7(b)는 공작물 이송속도변화에 따른 표면거칠기를 살펴보기 위해 공작물 이송속도를 3~12m/min까지 증가시키면서 #100, #200, #400입도의 휠로 연삭 했을때의 Ra값과 Rmax값을 나타낸 결과이다. #100입도의 휠로 연삭한 경우 Ra, Rmax의 값이 가장 높고, #400입도의 휠로 연삭한 경우 가장 낮은 값을 보였다. 절입깊이변화에 따른 표면거칠기는 거의 변화가 없으나, 이송속도변화에 따른 표면거칠기값은 속도가 증가할수록 표면거칠기 값도 증가하는 양상을 보였다.

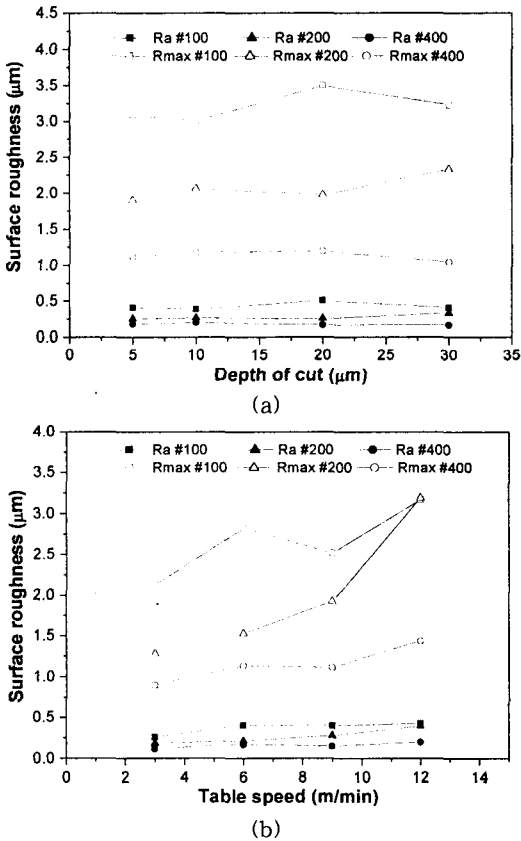


Fig. 7 Surface roughness for (a)Depth of cut (b) Table speed

Fig. 8은 #100, #200, #400입도의 휠로 절입깊이 5~30 μm , 이송속도 3~12m/min로 연삭조건을 변화시켰을 때의 재료제거율에 대한 비연삭에너지 값을 나타낸 것이다. 재료제거율이 증가할수록 비연삭에너지 값은 지수 함수적으로 감소하는 것을 볼 수 있으며, Chip formation energy(u_{ch})값이 6J/mm³정도가 됨을 알 수 있었다.

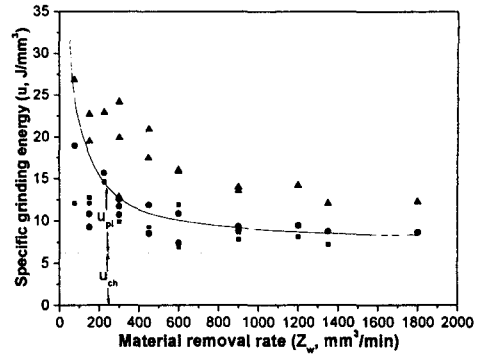


Fig. 8 Specific grinding energy versus material removal rate

4. 결론

본 연구에서는 Quartz의 연삭특성을 파악하기 위해 Quartz, Al₂O₃, SiC, Si₃N₄와 ZrO₂의 재료들에 대해 #100, #200, #400입도의 다이아몬드휠로 연삭 가공하여 연삭저항력, 표면거칠기와 비연삭에너지를 구하고 비교, 검토하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) Quartz의 연삭저항력은 Al₂O₃와 SiC의 1/3배, Si₃N₄와 ZrO₂의 1/10정도임을 알 수 있었고, 공작물 이송속도와 절입깊이가 증가할수록 연삭저항력도 증가함을 알 수 있었다..

(2) Quartz의 비연삭에너지는 Si₃N₄나 ZrO₂의 1/10 정도이고, SiC의 1/5정도이며, Al₂O₃의 1/2정도로 작게 나타났다. #400입도의 휠로 연삭한 경우가 가장 높은 값을 보였으며, 재료제거율이 증가함에 따라 지수함수적으로 감소하는 것을 알 수 있었다.

(3) Quartz의 표면거칠기값은 Al₂O₃, SiC와 비슷하며 SEM사진으로 분석한 결과 취성모드로 재료가 제거되었음을 알 수 있었고, 연성모드로 제거된 Si₃N₄와 ZrO₂에 비교해서 3배 정도가 됨을 알 수 있었다.

(4) Quartz의 Chip formation energy(u_{ch})값은 6J/mm³정도가 됨을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Malkin, S., "Grinding Technology : Theory and Application of Machining with Abrasives", John wiley & Sons, New York.
2. T. W. Hwang, Malkin S., "Grinding Mechanical and Energy Balance for Ceramics", Transaction of the ASME, Vol. 121, pp. 623-631, 1999.
3. Malkin, S., T. W. Hwang, "Grinding Mechanisms for Ceramics", Annals of the CIRP, Vol. 45, n. 2, 1996