

Quartz의 연삭 특성에 관한 연구(II)

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

A Study on the Grinding Characteristics of the Quartz(II)

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

ABSTRACT

In the previous report¹⁾, the grinding characteristics of quartz were investigated. In this paper, the grinding mechanisms of brittle materials including ceramics and quartz are modeled and a new parameter SDR(Surface roughness Direction Ratio) is proposed to characterize the grinding mechanisms of such materials. A set of experiments were performed to verify the effectiveness of the suggested parameter. The experimental results indicate that the plastic deformation is the dominant material removal mode at the grinding conditions which show the higher value of SDR. In the case of quartz, the material was removed by brittle fracture in a lower value of SDR and by plastic deformation in a higher value of it. SDR is not affected by wheel mesh size when brittle fracture occurred. But in the plastic deformation case, SDR value increases with wheel mesh size.

Key Words : SDR(Surface roughness Direction Ratio, 표면거칠기방향비), Plastic deformation(소성변형) Brittle fracture(취성파괴)

1. 서론

Quartz를 포함한 Glass의 연삭은 주로 Diamond 연삭 휠로 행해진다. 연삭의 Mechanism은 복잡하며 더우기 Glass의 연삭은 다른 Ceramic재료와 비교해 볼때 재료 그 자체의 성질로 인해 더욱 까다롭다.²⁻³⁾ 이전의 많은 연구들로부터 Silicon carbide를 이용하여 Glass를 연삭할 경우 소성변형(Plastic deformation)에 의한 칩 발생으로 재료제거가 일어나고 Diamond를 이용할 경우 소량의 소성변형에 의한 취성파괴로 재료가 제거되어지며 이때 소성변형은 취성파괴에 비해 더 많은 에너지를 필요로 한다는 것을 알았다.⁴⁻⁵⁾ Glass 중에서도 순도가 높은 Quartz에 대한 가공방법이 소개 되었으나 극히 일부분에 한정되어 있다.⁶⁾

본 연구에서는 지난번 연구에 이어 Quartz의 연삭 특성에 관해 알아보았다. 연삭방향 표면거칠기에 대한 연삭직각방향의 표면거칠기의 비(Surface

roughness Direction Ratio, 이하 SDR)를 정의하고 이 SDR에 영향을 미치는 연삭인자에 대해 살펴 보았으며, 이 값의 변화에 따른 표면의 형태를 SEM 사진과 함께 알아 보았다. 이 시도는 먼저 몇 종류의 세라믹재료에 대해서 같은 연삭조건을 적용하여 재료제거 형태가 취성파괴 또는 소성변형을 일으키는 지 알아보았고, 각기 다른 연삭조건을 적용한 Quartz재료에 대해서도 알아보았다.

2. Quartz의 연삭 메카니즘 모델

Fig. 1은 연삭가공 후의 취성파괴와 소성변형이 일어난 표면을 이상화한 그림이다. (a)그림은 연삭 후 취성파괴가 일어난 표면으로 실제표면은 입자에 의해 깨어진 결정들이 상당히 불규칙하게 분포되어 있음을 우린 알고 있다. 연삭방향이 그림과 같을때 연삭방향으로 표면거칠기를 측정할 경우엔 우측 전 단면 위를 트레이서(Tracer)가 지나가면서 거칠기

를 측정하게 되고, 연삭직각방향으로의 측정시 좌측 전단면 위를 트레이서가 지나가며 측정한다고 생각하면 되겠다. (b)그림은 소성변형이 일어난 표면으로 연삭입자가 지나간 자리는 골이 생겨나고 골과 골 사이는 산모양과 같은 표면을 이루게 된다.

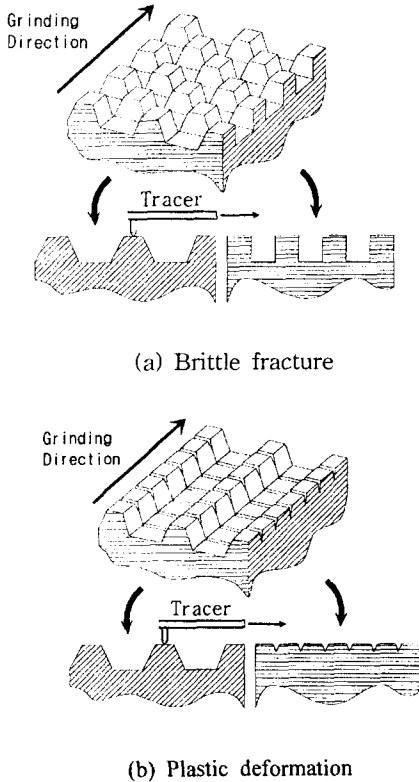


Fig. 1 Idealized grinding mechanism

위 그림을 통해 볼때 취성파괴되는 연삭방향에 대한 연삭직각방향의 표면거칠기가 큰 차이를 보이지 않겠지만 소성변형의 경우는 그 차이가 클 것으로 짐작할 수 있다. 다시 말해서 연삭방향에 대한 연삭직각방향의 비를 알게 된다면 그 재료의 제거 형태를 추측할 수 있을 것이다. 여기서 연삭방향에 대한 연삭직각방향의 표면거칠기 비를 Surface roughness Direction Ratio(SDR)라 하고 식(1)과 같이 정의를 내릴 수 있다.

$$SDR = \frac{\text{연삭직각방향 표면거칠기}(\mu\text{m})}{\text{연삭방향 표면거칠기}(\mu\text{m})} \quad (1)$$

SDR 값이 작은 표면은 취성파괴로, 값이 큰 표면은 소성변형으로 재료가 제거되었다고 말할 수 있는데, 본 연구에서는 몇가지 Ceramic재료에 대해 이 값

을 적용시켜보고 Quartz에 대해서도 알아 보았다.

3. 실험조건 및 방법

본 실험에 사용된 Ceramic 재료는 이전의 연구와 동일 하며, Quartz 재료도 GE에서 생산된 고순도의 214 Type을 Diamond 절단기를 이용 5mm× 30mm× 40mm로 절단하여 사용하였고, 대략적인 성분함량은 Table 1에서와 같다. Table 2는 사용된 휠과 실험조건을 나타내었으며, Fig. 2는 연구에 사용된 실험장치이다.

Table 1 Chemical compositions of the Quartz

element	Al	Ca	K	Li	Na	Ti	Zr	Si
%	14	0.4	0.6	0.6	0.7	1.1	0.8	81.8

Table 2 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):0.06, 6, 12m/min
	Depth of cut(a_p):5, 10, 1000 μ m
	Grinding type:Up & Wet
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

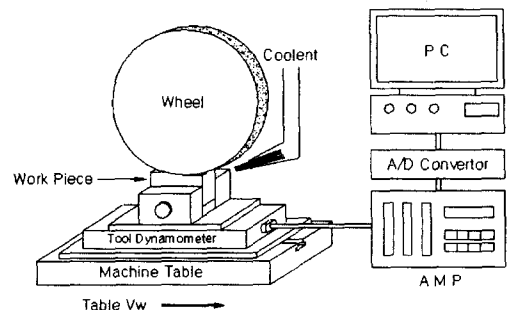


Fig. 2 Experimental set-up

4. 실험결과 및 검토

연삭가공 후의 표면거칠기를 알아보기 위해 몇몇 Ceramics 재료에 대해 같은 연삭조건으로 연삭가공 후 그 표면거칠기를 알아보았다. Fig. 3은 #100입도의 다이아몬드 휠로 Quartz, Al₂O₃, SiC, Si₃N₄, 그리고 ZrO₂를 연삭가공 한 후의 공작물 표면의 연삭방향과 연삭직각방향에 대한 Ra, Rmax값을 나타내었다. Quartz, Al₂O₃와 SiC의 연삭방향에 대한 표면거칠기는 Si₃N₄와 ZrO₂에 비해 Ra, Rmax값 모두 높게 측정되었고, 연삭 직각방향에 대해서도 같은 경향을 보였으나 그 비율은 연삭 방향 만큼은 크지 않았다.

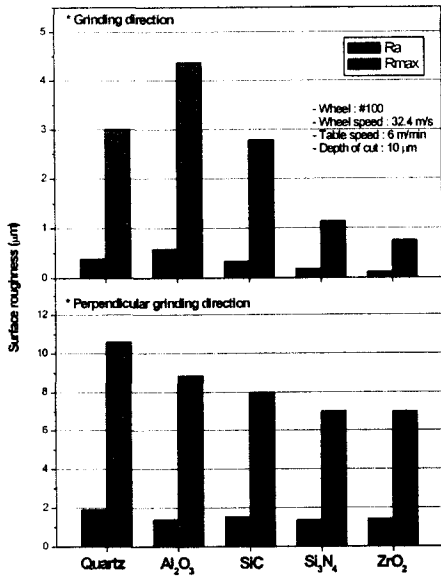


Fig. 3 Surface roughness of Quartz, Al₂O₃, SiC, Si₃N₄, and ZrO₂ for grinding direction and perpendicular grinding direction

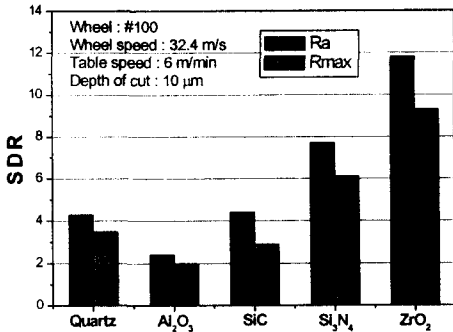


Fig. 4 SDR of Quartz, Al₂O₃, SiC, Si₃N₄, and ZrO₂

Fig. 4는 앞의 Ceramics 재료들에 대한 SDR 값을 나타내고 있다. Quartz, Al₂O₃와 SiC의 Ra에 대한 SDR 값은 대략 2~4 정도 이지만 Si₃N₄와 ZrO₂의 SDR 값은 8~12 정도로 높게 나타났다.

Fig. 5는 위 재료들의 표면 SEM사진이다. 이 사진을 통해 SDR 값이 작았던 Quartz, Al₂O₃와 SiC는 취성파괴에 의해 재료가 제거 되었지만 상대적으로 SDR 값이 높았던 Si₃N₄와 ZrO₂는 소성변형에 의해 재료가 제거 된 흔적을 발견할 수 있었다.

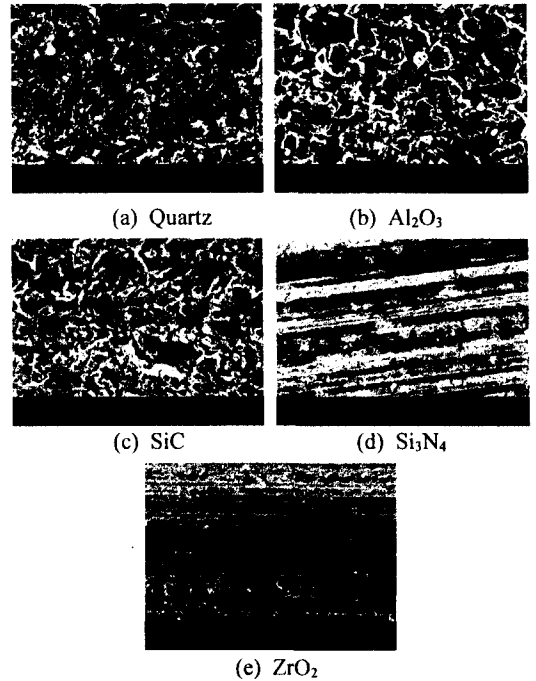


Fig. 5 SEM photograph of Quartz, Al₂O₃, SiC, Si₃N₄, and ZrO₂

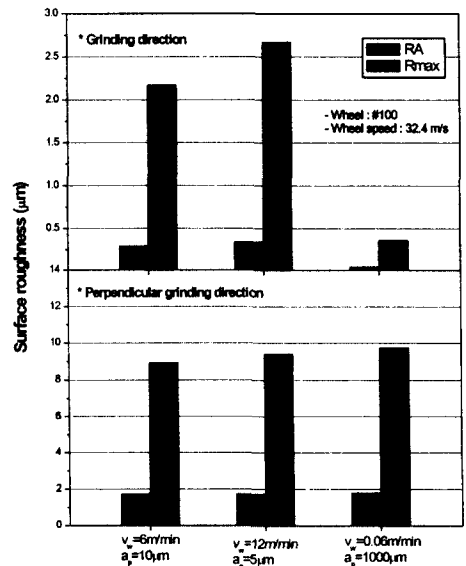


Fig. 6 Surface roughness of Quartz for grinding direction and perpendicular grinding direction

Quartz 재료를 Conventional과 Creepfeed 연삭 조건으로 연삭하여 보았다.

Fig. 6은 Quartz 재료를 각기 다른 조건으로 연삭했을 경우 공작물의 연삭방향과 연삭직각방향에 대한 Ra, Rmax값을 나타내었다. Creepfeed 연삭을 한 경우의 연삭방향의 표면거칠기가 Conventional 연삭을 한 경우에 비해 값이 상당히 작았지만, 연삭직각방향에 대해서는 큰 차이가 없음을 알 수 있었다.

Fig. 7은 위 결과를 SDR 값으로 나타낸 것이다. Conventional 연삭을 한 경우의 SDR 값이 Ra, Rmax 모두 5 이하였고, Creepfeed 연삭의 경우는 27~36 정도의 값을 보였다. 재료제거 형태를 알아 보기 위해 연삭조건이 각기 다른 하나씩을 채택하여 SEM사진을 촬영하였다. Fig. 8에서 보는 것과 같이 Conventional 연삭으로 가공된 재료는 취성파괴로, Creepfeed 연삭으로 가공된 재료는 소성변형으로 재료가 제거되어진 것을 알 수 있었다.

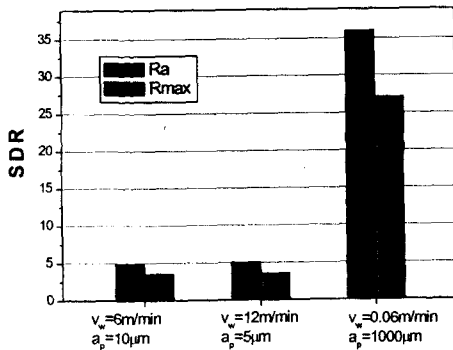


Fig. 7 SDR of Quartz

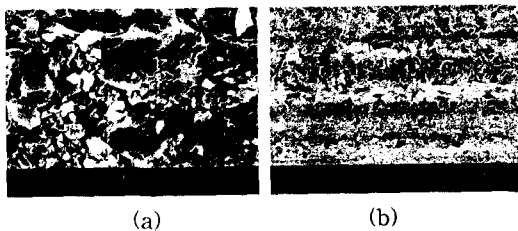


Fig. 8 SEM photograph of Quartz at (a) $V_w=6\text{m/min}$, $a_p=10\mu\text{m}$ (b) $V_w=0.06\text{m/min}$, $a_p=1000\mu\text{m}$

Fig. 9는 Quartz 재료를 #100, #200, #400 입도의 휠을 이용하여 Conventional과 Creepfeed 연삭 조건으로 연삭 하였을 때의 SDR의 변화를 나타내었다. Conventional 연삭의 경우 입도의 변화에 따른 SDR 값의 변화는 크지 않지만, Creepfeed 연삭의 경우엔 입도가 증가함에 따라 SDR 값이 급격히 낮아지는 것을 볼 수 있었다.

Fig. 10은 위 조건으로 연삭가공된 재료의 표면을 촬영한 SEM사진이다. (a)는 Conventional 연삭을 한 표면으로 입도의 변화와는 관계없이 모두 취성파괴가 일어났음을 알 수 있었고, (b)는 Creepfeed 연삭을 한 표면으로 모든 입도에 대해 소성변형이 일어난 것을 볼 수 있었으며 Conventional과 Creepfeed 연삭 조건 모두 입자가 작은 #400 입도의 경우가 가장 좋은 표면을 보이는 것을 알 수 있었다.

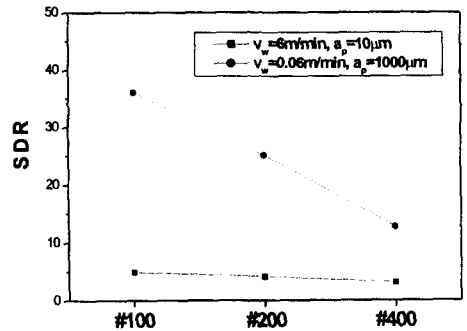


Fig. 9 SDR vs. mesh size of wheel

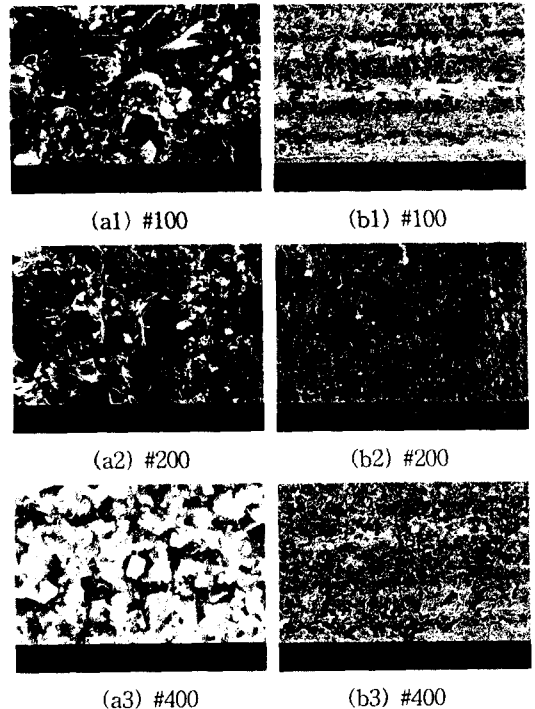


Fig. 10. SEM photograph of ground surface with (a)conventional condition (b)creepfeed condition

Fig. 11은 비연삭에너지와 휠 입도의 변화에 따른 SDR 값의 변화를 나타내고 있다. 비연삭에너지

가 낮은 Conventional 조건보다 비연삭 에너지가 높은 Creepfeed 조건이 SDR 값이 크게 나타났고, 입도가 클수록 SDR 값이 크게 나타난 것으로 보아 SDR 값은 비연삭에너지와 다이아몬드 입자 크기에 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 또한 에너지가 낮은 영역에서는 SDR 값이 휠 입도에 영향을 받지 않지만, 비연삭에너지가 높은 영역에서는 입자가 커질수록 SDR 값이 높다는 것을 알 수 있었다.

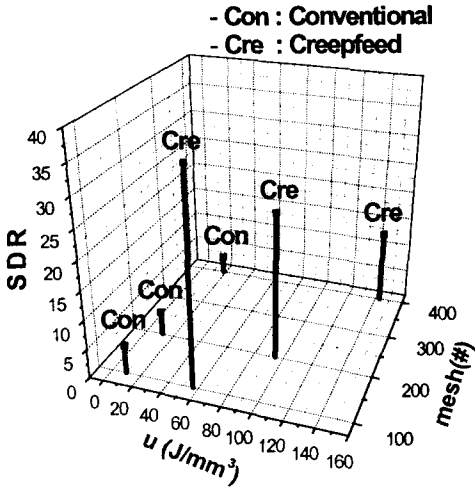


Fig. 11 The relation of SDR, specific energy and wheel mesh

4. 결론

본 연구에서는 연삭면의 표면거칠기와 관련하여 SDR 값을 정의하였고, Quartz 재료에 대해 SDR 값을 구하였으며 이 값에 영향을 미치는 인자를 비연삭에너지, 휠 입도와 관련하여 연구하여본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) Ceramic 재료의 SDR 값은 취성과파괴로 인한 재료제거의 경우 2~4, 소성변형일 경우 8~12의 수치를 나타내었다.
- (2) Quartz의 SDR 값은 취성과파괴로 인한 재료제거의 경우 5 이하였고, 소성변형의 경우는 27~36 정도의 수치를 보였다.
- (3) Conventional 연삭시엔 입도의 변화가 SDR 값에 영향을 크게 미치지 않지만, Creepfeed 연삭시엔 영향을 미친다.
- (4) 비연삭에너지가 낮은 영역에서는 SDR 값이 휠 입도에 영향을 받지 않지만, 높은 영역에서는 휠 입도가 작아질수록 SDR 값이 커진다.

참고문헌

1. 임종고, 하상백, 최환, 이종찬, "Quartz의 연삭특성에 관한 연구(I)", 한국정밀공학회춘계학술대회 논문집, pp 870-873, 2000
2. M. Huerta, S. Malkin, "Grinding of Glass: The Mechanics of the Process" Transactions of the ASME, May 1976, pp. 459-467
3. M. Huerta, S. Malkin, "Grinding of Glass: "Surface Structure and Fracture Strength" Transactions of the ASME, May 1976, pp. 468-473
4. T. Kato, H. Fuji, "Energy Partition in Conventional Surface Grinding", Transactions of the ASME, Vol.121, August 1999, pp. 393-398
5. Kun Li, T. W. Liao, G. P. Fang, J. E. Mayer Jr., K. Breder, "Creep-Feed Grinding Of Al₂O₃ and Si₃N₄ under Widely Different Conditions", SME, May 1997, pp. 20-23
6. T. G. Bifano, J. B. Hosler, "Precision Grinding of Ultra-Thin Quartz Wafers", Transactions of the ASME, Vol. 115, August 1993, pp. 258-262