韓國精密工學會 '97年度 秋季學術大會論文集 pp.14~18

구조용 세라믹스의 연삭특성에 관한 연구(Ⅰ)
(Grinding Characteristics of Structural Ceramics-Ⅰ)

하상백*, 정재극**, 최 환***, 이종찬***
Sangbaek Ha, Jaekeuk Jeong, Whan Choi, Jongchan Lee

ABSTRACT

Although structural ceramics have excellent mechanical properties, it is very difficult to grind with high efficiency and high quality because of their high strength, hardness, and brittleness. Unfortunately machined ceramics often contain surface damages such as micro fracture and cracks on account of brittle fracture. Therefore, it is important to minimize the brittle fracture. The present paper examines grinding characteristics of representative structural ceramics, such as Al_2O_3, SiC, Si_3N_4. Effects of grinding variables including table speed and depth of cut on the grinding performance were investigated. Experimental results show that the surface quality is related to the specific grindings energy. The higher specific energy results in the better surface quality.

Key Words: Grinding(연삭), Structural ceramics(구조용세라믹스)

1. 서 론

세라믹스는 금속재료, 유기재료와 더불어 제3대 재료로서 기계, 전기전자, 광학 분야 등 산업 전반에 걸쳐 널리 사용되고 있다. 세라믹스 중에서도 구조용 세라믹스는 높은 강도와 경도 및 내마모성 등 우수한 재료 기능을 가지고 있어 그 사용 범위가 넓어지고 있다. 하지만 취성이 큰 단점을 가지고 있기 때문에 연삭가공시 취성파괴로 인하여 피삭재표면 및 하층부에 미세크랙을 발생시켜 피삭재의 기계적 성질을 상당히 떨어뜨리게 된다[1]. 그러므로 취성가공을 피하고 연성가공이 이루어지도록 가공조건을 선정하는 것이 제품의 품질 향상을 위해 중요하다. 세라믹스의 파괴모드에 관한 연구는 단입자의 압입실험을 통한 연구와 실제연삭에 의한 연구가 있어져 왔다.[2]-[5] 실제 연삭에서는 휠상의 입자가 여러 모양과 방향을 가지며 연삭시 다수의 입자에 의한 크랙의 간섭 등이 일어나기 때문에 단입자에 의한 실험결과와는 차이가 난다.

그러므로 본 연구에서는 대표적인 구조용 세라믹스인 Al_2O_3, SiC, Si_3N_4의 실제연삭을 통하여 각 세라믹의 연삭특성을 살펴보았으며 가공조건 변화가 연삭모드에 미치는 영향에 대하여 살펴보았다.

2. 실험 조건 및 이론

2.1 실험조건

본 실험에 사용된 휠은 입도 230인 레진본드 다이아몬드휠이고 공작기계는 1㎛까지 절입이 가능한 디지털 장치를 부착한 부분 유압식 범용 횡축 수평형 평면연삭기(Model: YGS-50A (1.5kw, 3440rpm)를 사용하였다. 연삭저항력의 측정을 위해 압전형 공구동력계(Kistler, 9257B)를 연삭기 테이블 위에 설치하여 공작물 연삭시 공구동력계에서 발생된 신호를 다채널 증폭기(Kistler, 5019A)에서 증폭한 후 아날로그-디지탈변환기(IOtech, DaqBook)를 거쳐 디지탈화하여 개인용 컴퓨터(PC)의 Grinding force software를 사용하여 실험에서 얻어진 연삭저항력 값을 구하였다. 공작물의 표면은 SEM을 통하여 관찰하였고 공작물의 표면조도

* 금오공과대학교 기계설계공학과 대학원
** 두영세미텍
*** 금오공과대학교 기계설계공학과

(R_a 와 R_{max})는 촉침식 표면조도계(Mitutoyo, SV-600)를 사용하여 측정하였다.

Fig. 1은 본 연구에 사용된 실험장치의 개략도를 나타내고, Table 1은 본실험에 사용된 실험조건을 나타낸다.

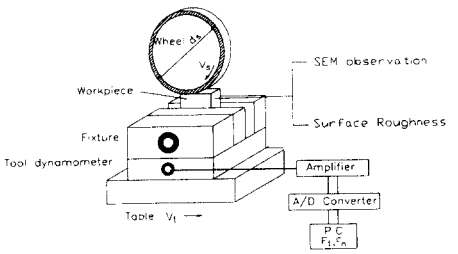


Fig. 1 Experimental set-up

Table 2. Experimental conditions

Grinding machine	Horizontal type surface grinding machine Model: YGS-50A(1.5 kW, 3440rpm)	
Grinding wheel	SDC230N100WC	
Workpiece	Al_2O_3, SiC, Si_3N_4, (10×3mm)	
Grinding conditions	Wheel speed(V_s): 27 m/s	
	Table speed(V_t) : 3m/min~12m/min	
	Depth of cut(a_b): 5μm~ 30μm	
	Grinding type: plunge & wet	
Grinding fluid	Syntilo 25(50:1)	
Dressing condition	Dressing stick	WA220 stick
	Grinding type	traverse & wet
	Depth of cut	30 μm
	Table speed	6 m/min
	Cross feed	5 mm/pass

2.2 이 론

단위입자당 연삭저항력(식(1)) 은 연삭저항력을 실제연삭에 관여하는 입자(C_d)로 나누어 구하였고 입자당 절입깊이(h_m)는 식(3)으로 구하였다[6].

$$F_n/grit = \frac{F_n}{C_d} \quad (1)$$

$$C_d = 2.2889 \frac{b_u (aD_s)^{1/2} V_g^{2/3}}{(\tan\gamma)^{1/3} (d_g)^2} \left(\frac{V_w}{V_s}\right)^{1/3} \left(\frac{a}{D_s}\right)^{1/6} \quad (2)$$

$$h_m = 1.016 d_g (V_g \tan\gamma)^{-1/3} \left(\frac{V_w}{V_s}\right)^{1/3} \left(\frac{a}{D_s}\right)^{1/6} \quad (3)$$

여기서 d_g 는 입자직경, V_g는 입자가 차지하는 체적비, V_w는 테이블속도, V_s는 휠속도, a는 절입깊이, D_s는 휠 직경, γ 는 입자의 반정각으로 60 °로 가정하였다.

3. 실험결과

Fig. 2 는 입자당 절입깊이에 대한 Al_2O_3, SiC, Si_3N_4 의 비연삭에너지를 나타낸다. 세 종류의 세라믹스 다 입자당 절입깊이가 증가할수록 비연삭에너지가 감소함을 보였고 이는 금속연삭과 같은 결과이다. 그리고 세 종류의 세라믹스 중 Si_3N_4가 가장 비연삭에너지가 크고, Al_2O_3 와 SiC는 유사한 크기를 나타냈다. 연삭가공시 비파괴에너지는 비연삭에너지의 1% 정도 밖에 차지하지 않으므로 에너지의 대부분은 소성변형에 의해 소비된다[2]. 바꾸어 말하면 연삭에너지가 높을수록 소성변형에 의한 연성가공이 많이 일어난다.

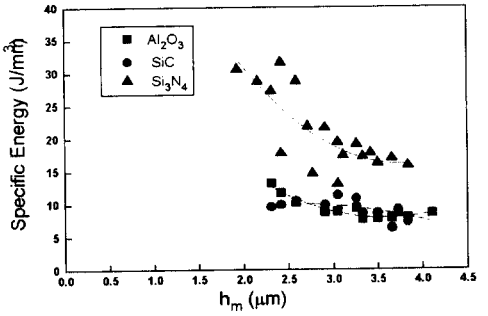


Fig. 2 Specific energy versus grit depth of cut

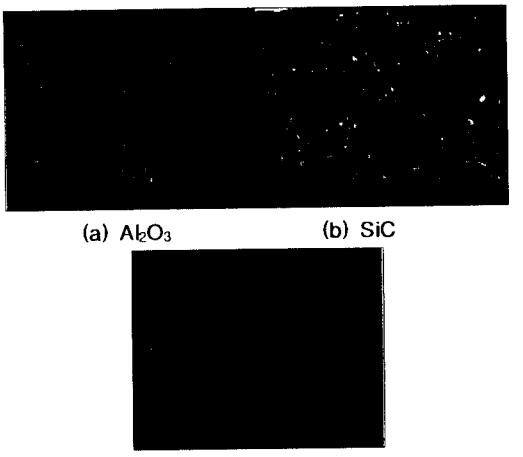
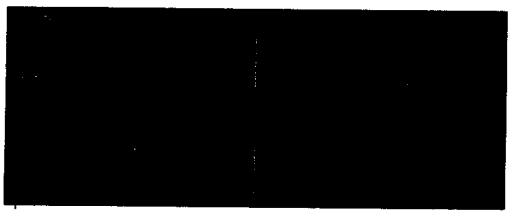


Fig. 3 SEM observation of workpieces after grinding (a=10μm, v_w=3m/min)

Fig. 3은 연삭후 각 세라믹의 공작물 표면을 SEM으로 관찰한 결과이다. 비연삭에너지가 가장 큰 Si_3N_4가 가장 연성가공이 많이 되어 표면이 양호하고 Si_3N_4에 비해 비연삭에너지가 작은 Al_2O_3 와 SiC는 공작물 표면에 미세균열 및 미세크랙이 많이 존재하였다. 특히, SiC는 표면에 취성파괴가 많이 발생한 것을 관찰할 수 있었다. 다시 Fig. 2를 보면 연성가공이 많이 일어나는 Si_3N_4의 경우 입자당 절입깊이 변화에 따른 비연삭에너지 변화가 큰데 비해 취성파괴가 주로 일어나는 Al_2O_3와 SiC 는 입자당 절입깊이 변화에 따른 비연삭에너지의 변화폭이 적은 것을 볼 수 있다. 이는 바꾸어 말하면 취성파괴가 일어날 경우 가공조건의 변화에 따른 비연삭에너지의 변화가 적다는 것을 의미한다.

Fig. 4는 칩의 형상을 나타낸다. Al_2O_3와 SiC는 표면에서 깨어져 나온칩의 형태로 유사한 형상을 하고 있었고, 칩의 형상을 통하여 취성파괴가 재료제거의 주된 모드인 것을 확인할 수 있었다. Si_3N_4의 경우는 Al_2O_3와 SiC의 칩의 형상과는 차이가 났고, 굽어진 듯한 모양의 칩이 있는 것으로 보아 연삭가공시 소성변형이 존재하는 것을 확인 할 수 있었다.



(a) Al_2O_3 (b) SiC

(c) Si_3N_4

Fig. 4 SEM observation of chips

Fig. 5는 이송속도 및 절입깊이와 비연삭에너지와의 관계이다. 세 종류의 세라믹 모두 이송속도가 증가할수록 비연삭에너지는 감소하였고 절입깊이에 따라서는 재료에따라 여러 경향을 보였다. SiC의 경우는 절입깊이가 증가할수록 비연삭에너지가 증가하는 경향을 보였고 Al_2O_3의 경우도 이송속도가 3m/min을 제외하고 절입깊이가 증가할수록 비연삭에너지가 증가하는 경향을 보였으며 Si_3N_4의 경우는 절입깊이에 영향이 없는 것으로 나타났다.

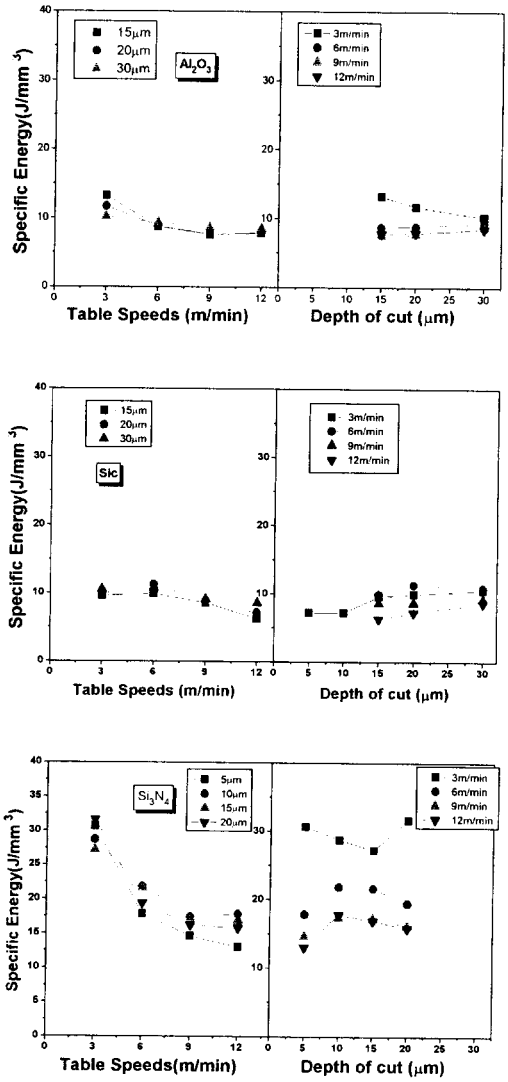


Fig. 5 Specific energy versus Table speeds & Depth of cut

Fig. 6은 이송속도와 절입깊이 변화에 따른 비연삭에너지가 표면에 미치는 영향을 살펴보기위해 이송속도와 절입깊이 변화에 따른 SiC 공작물 표면을 SEM으로 관찰한 결과이다. Fig. 5에서 SiC의 경우 이송속도가 작아질수록 그리고 절입깊이가 크질수록 비연삭에너지가 크게 나타났었다. 공작물 표면을 관찰한 결과 이송속도가 작아질수록 그리고 절입깊이가 커질수록

연성파괴가 많이 일어나 공작물 표면이 양호한 것을 관찰할 수 있었다. 이를 통해 비연삭에너지가 큰 조건이 연성파괴가 많이 일어난다는 것을 확인할 수 있었고 취성파괴가 일어나는 재료에서는 공작물표면이 비연삭에너지에 영향을 많이 받는다는 것을 알 수 있었다. 그러므로 같은 재료제거율에 대하여 이송속도보다 절입깊이를 증가시키는 것이 표면품질 향상에 유리하다.

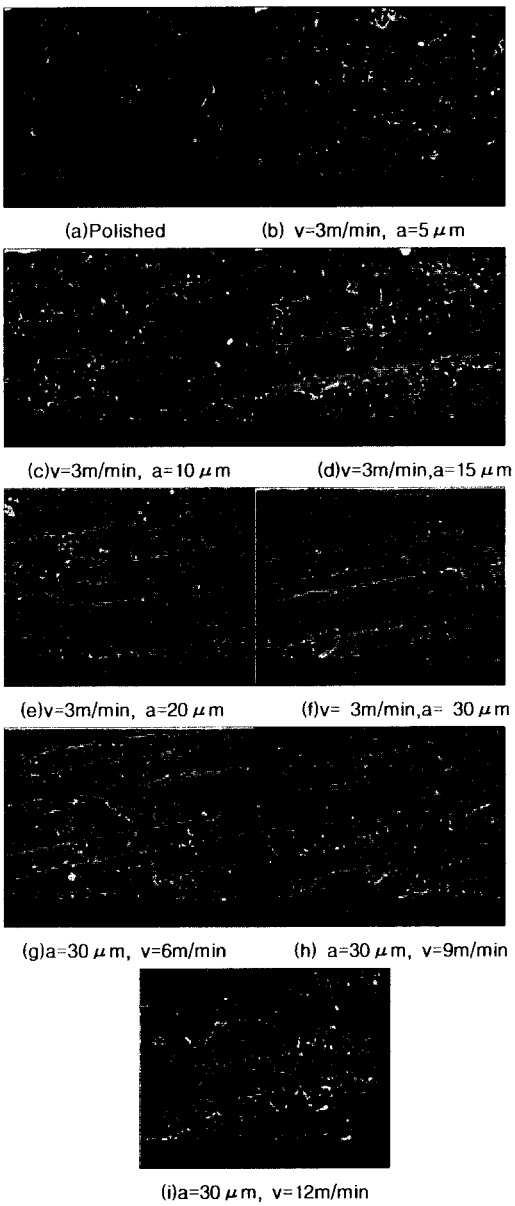


Fig. 6 SEM observation of SiC for various depth of cut and table speeds

그러나 Fig. 7에서와 같이 같은 재료제거율에 대하여 절입깊이와 이송속도가 수직연삭저항력에 미치는 영향을 살펴본 결과 같은 재료제거율에 대하여 이송속도가 큰 경우가 기울기가 작으므로 절입깊이가 수직연삭저항력에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있다. 그러므로 너무 큰 절입 깊이는 수직연삭저항력을 증가시켜 크랙발생 등 공작물 손상을 발생시킬 확률이 높다. 그러므로 절입깊이를 너무 깊게 하는 것은 피하는 것이 좋다.

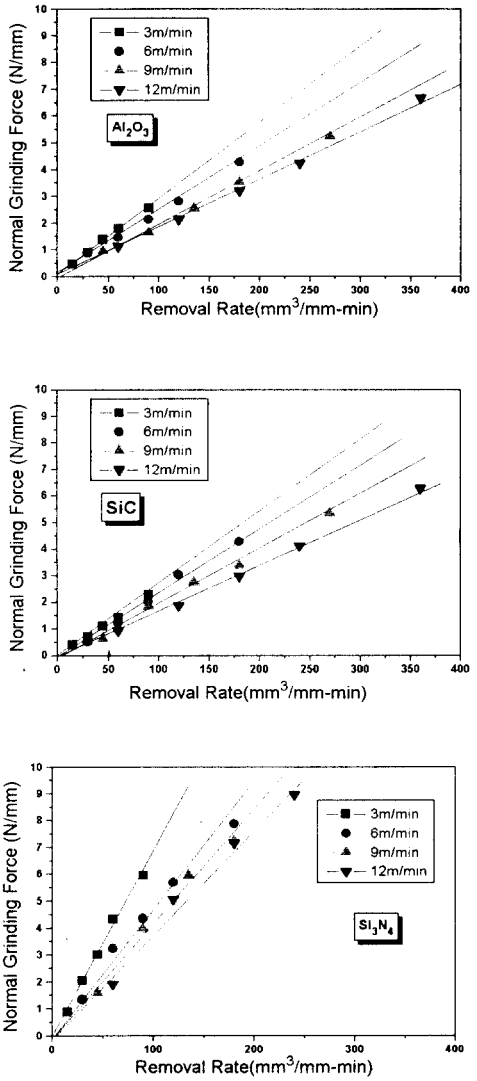


Fig. 7 The effect of table speed & depth of cut on the normal force for the same removal rate

Fig. 8은 입자당 절입깊이 변화에 따른 Al_2O_3, SiC, Si_3N_4의 평균표면조도(R_a), 최대표

면조도(R_{max}), 표면조도비(R_{max}/R_a)를 나타낸다. 입자당 절입깊이 변화에 대해서는 표면조도의 변화가 거의 없었으며 세라믹스 종류에 따라서 차이가 났다. 세 종류의 세라믹스 중 Si_3N_4가 R_a와 R_{max} 공히 가장 낮았고 SiC는 R_a는 Al_2O_3와 거의 같았지만 R_{max}는 Al_2O_3에 비해 크게 나타났다. 이는 SiC의 연삭특성으로 Fig. 2에서 볼 수 있는 것같이 공작물 표면의 많은 취성파괴에 의한 것으로 생각되고 Al_2O_3, Si_3N_4에 비해 표면조도비가 큰 것이 SiC의 연삭특성인 것으로 나타났다.

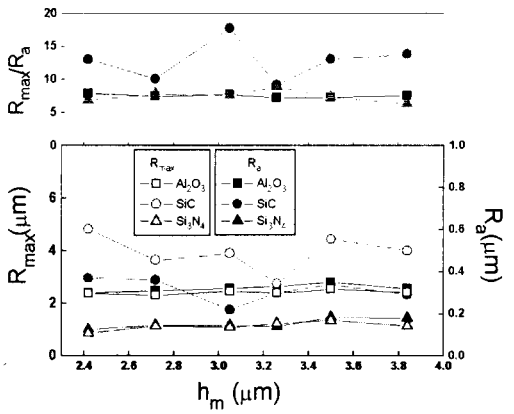


Fig. 8 Surface roughness and roughness ratio for Al_2O_3, SiC, Si_3N_4

4. 결론

다이아몬드휠을 사용한 구조용 세라믹스 연삭시 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 구조용 세라믹스 연삭시 연삭모드는 비연삭에너지와 관련이 있다.

2. 비연삭에너지가 가장 큰 Si_3N_4의 공작물 표면이 가장 우수하였으며 상대적으로 비연삭에너지가 낮은 Al_2O_3와 SiC의 경우 취성가공에 의해 공작물 표면에 미세크랙이 발생했으며 칩의 형상에서도 Al_2O_3와 SiC의 가공모드는 취성파괴란 것을 확인할 수 있었다.

3. 본 연구의 범위내에서 표면조도 값은 입자당 절입깊이(h_m)에 따라서는 영향이 없었고 세라믹스의 종류에 따라서 차이가 낮다. Si_3N_4가 가장 표면조도가 낮게 나타났으며 표면조도비(R_{max}/R_a)는 SiC가 가장 크게 나타났다.

5. 참고문헌

1) K. Li, T.W. Liao, G.P. Fang, J.E. Mayer, "Effect of Wheel Wear in Grinding of Structrual Ceramics", NAMRC, Vol. 24, p45, May 1996

2) S. Malkin, T.W. Hwang, "Grinding Mechanisms for Ceramics", Annals of the CIRP, Vol. 45, n.2, 1996

3) S. Malkin, J.E. Ritter, "Grinding Mechanisms and Strength Degradation for Ceramics" J. of Eng. for Industry, Vol. 111, n.167, May 1989

4) K. Kitajima, G.O. Cai, N. Kumagai, Y. Tanaka, "Study on Mechanism of Ceramics Grinding", Annals of the CIRP, Vol. 41, n. 1, 1992

5)M.C. Shaw, "Precision Finishing", Annals of the CIRP, Vol. 44, n.1, 1995

6)K. Li, T.W. Liao, G.P. Fang, J.E. Mayer, K.Breder, "Creep-feed Grinding of Al_2O_3 and Si_3N_4 under Widely Different Conditions", NAMRC, Vol25, p45, May 1997