

구조용 세라믹스의 연삭특성에 관한 연구

하상백*, 전영길*, 최 환**, 이종찬**

A Study on the Grinding Characteristics of Ceramics

Sang Baek Ha*, Young Kil Jeon*, Whan Choi**, and Jong Chan Lee**

ABSTRACT

Structural ceramics such as Al_2O_3 , SiC, and Si_3N_4 are difficult to grind materials because of their high hardness and brittleness. They are normally ground in brittle mode, but it is possible to be ground in ductile mode depending upon the grinding conditions. In this paper an experimental investigation has been carried out to see the relationship between the grinding energy and grinding mode. It has been found that the ductile mode grinding consumes more grinding energy than the brittle mode grinding. Thus, the grinding conditions of the higher specific grinding energy leads to the plastic deformation in the ground surface of workpiece and results in the better surface finish.

Key Words : Structural ceramics(구조용 세라믹스), Brittle mode grinding(취성모드연삭), Ductile mode grinding(연성모드연삭), Specific grinding energy(비연삭에너지)

1. 서론

최근들어 화인세라믹스 제조기술의 발달로 세라믹스의 기계적 성질이 크게 향상되었다. 화인 세라믹스 중에서도 Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 세라믹스와 같은 구조용 세라믹스는 여러 산업분야에 널리 이용되고 있다. 그러나 구조용 세라믹스는 강도와 경도가 높고 취성이 크기 때문에 난삭재로 분류되고 원하는 형상과 치수로의 가공이 어려워 산업분야의 적용에 제한을 받고 있다. 이러한 세라믹스의 가공에는 주로 다이아몬드휠을 사용한 연삭이 사용되는데 세라믹스는 가공조건에 의하여 가공형태가 취성모드와 연성모드로 가공되어진다고 알려져 있다⁽¹⁾. 취성모드에 의한 연삭은 재료표면에 미세크랙

및 미세균열 등을 야기시키기 때문에 세라믹스의 고품위 연삭을 위해서는 연성모드로 연삭되어야 한다. 본 연구에서는 연성모드와 취성모드에서의 연삭에너지가 다르다는데 초점을 두어 생산성과 관련 있는 재료제거율, 표면품질과 관련있는 공작물 표면조도, 그리고 비연삭에너지와의 상호관계를 살펴 보았다.

2. 실험조건 및 방법

본 연구에서는 수평형 평면연삭기를 사용하여 평면 연삭을 수행하였고 연삭휠은 입도가 230이고 집중도가 100인 래진 본드 다이아몬드휠을 사용하였다. 실험에 사용된 공작물은 Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 이고 이들의

* 금오공과대학교 기계설계공학과 대학원

** 금오공과대학교 기계공학부

재료 성질을 Table 1에 나타내었다. 이 실험에 사용된 매 실험마다 WA220 스틱으로 Table 2에 나타낸 대로 정돈을 하였으며, 브래싱 하였다. 연삭시 발생하는 연삭저항력은 공기동력계 (Kistler, 9257B)를 공작물 밑에 설치하여 연삭시 발생하는 연삭저항력을 측정하였고 공작물의 표면은 연삭방향의 표면조도(Ra)를 측정식 표면조도계(Mitutoyo, SV-600)를 사용하여 측정하였다. Table 2에는 본 실험에 사용된 실험조건을 나타냈다. 그리고 Fig. 1에 본 연구에 사용된 실험장치의 개략도를 나타냈다.

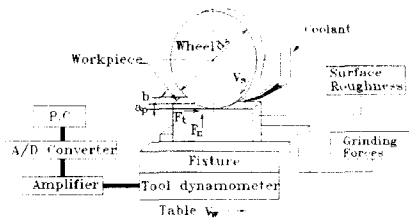


Fig. 1 Schematic illustration of experimental set-up

Table 1. Mechanical properties of ceramics

	Al ₂ O ₃	SiC	Si ₃ N ₄
Bending strength(σ_b)	38kg/mm ²	48kg/mm ²	62kg/mm ²
Young's modulus(E)	32,000 kg/mm ²	43,000 kg/mm ²	32,000 kg/mm ²

Table 2. Experimental conditions

Grinding machine	Horizontal type surface grinding machine Model: YGS-50A	
Grinding wheel	SDC230N100B	
Workpiece	Al ₂ O ₃ , SiC, Si ₃ N ₄	
Grinding conditions	Wheel speed(V_s): 30 m/s	
	Table speed(V_w): 0.06-12 m/min	
	Depth of cut(a_p): 5 - 240 μ m	
Grinding fluids	Grinding type: plunge & wet	
	Syntilo 25 (50:1)	
Dressing conditions	Dressing stick	WA220stick(100L×21W)
	Grinding type	traverse & wet
	Depth of cut	30 μ m
	Table speed	6 m/min
	Cross feed	5 mm/pass

3. 실험결과

3.1 재료제거율과 비연삭에너지와의 관계

Fig. 2는 Al₂O₃, SiC, Si₃N₄ 세라믹스를 이송속도 3m/min, 절입깊이 10 μ m로 연삭했을 때의 표면사진을 보여준다. Al₂O₃와 SiC의 경우는 표면에 Fracture가 많이 발생되어 있는 반면에 Si₃N₄의 경우는 앞의 두 경우에 비해 소성변형(Plastic deformation)흔적이 많이 있는 것을 볼 수 있다.

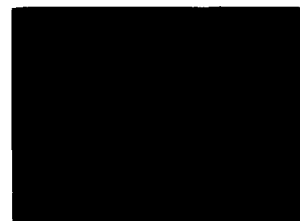
Fig. 3은 Al₂O₃, SiC, Si₃N₄ 세라믹스를 이송속도를 0.06m/min에서 12m/min까지 그리고 절입깊이를 5 μ m에서 30 μ m까지 변화시켜가며 연삭했을 때의 재료제거율과 비연삭에너지와의 관계를 나타낸다. 재료제거율(Z_w)은 단위시간에 제거되는 공작물의 체적을 말하며 식(1)과 같이 나타낼 수 있고 비연삭에너지(u)는 단위체적의 공작물을 제거하는데 필요한 에너지로 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$Z_w = ba_p v_w \quad (1)$$

$$u = \frac{P_m}{Z_w} = \frac{F_t V_s}{ba_p v_w} \quad (2)$$

여기서 P_m 은 연삭동력, b 는 연삭폭이고, V_s 는 휠주속도, F_t 는 접선연삭저항력이다.

Fig. 3에서 볼 수 있는 바와 같이 비연삭에너지의 크기는 Si₃N₄, SiC, Al₂O₃ 세라믹스 순으로 크게 나타났고 모든 세라믹스에 대하여 재료제거율이 증가할수록 비연삭에너지는 감소함을 볼 수 있다. 이를 통하여 재료제거율을 높이면 같은량의 재료를 제거하는데 필요한 연삭동력이 감소된다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 원인은 재료제거율이 증가할수록 같은 재료제거량에 대하여 취성파괴가 많이 일어나기 때문인 것으로 생각된다.



(a) Al₂O₃

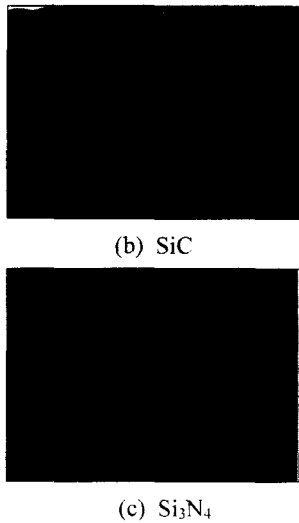


Fig. 2 SEM observation of workpieces after grinding ($a_p=10 \mu m$, $v_w=3m/min$)

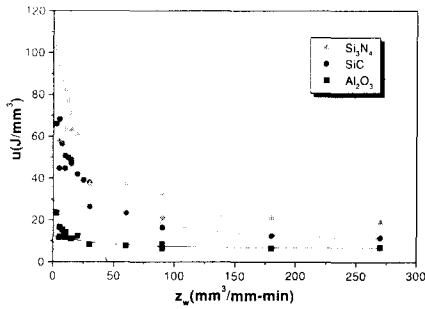


Fig. 3 Material removal rate versus specific grinding energy for three kinds of ceramics

3.2 재료제거율과 표면조도와의 관계

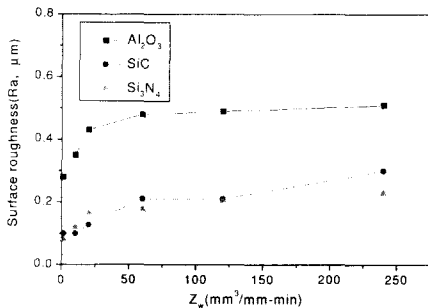


Fig. 4 Surface roughness versus material removal rate for three kinds of ceramics ($a_p=20 \mu m$)

다음은 재료제거율이 공작물 표면조도에 미치는 영향을 살펴보았다. Fig. 4는 Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 세라믹스를 연삭했을 때 재료제거율 변화에 따른 공작물 표면조도(Ra)값을 나타낸다. Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 세 경우 모두 재료제거율이 증가할수록 공작물 표면조도 값도 증가하는 것을 볼 수 있다.

Fig. 5는 Fig. 4의 연삭조건에서의 Si_3N_4 공작물 표면 프로파일을 나타낸다. 재료제거율이 감소할수록 공작물 표면 프로파일이 매끄러워지는 것을 볼 수 있다. Fig. 4와 Fig. 5의 결과를 통하여 공작물 표면조도를 향상시키기 위해서는 재료제거율을 낮추어야 한다는 것을 알 수 있다. 그러나 재료제거율을 낮추면 표면조도는 향상되지만 생산성이 떨어지는 문제점이 있다. 따라서 제품의 마무리단계에서는 재료제거율을 낮추어 가공하는 것이 생산성과 제품의 품질면에서 유리하다.

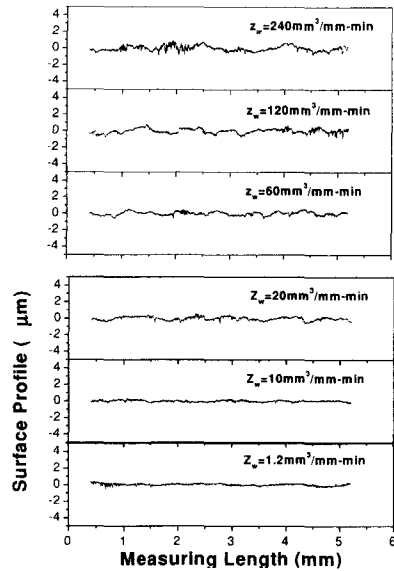


Fig. 5 Surface profiles at various material removal rate for Si_3N_4

3.3 이송속도와 절입깊이가 표면조도와 비연삭에너지에 미치는 영향

재료제거율은 식(1)에서와 같이 연삭폭이 일정하다면 절입깊이와 이송속도와 관련이 있다. 따라서 동일한 생산성에 대하여 절입깊이와 이송속도가 표면조도에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 SiC

들 같은 재료제거율로 이송속도와 절입깊이를 바꾸어가며 연삭실험을 수행하였다.

Fig. 6은 같은 재료제거율에 대하여 이송속도와 절입깊이 변화에 따른 표면조도 값과 그때의 비연삭에너지 값을 나타낸다. 이송속도가 낮고 절입깊이가 높은 연삭조건에서 표면조도 값이 낮고 비연삭에너지가 높은 것을 알 수 있다. 이를 통하여 동일한 생산성에 대하여 공작물 표면조도 향상을 위해서는 절입깊이를 높이고 이송속도를 낮추는 것이 유리하다는 것을 알 수 있다. 바꾸어 말하면 요구되는 표면조도 내에서 생산성을 높이기 위해서는 이송속도보다는 절입깊이를 증가시키는 것이 유리하다는 것을 의미한다.

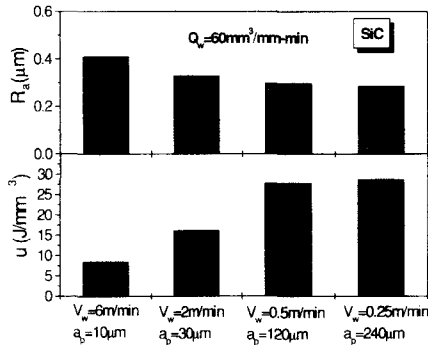
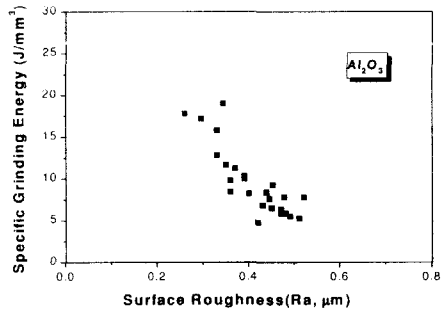


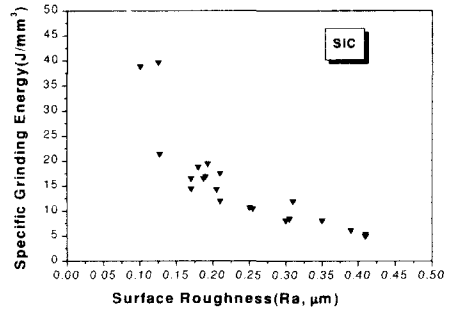
Fig. 6 Surface roughness and specific grinding energy at the same removal rate for SiC

3. 4 표면조도와 비연삭에너지의 관계

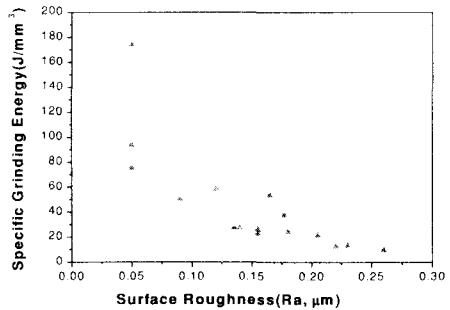
앞의 결과들을 통하여 재료제거율이 증가할수록 표면조도 값은 증가하고 비연삭에너지값은 감소한다는 것을 알 수 있었다. 다음은 공작물 표면조도 값과 비연삭에너지의 관계를 살펴보았다. Fig. 7은 Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 세라믹스를 이송속도 0.06m/min에서 12m/min까지 그리고 절입깊이를 5 μ m에서 30 μ m까지 변화시켜가며 연삭했을 때의 공작물 표면조도와 비연삭에너지의 관계를 나타낸다. 세 종류의 세라믹스 모두 공작물 표면조도가 감소할수록 비연삭에너지는 증가하였다. 이를 통하여 공작물 표면조도 값을 낮추기 위해서는 비연삭에너지가 높은 가공조건으로 연삭하는 것이 유리하다는 것을 알 수 있었다.



(1) Al_2O_3



(2) SiC



(3) Si_3N_4

Fig. 7 Surface roughness versus Specific grinding energy for Al_2O_3 , SiC, and Si_3N_4

4. 고찰 및 토론

Fig. 3에서와 같이 세라믹스는 높은 재료제거율에서는 취성과파괴에 의해 재료가 제거되게 되고 비연삭에너지는 일정하게 된다. 따라서 최소 비연삭에너지와 재료를 파괴시키는데 필요한 에너지는 일정한 관계가 있을 것으로 생각할 수 있다. 따라

석 각 세라믹스에 대한 최저 비연삭에너지와 비파괴에너지와의 관계를 살펴보았다. 비파괴에너지는 세라믹 재료시험에 널리 사용되는 굽힘에 의한 재료파괴에 필요한 단위 체적당 에너지(Specific Fracture Energy)로 다음과 같이 정의하였다.

$$SFE = \frac{\sigma_b^2}{2E} \quad (3)$$

여기서 SFE는 단위체적당 파괴에너지, σ_b 는 굽힘강도, E는 영률계수를 나타낸다.

Fig. 8은 Al_2O_3 , SiC, Si_3N_4 세라믹스의 비연삭에너지와 비파괴에너지값을 나타낸다. 그림에서 볼 수 있는 것과 같이 비연삭에너지와 비파괴에너지가 거의 선형관계에 있음을 알 수 있다. 위 식(3)에서의 굽힘강도와 영률계수는 Table 1에 나오는 상온에서의 값들을 사용하였다. 하지만 실제로는 일정한 비연삭에너지를 가질 때의 연삭조건에서의 온도를 측정하여 그 온도에서의 굽힘강도값과 영률계수를 대입하여야 될 것으로 생각된다. 강과 같이 소성변형에 의해 재료가 제거되는 재료의 최저 비연삭에너지는 Melting Energy에 비례하지만⁽²⁾ 세라믹과 같이 취성이 큰 재료의 최저 비연삭에너지는 비파괴에너지와 선형관계에 있음을 알 수 있었다. 또한 비연삭에너지가 비파괴에너지에 비해 매우 큰 에너지가 필요하다는 것을 알 수 있었다.

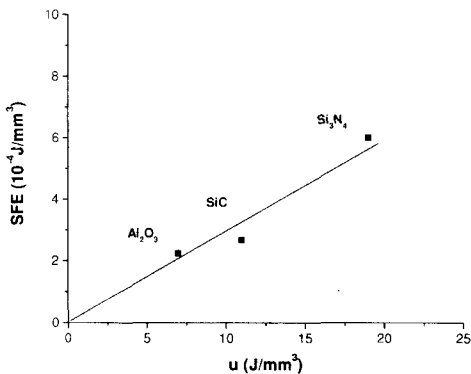


Fig. 8 Specific grinding energy versus Specific fracture energy for ceramics

5. 결 론

본 연구에서는 세라믹스의 연삭실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 재료제거율이 높을수록 비연삭에너지는 감소하였다. 즉, 세라믹의 고능률 연삭을 위해서는 비연삭에너지가 낮은 연삭조건을 선택한다.

2) 비연삭에너지가 높을수록 공작물 표면조도 값은 감소하였다. 따라서 세라믹의 고품위 연삭을 위해서는 비연삭에너지가 높은 연삭조건을 선정한다.

3) 동일한 표면조도를 얻으며 고능률 연삭을 하기 위해서는 이송속도보다는 절입깊이를 증가시키는 것이 유리하다.

4) 취성재료인 세라믹스의 최저 비연삭에너지는 비파괴에너지와 선형관계가 있었다.

후기

본 연구는 1997년도 금오공과대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구된 논문입니다. 관계자님께 감사드립니다.

참고논문

1. Y. Ichida, K. Kishi, Y. Hasuda and J. Akbari, "Study on Mirror Finish Grinding of Fine Ceramics(1st Report)," JSPE, Vol. 57, pp.1406-1412, August 1991.
2. S. Malkin, J.E.Ritter, "Grinding Mechanisms and Strength Degradation for Ceramics," Journal of Engineering for Industry, Vol. 111, pp167-174, May 1989.