

# 질코니아 세라믹 연삭시 표면조도와 굽힘강도에 관한 연구

하상백\*, 최 환\*\*, 이종찬\*\*

## A Study on the Surface Roughness & Bending Strength for Zirconia Ceramic Grinding

Sangbaek Ha\* , Whan Choi\*\*, Jongchan Lee\*\*

### Abstract

This paper is concerned with the surface roughness and the bending strength of ground workpiece in  $ZrO_2$  ceramic grinding. Surface roughness was measured with surface tracer and bending strength value was obtained by three-point bending test on machining center using tool dynamometer. Grinding experiments were carried out to examine the effects of grinding conditions including diamond mesh size, table speed, and depth of cut on ground surface roughness. The correlation between surface roughness and bending strength was also inspected. The experimental results indicate that the rougher surface was produced as the mesh size of diamond wheel is reduced and table speed is increased, but surface roughness is not affected by depth of cut. The values of bending strength decrease as the values of  $R_a$ ,  $R_{max}$  and  $Ku$  increase.

**Key Words** : Surface roughness(표면거칠기),  $R_a$ (중심선 표면거칠기),  $R_{max}$ (최대표면거칠기), Kurtosis(컬토시스), Bending Strength(굽힘강도)

### 1. 서론

질코니아( $ZrO_2$ )는 산화물계 세라믹으로서 기계적 강도와 파괴인성이 높고 열팽창율이 금속과 근사하여 금속과의 접착이 용이한 장점을 가지고 있다. 뿐만 아니라 내마모성, 내화학적, 내식성이 우수하여 기계부품, 광통신 부품등 산업체의 여러 분야에서 응용되고 있다. 질코니아의 가공에는 다이아몬드 휠을 사용한 연삭가공을 행하게 되는데 질코

아는 경도도 높고 파괴인성도 크기 때문에 구조용 세라믹 중에서 난삭재에 속한다. 질코니아는 알루미늄이나 탄화규소와 같은 다른 구조용 세라믹보다는 인성이 크지만 강에 비해서는 취성이 크다. 따라서 질코니아는 다른 세라믹재료와 마찬가지로 연삭할 경우에 주로 취성모드에 의하여 재료가 제거되게 되고 표면에 미세크랙 등이 발생하게 된다. 연삭시 발생하는 표면손상 및 크랙 등은 표면조도와 제품의 강도에 영향을 미치게 되어 제품의 품질을 떨어뜨리고 제품의 기능을 발휘하지 못하게

\* 금오공과대학교 기계설계공학과 대학원

\*\* 금오공과대학교 기계공학부

한다. 그러므로 우수한 품질의 세라믹제품이 되기 위해서는 연삭한 제품의 표면조도가 좋아야되고 기계적인 강도를 유지하는 것이 중요하다. 또한 연삭된 표면은 노치의 연속으로 볼 수 있고 특히 취성이 큰 세라믹 재료에서는 표면조도와 굽힘강도는 밀접한 관계가 있을 수 있으므로 이에 대한 연구가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 연삭조건 변화에 따른 표면조도 값을 살펴보고 표면조도와 굽힘강도의 관계에 대해서도 살펴보았다.

## 2. 실험조건 및 방법

본 실험에 사용된 연삭기는 수평형 평면연삭기 (YGS-50A)이고 연삭휠은 입도가 100, 200, 400인 레진 본드다이아몬드휠을 사용하였다. 가공조건으로는 휠주속은 32.4 m/s로 일정하게 유지하였고, 테이블 이동속도는 3-12 m/min, 절입깊이는 5-20 μm까지 변화시켜가며 실험하였다. 다이아몬드휠의 드레싱은 WA 스틱을 사용하였는데 휠의 입도와 같은 입도의 WA스틱을 사용하였다. Table 1은 본 실험에 사용된 실험조건을 나타낸다.

Table 1. Experimental conditions

Grinding machine	Horizontal type surface grinding machine Model: YGS-50A(1.5 kW, 3440rpm)	
Grinding wheel	SD100N100B, SD200N100B, SDC400N100B	
Workpiece	ZrO <sub>2</sub> (40l × 8w × 1.3t)	
Grinding conditions	Wheel speed(V <sub>s</sub> ): 34.4 m/s	
	Table speed(V <sub>w</sub> ): 3m/min ~ 12m/min	
	Depth of cut(a <sub>p</sub> ): 5 μm ~ 20 μm	
	Grinding type: wet	
Grinding fluid	Syntilo 25(50:1)	
Dressing conditions	Dressing stick	WA100, 200, 400
	Grinding type	traverse & wet

실험순서는 먼저 길이 40mm, 폭 8mm, 두께 1.3mm로 제작된 ZrO<sub>2</sub>시편을 Fig. 1에서와 같이 Hot Plate로 가열한 Steel plate에 세라믹본드를 사

용하여 부착한 후 마크네틱척에 부착하여 가공조건변화에 따른 실험을 수행하였다. 그리고 연삭된 시편의 표면조도 R<sub>a</sub>, R<sub>max</sub>, Ku 값을 측정된 후에 plate에서 시편을 떼어내어 굽힘강도값을 측정하였다. 표면조도값은 촉침식 표면조도계(Mitutoyo, SV-600)를 사용하여 측정하였고, 굽힘실험시 저항력은 공구동력계(Kistler, 9257B)를 사용하여 측정하였다.

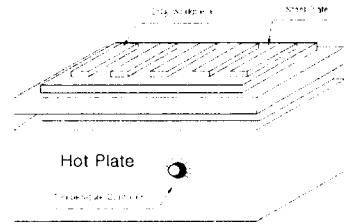


Fig. 1 Experimental Setup for Grinding Test

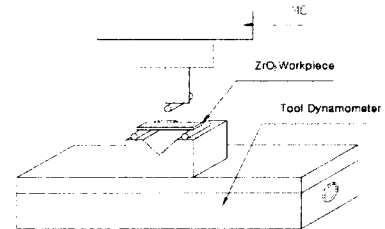


Fig. 2 Experimental Setup for Bending Test

굽힘실험시 시험편은 연삭된 표면을 아래쪽을 향하도록 하여 Fig. 2에서 보이는 바와 같이 Machining Center에서 3점 굽힘실험을 하였으며 압입속도는 8mm/min로 하였다. 굽힘강도값은 식 (1)을 사용하여 계산하였다[1].

$$\sigma_b = \frac{3FL}{2wt^2} \quad (1)$$

여기서  $F$ 는 시험편이 파괴될 때의 최대하중,  $w$ 는 시험편폭,  $t$ 는 시험편두께,  $L$ 은 하중지지점 사이의 거리이며, Fig. 3에 3점 굽힘 실험에 대하여 나타내었다.

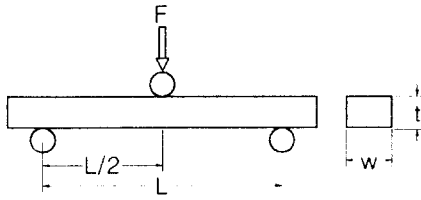


Fig. 3 Three points bending test

본 연구에서는 표면조도를 나타내는 여러 패러미터 중에서  $R_a$ 와  $R_{max}$ , 그리고  $Ku$ 를 측정하여 굽힘강도와 관계를 살펴보고자 하였다.  $R_a$ 는 centerline average roughness이고  $R_{max}$ 는 peak-to-valley를 나타내며  $Ku$ 는 Kurtosis값으로 표면프로파일의 형상과 관련 있는 패러미터이다.  $R_a$ ,  $R_{max}$ ,  $Ku$  값은 표면거칠기 프로그램(SURFPAK)에 의하여 계산된다. Kurtosis는 평균선 주위에 집중된 정도를 나타내는 값으로 다음식으로 계산된다 [2].

$$Ku = \frac{1}{R_q^4} \times \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i^4 \quad (2)$$

여기서  $R_q$ 는 프로파일의 Root-mean-square deviation 으로 식 (3)와 같고  $Y_i$ 는 프로파일의 deviation이다.

$$R_q = \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i^2 \right)^{1/2} \quad (3)$$

Fig. 4는 Kurtosis값을 설명하기 위한 2종류의 프로파일을 보여준다. (a)프로파일의 경우가 (b) 프로파일보다 평균선 주위에 집중된 정도가 높고 Kurtosis값이 크게 나타났다. Fig. 5는 3종류의 표면프로파일에 대한 Kurtosis값을 나타낸다. Fig. 5(a)의 삼각형 형상의 프로파일이 가장  $Ku$ 값을 가지는 것을 볼 수 있다<sup>1)</sup>. 즉, 파일프로파일의 형상이 날카로울수록 Kurtosis 값이 커지게 된다. 따라서 연삭가공된 표면의  $R_a$ ,  $R_{max}$ ,  $Ku$  값이 커질수록 프로파일이 거칠고 날카롭게 되고 따라서 파피의 진원점이 될 확률이 높다고 볼 수 있

다.

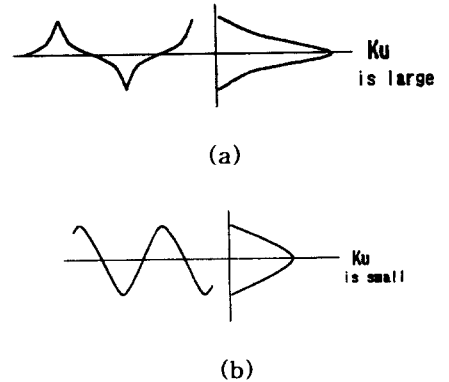


Fig. 4 The kurtosis for profiles

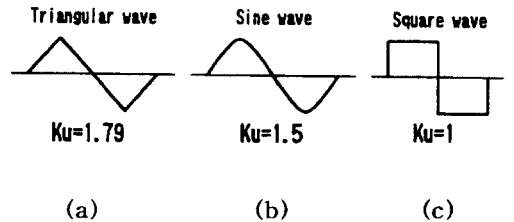


Fig. 5 The examples of kurtosis for three profiles

### 3. 실험결과

#### 3.1 다이아몬드 입도변화에 따른 공작물 표면조도

먼저 다이아몬드 입도변화에 따른 공작물의 표면조도를 살펴보기 위하여 다이아몬드 입도를 100, 200, 400으로 변화시켜가며 연삭했을 때의 표면조도  $R_a$ ,  $R_{max}$ ,  $Ku$ 값을 측정하였다. Fig. 6은 이송속도 6m/min, 절입깊이 10  $\mu$ m로 연삭했을 때의 다이아몬드휠의 입도변화에 따른 공작물 표면조도  $R_a$ 를 나타내고 Fig. 7과 Fig. 8은 같은 조건에서의  $R_{max}$ 와  $Ku$ 값을 나타내었다. Fig. 6, 7, 8 모두 다이아몬드휠의 입도가 커질수록 표면조도  $R_a$ ,  $R_{max}$ ,  $Ku$ 값이 낮게 나타났다.

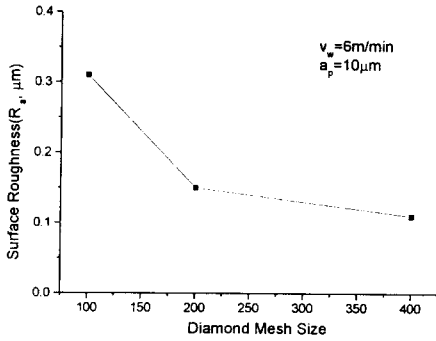


Fig. 6  $R_a$  of ground surface versus mesh size of diamond wheel ( $v_w=6\text{m/min}$ ,  $a_p=10\mu\text{m}$ )

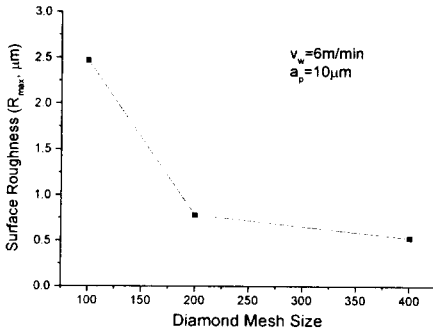


Fig. 7  $R_{max}$  of ground surface versus mesh size of diamond wheel ( $v_w=6\text{m/min}$ ,  $a_p=10\mu\text{m}$ )

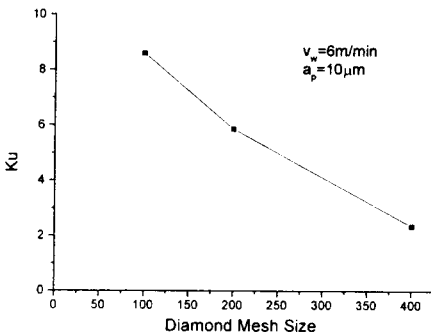


Fig. 8 Ku of ground surface versus mesh size of diamond wheel ( $v_w=6\text{m/min}$ ,  $a_p=10\mu\text{m}$ )

### 3.2 이송속도변화 따른 공작물 표면조도

다음은 이송속도변화에 따른 표면조도값을 살펴 보기 위하여 입도 200인 다이아몬드휠을 사용하여 절입깊이는  $10\mu\text{m}$ 로 일정하게 유지하고 이송속도를 3-12 m/min까지 변화시켜가며 실험하였다.

Fig. 9는 테이블이송속도 변화에 따른 공작물 표면조도  $R_a$ 값을 나타내고, Fig. 10과 11은 각각 이송속도 변화에 따른  $R_{max}$ 값과 Ku값을 나타낸다.

Fig. 9과 10에서와 같이 이송속도가 빨라질수록 공작물 표면조도  $R_a$ 값과  $R_{max}$ 값은 증가하는 값을 나타냈다. 그러나 Ku값은 이송속도가 증가함에 따라 일정한 경향을 나타내지 않았다.

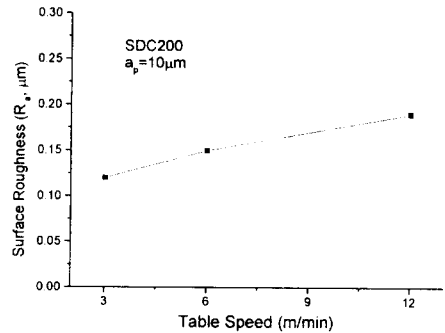


Fig. 9  $R_a$  of ground surface versus table speed (SDC200,  $a_p=10\mu\text{m}$ )

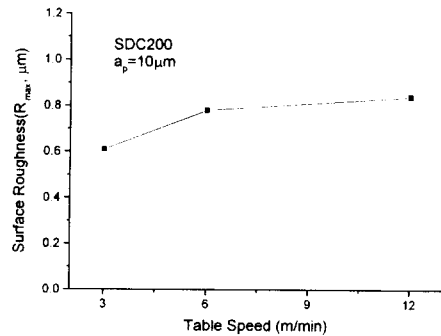


Fig. 10  $R_{max}$  of ground surface versus table speed (SDC200,  $a_p=10\mu\text{m}$ )

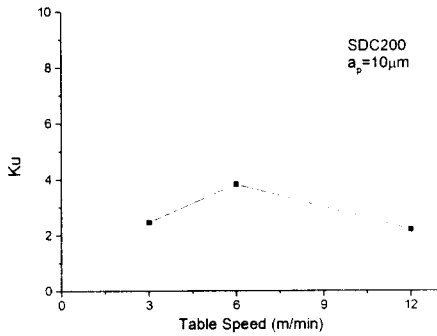


Fig. 11 Ku of ground surface versus table speed (SDC200,  $a_p=10 \mu m$ )

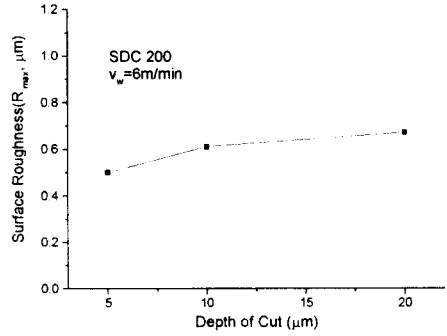


Fig. 13  $R_{max}$  of ground surface versus depth of cut (SDC200,  $v_w=6m/min$ )

### 3.3 절입깊이 변화 따른 공작물 표면조도

다음은 절입깊이 변화에 따른 표면조도변화를 살펴보기 위하여 입도 200인 다이아몬드 휠을 사용하여 6m/min의 일정한 이송속도에서 절입깊이를 5-20  $\mu m$ 까지 변화시켜가며 실험하였다. Fig. 12는 절입깊이 변화에 따른 표면조도  $R_a$ 값의 변화를 나타내고, Fig. 13은 절입깊이 변화에 따른  $R_{max}$ 값의 변화를 나타내며, Fig. 14는 절입깊이 변화에 따른 Ku값을 나타낸다. Fig. 12와 13에서와 같이 절입깊이가 깊어질수록 표면조도  $R_a$ 값과  $R_{max}$ 값은 조금 증가하지만 Ku값은 거의 일정한 값이 나타나는 것을 알 수 있다.

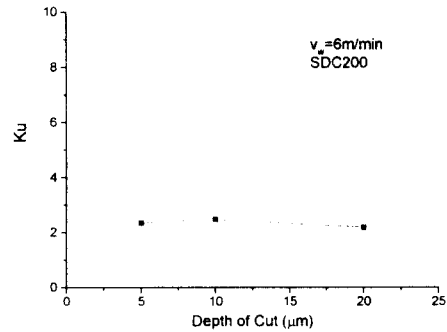


Fig. 14 Ku of ground surface versus depth of cut (SDC200,  $v_w=6m/min$ )

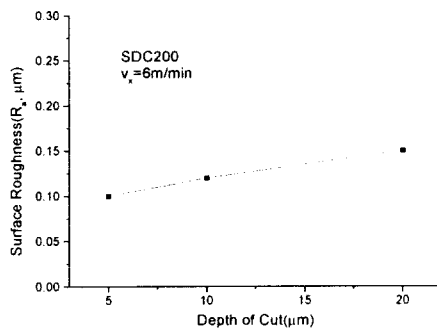


Fig. 12  $R_a$  of ground surface versus depth of cut (SDC200,  $v_w=6m/min$ )

### 3.4 표면조도와 굽힘강도와의 관계

이상에서는 연삭조건과 표면조도와의 관계에 대하여 살펴보았다. 여기서는 표면조도와 굽힘강도와의 관계에 대하여 살펴보려고 한다. Fig. 15는 본 연구에서 사용된 연삭조건에 대한 표면조도  $R_a$ 와 굽힘강도값을 한 그래프에 나타낸 것이고 Fig. 16은  $R_{max}$ 와 굽힘강도값을 한 그래프에 나타낸 것이며, Fig. 17은 Ku값과 굽힘강도값을 한 그래프에 나타낸 것이다. Fig. 15, 16, 17를 통하여  $R_a$ ,  $R_{max}$ , Ku값이 증가할수록 시편의 굽힘강도 값은 감소하는 경향을 나타내는 것을 알 수 있다. Fig. 15, 16, 17 모두 데이터의 산포가 비교적 크게 나타나는 것을 볼 수 있는데 이와 같은 원인은 절코니아가 소결에 의해 제조되기 때문에 재료내부가 불균일하고 실험오차도 포함되어 있기 때문인 것

으로 생각된다.

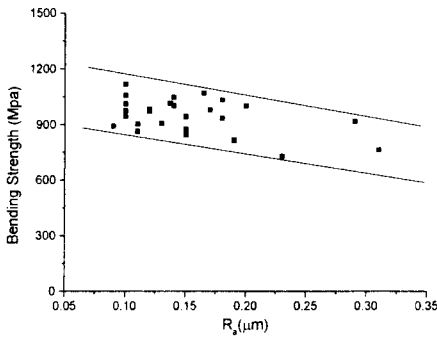


Fig. 12 The Relations between  $R_a$  and Bending Strength of Workpiece

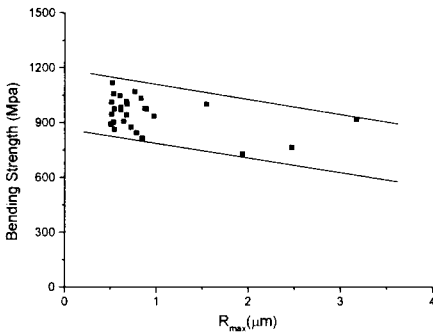


Fig. 13 The Relations between  $R_{max}$  and Bending Strength of Workpiece

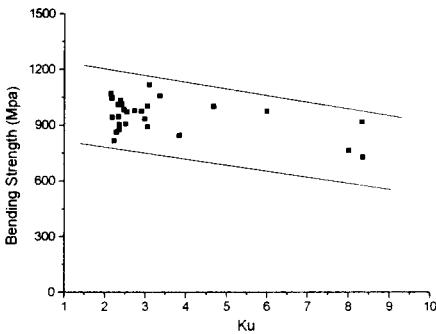


Fig. 14 The Relations between  $K_u$  and Bending Strength of Workpiece

## 4. 결론

본 연구에서는 다이아몬드휠을 사용하여  $ZrO_2$  세라믹 연삭했을 때 다이아몬드 휠의 입도변화와 가공조건변화에 따른 공작물 연삭표면과 굽힘강도를 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 연삭조건과 표면조도와 관계는 다음과 같다.

- ① 다이아몬드 입도가 증가할수록(입자가 작아질수록)  $R_a$ ,  $R_{max}$ ,  $K_u$  값 모두 감소하였다.
- ② 이송속도가 증가할수록  $R_a$ 와  $R_{max}$ 값은 증가하였고  $K_u$ 값은 변화가 심하였다.
- ③ 절입깊이가 증가할수록  $R_a$ 와  $R_{max}$ 은 약간 증가하였지만,  $K_u$ 값은 거의 변화가 없었다.

2) 표면조도와 굽힘강도 값은 상관관계를 조사한 결과  $R_a$ ,  $R_{max}$ ,  $K_u$ 값이 커질수록 굽힘강도 값은 감소하였다.

## 후 기

본 연구는 학술진흥재단 (과제번호 1998 - 001 - E00260) 지원으로 수행되었습니다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

## 참고문헌

- 1) 세라믹스의 기계적 성질, 일본요업협회, pp. 185
- 2) SURFPAK user's Manual, Manual No. 4796-3GB, Series No.178