한국공작기계학회 '99년도 추계학술대회 논문집 pp.519~524

알루미나 연삭표면 특성에 관한 연구

하상백*, 전영길*, 최 환**, 이종찬**

A Study on the Surface Characteristics in the Alumina Grinding

Sangbaek Ha, Youngkil Jeon, Whan Choi, Jongchan Lee

Abstract

To manufacture alumina products, sintering and grinding process are needed. In Al_2O_3 grinding, macro/micro surface fracture and cracks are easily occurred on the ground surface because of its high brittleness. In view point of fatigue fracture, surface profile produced by grinding is considered as notches. Therefore, it was reasonable that magnitudes and shapes of surface profiles effects on fatigue strength and life. Particularly, surface finish of Al_2O_3 which have high hardness and brittleness have an effect on fatigue strength. In this paper, some experiments are carried out to examine influence of grinding conditions to magnitude and shape of surface profile as well as the relationships of Ra, Rmax, Rmax/Ra, and Ku. Through the experimental results, It is found that Ra and Rmax was affected by grinding conditions, but Rmax/Ra and Ku was not. There are linear relations between Ra and Rmax, and between Rmax/Ra and Ku.

Keyword: Sintering(소결), Surface roughness(표면거칠기), Rmax(최대표면거칠기), Ra(중심선표면거칠기), Kurtosis(컬토시스), Rmax/Ra(표면조도비)

1. 서 론

알루미나(Al_2O_3)는 파인세라믹의 대표적인 재료로서 기계적, 열적, 화학적, 전자기적, 광학적 성질이 우수하여 내마모성부품, 분사기 노즐, 방탄재, 의료용품, 연마재, 내화물 등의 다양한 부품에 사용되고 있다. 알루미나 제품은 제조과정상 소결과정을 거치기 때문에 소결상 발생하는 열적수축 및 변형으로 인하여 원하는 치수와 형상으로 가공하기 위해서는 다이아몬드휠을 사용한 연삭가공을 행하게 된다. 이때 알루미나는 취성이 크기 때문에 표면에 미세크랙을 발생시키게 된다. 연삭시 발생하는 Micro fracture와 Crack은 제품의 강도 및 공작물 표면조도에도 영향을 미치게된다. 연삭으로 인한 표면요철은 피로파괴측면에서 보면 노치로 작용하게된다. 노치의 크기 및 형상이 피로수명에 영향을 미치게 되므로 표면거칠기값의 크기 및 표면프로파일의 형상을 파악하는 것이 중요하다고 생각된다. 즉, 표면거칠기값이 크고 프로파일의 형상이 날카로울수록 피로한도 값은 저하하게 되고, 특히 경도가 높고 취성이 큰 세라믹 재료에서는 노치에 대한 영향이 크게 된다.

따라서 본 연구에서는 다이아몬드의 입도, 이송속도, 절입깊이 변화에 따른 표면거칠기 Ra와 Rmax값과, 표면형상과 관련있는 표면조도비(Rmax/Ra)와 Ku값의 변화를 살펴보았다. 또한, 이

* 금오공과대학교 기계설계공학과 대학원
** 금오공과대학교 기계공학부

들 표면패러미터들간의 상관관계도 살펴보았다.

2. 실험조건 및 방법

본 연구에 사용된 공작물은 순도가 99.5%인 Al_2O_3을 사용하였고 물리적 성질을 표 1에 나타내었다. 그리고 본 실험에 사용된 연삭기는 수평형 평면연삭기이고 연삭휠은 입도가 100, 230, 400인 레진본드다이아몬드휠을 사용하였다. 가공조건으로는 휠주속은 32.4m/s로 일정하게 유지하였고, 테이블이송속도는 0.5-12m/min, 절입깊이는 5-30μm까지 변화시켜가며 실험하였다. 다이아몬드휠의 드레싱은 WA 스틱을 사용하였는데 휠의 입도와 같은 입도의 WA스틱을 사용하였다. Table 2는 본 실험에 사용된 실험조건을 나타낸다.

Table 1. Mechanical properties of Al_2O_3

Density	3.9 g/cm^3
Elastic Modulus	372 Gpa
Poisson's ratio	0.22
Hardness(Noop)	1500 kg/mm^2
Fracture toughness	4-5 Mpa · m$^{1/2}$

Table 2. Experimental conditions

Grinding machine	Horizontal type surface grinding machine Model: YGS-50A(1.5 kW, 3440rpm)	
Grinding wheel	SD100N100, SD230N100, SDC400N100	
Workpiece	Al_2O_3(99.5%)	
Grinding conditions	Wheel speed(V_s): 34.4 m/s	
	Table speed(V_w) : 0.5m/min~12m/min	
	Depth of cut(a_p): 5μm~ 30μm	
	Grinding type: plunge & wet	
Grinding fluid	Syntilo 25(50:1)	
Dressing conditions	Dressing stick	WA100, 220, 400
	Grinding type	traverse & wet

공작물의 표면조도(Ra, Rmax, Ku)는 연삭방향과 연삭방향의 직각방향으로 측정하였고 촉침식 표면조도계(Mitutoyo, SV-600)를 사용하여 측정하였다. 여기서 Ra (centerline average roughness), Rmax(peak-to-valley), 그리고 Ku(Kurtosis)값은 표면거칠기 프로그램(SURFPAK)에 의하여 계산된다. Kurtosis는 평균선 주위의 집중된 정도를 나타내는 값으로 다음식으로 계산된다.

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

여기서 R_q는 프로파일의 Root-mean-square deviation 으로 식 (2)와 같고 Y_i는 프로파일의 deviation이다.

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

Fig. 1는 Kurtosis값을 설명하기 위한 2종류의 프로파일을 보여준다. (a)프로파일의 경우가 (b)프로파일보다 평균선 주위의 집중된 정도가 높고 Kurtosis값이 크게 나타났다. Fig. 2는 3종류의 표면프로파일에 대한 Kurtosis값을 나타낸다. Fig. 2(a)의 삼각형 형상의 프로파일이 가장 큰 Ku값을 가지는 것을 볼 수 있다[1]. 그리고 표면조도비(Rmax/Ra)도 Fig. 2(a)의 경우가 가장 크게 나타난다. 즉, 파일프로파일의 형상이 날카로울수록 Kurtosis 값과 표면조도비가 커지게 된다. 따라서 연삭가공된 표면의 Kurtosis값과 표면조도비가 커질수록 크랙의 진원점이 될 확률이 높다고 볼 수 있다.

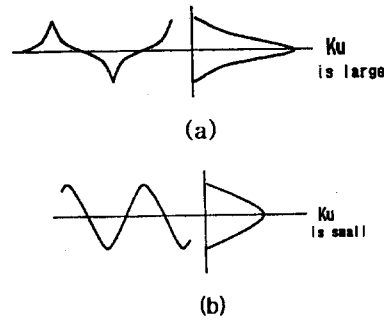


Fig. 1 The kurtosis for profiles

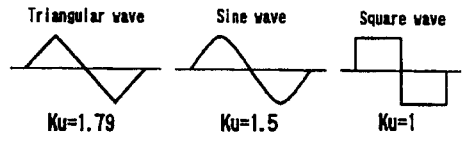


Fig. 2 The examples of kurtosis for three profiles

3. 실 험 결 과

3.1 입도변화에 따른 표면조도

Fig. 3은 이송속도 6m/min, 절입깊이 20μm로 연삭했을 때의 다이아몬드 입도 변화에 따른 연삭방향과 직각방향의 공작물표면조도 Ra값을 나타내고, Fig. 4는 Rmax값을 나타낸다. 다이아몬드휠의 입도가 클수록 연삭방향과 직각방향 공히 Ra값과 Rmax이 감소하였고 연삭방향보다 직각방향의 Ra값과 Rmax값이 크게 나타났다.

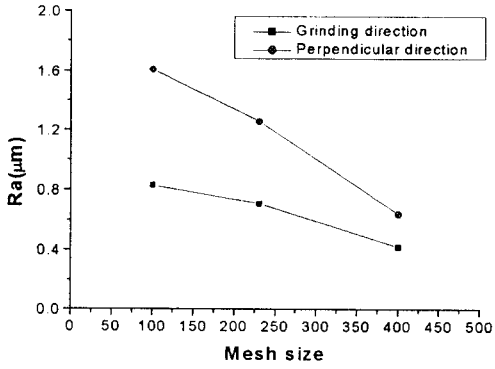


Fig. 3 Mesh size versus Ra of grinding dir. & perpendicular dir.

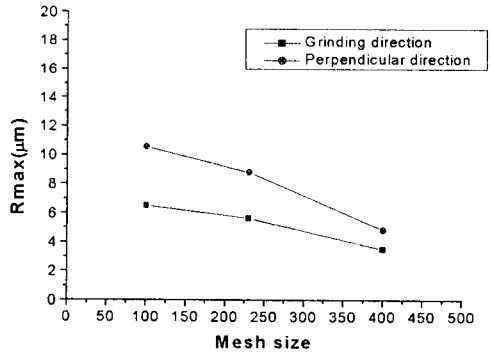


Fig. 4 Mesh size versus Rmax of grinding dir. & perpendicular dir.

Fig. 5는 입도변화에 따른 연삭방향과 직각방향의 표면조도비(Rmax/Ra)를 나타낸다. 그림에서 보는바와 같이 입도가 증가하여도 표면조도비의 값은 거의 변화 없이 일정한 값을 나타내는 것을 볼 수 있고 연삭방향에 따라서만 차이가 났다. 즉 연삭방향이 직각방향보다 표면조도비가 크게 나타났다. 일반적으로 강의 연삭에 있어서 표면조도비가 5정도인데 반해 알루미나의 연삭에 있어서는 7-8정도로 나타났다. Fig. 6은 입도 변화에 따른 연삭방향과 직각방향의 Kurtosis값을 나타낸다. 입도변화에 따라서 Kutrosis값은 거의 변화가 없었고, 연삭방향에 따라서만 영향이 있는 것으로 나타났다. 연삭방향의 Kurtosis값은 4-5정도로 직각방향의 Kurtosis 3-4보다 크게 나타났다. 즉 연삭방향의 프로파일이 직각방향의 프로파일보다 날카롭다는 것을 알 수 있었다.

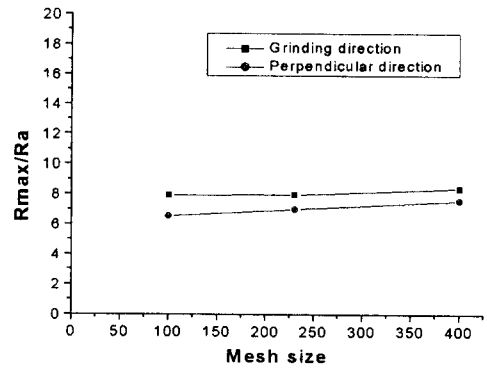


Fig. 5 Mesh size versus Rmax/Ra of grinding dir. & perpendicular dir.

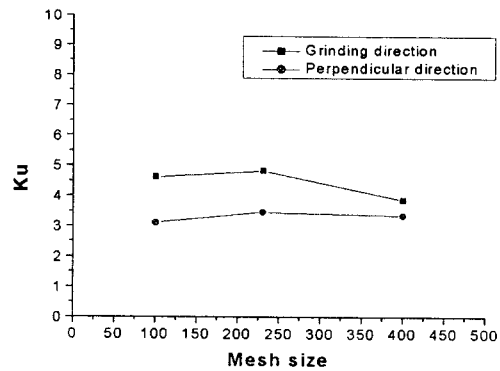


Fig. 6 Mesh size versus Kurtosis of grinding dir. & perpendicular dir.

3.2 가공조건 변화에 따른 표면조도

다음은 가공조건변화에 따른 표면상태를 살펴보기 위하여 입도100휠을 사용하여 이송속도와 절입깊이를 변화

시켜가며 실험하였다.

Fig. 7은 일정한 절입깊이(10μm)로 이송속도를 0.5-12m/min 까지 변화시켜 가며 실험했을 때의 이송속도 변화에 따른 연삭방향의 Ra 값과 Rmax값을 나타내고, Fig. 8은 표면조도비와 Kurtosis값을 나타낸다. 이송속도가 증가함에 따라 Ra와 Rmax값은 증가하는 경향을 보였고, 표면조도비와 Kurtosis 값은 거의 변화가 없었다. 이를 통하여 이송속도는 표면거칠기의 크기에만 영향을 미치고, 표면프로파일의 형상에는 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있었다. 그리고 Fig. 8에서와 같이 이송속도 변화에 따라서 표면조도비와 Kurtosis의 그래프의 형상이 유사하게 나타났다.

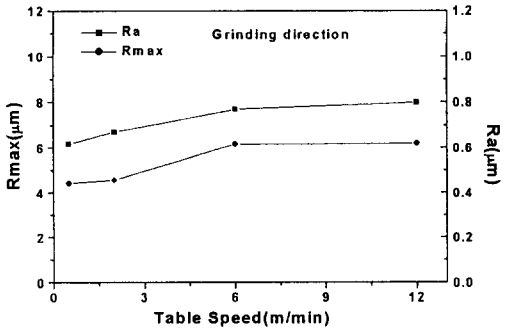


Fig. 7 Table speed versus Rmax and Ra

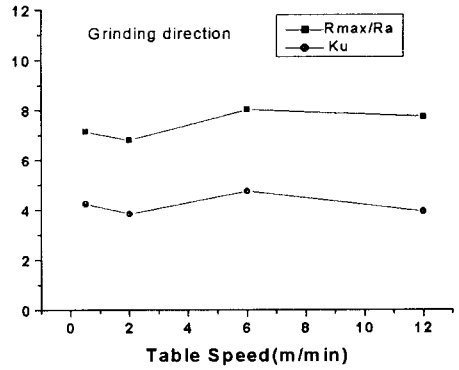


Fig. 8 Table speed versus Rmax/Ra and Ku

Fig. 9는 일정한 이송속도 6m/min에서 절입깊이를 5μm-30μm까지 변화시켜 가며 실험했을 때의 절입깊이 변화에 따른 연삭방향의 Ra 값과 Rmax 값을 나타내고 Fig. 10 표면조도비와 Kurtosis값를 나타낸다. Fig. 9와 10을 통하여 절입깊이가 증가함에따라 Rmax값은 약간 증가하였지만 Ra, 표면조도비, 그리고 Kurtosis값은 큰 변화가 없이 거의 일정한 값을 나타냈다. 이를 통하여 절입깊이는 프로파일의 크기 Rmax값에만 영향을 주고 프로파일의 형상과는 상관이 없다는 것을 알 수 있었다. 그리고 Fig. 10에서와 같이 절입깊이 변화에 따라서도 표면조도비와 Kurtosis의 그래프의 형상이 유사한 것을 통하여 이들 패러미터간의 상관관계가 있다는 것을 예측할 수 있었다.

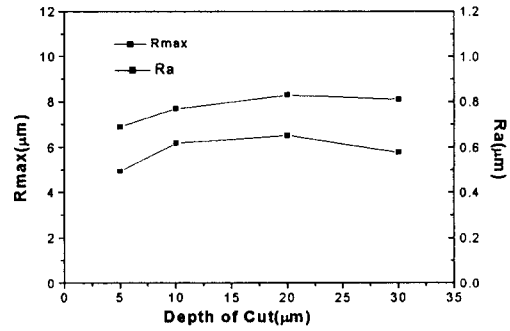


Fig. 9 Depth of cut versus Rmax/Ra and Ku

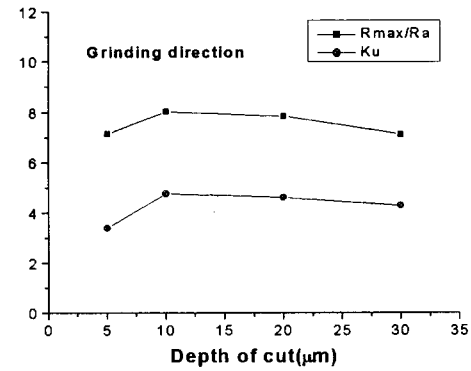


Fig. 10 Depth of cut versus Rmax/Ra and Ku

3.3 표면 패라이터간의 상호관계

다음은 표면패러미터들 간의 상호관계에 대하여 살펴보기 위하여 좀더 넓은 조건의 연삭조건으로 실험을 행하였다. Fig. 11은 이송속도를 0.5-12m/min, 절입깊이를 5-30μm까지 변화시켜가며 연삭했을 때의 연삭방향(Fig. 11a)과 직각방향(Fig. 11b)의 Ra값과 Rmax값의 관계를 나타낸 것이다. 연삭방향의 경우 Fig. 11a에서와 같이 모든 입도에 대하여 Ra가 커질수록 Rmax도 선형

으로 커지는 것을 볼 수 있다. 그리고 직각방향의 경우도 Fig. 11b에서와 같이 Ra가 커질수록 Rmax도 선형으로 커지는 것을 볼 수 있었고 기울기값(표면조도비)은 연삭방향이 직각방향보다 크게 나타났다.

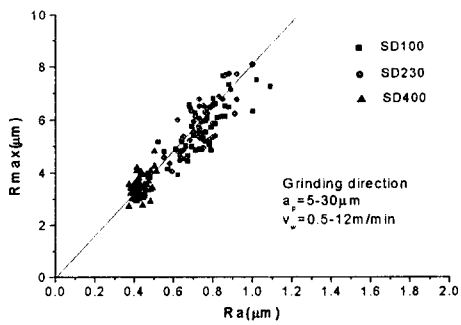
Fig. 12는 Ra값과 표면조도비의 관계를 나타낸 것이다. 연삭방향과 직각방향 모두 Ra값과 표면조도비는 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

Fig. 13은 Rmax와 표면조도비와의 관계를 나타낸다. Rmax와 표면조도비는 입도 400에서만 선형관계를 보였고 나머지는 거의 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 그리고 Fig. 12과 13를 통하여 직각방향이 연삭방향 보다 가공조건에 대한 Ra와 Rmax의 분포범위는 넓게 나타나고, 표면조도비의 분포범위는 좁게 나타난다는 것을 알 수 있었다.

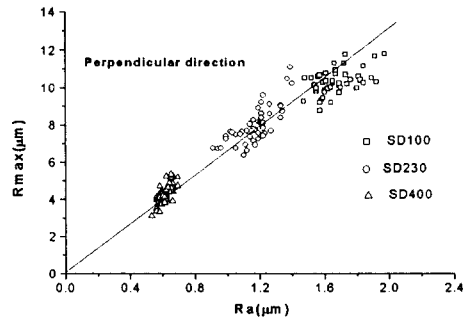
Fig. 14는 Ra값과 Ku값의 관계를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 Ra값과 Ku값은 상관관계가 없는 것으로 나타났다.

Fig. 15는 Rmax와 Ku값의 관계를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 입도가 400에서는 Rmax값과 Ku값이 선형관계가 있었지만, 입도 100과 230에서는 Rmax값과 Ku값은 상관관계가 없는 것으로 나타났다. 또한 Fig. 14과 15에서와 볼 수 있는 것과 같이 입도가 커질수록 Ku의 분포범위가 넓게 나타났고, 연삭방향이 직각방향보다 Ku의 분포범위가 넓게 나타났다.

Fig. 16은 표면조도비와 Ku값의 관계를 나타낸다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 입도 100, 230, 400 모두 표면조도비와 Ku값이 선형관계로 나타났고, 연삭방향이 직각방향보다 세 경우 모두 크게 나타났다. 그리고 입도 100에서의 연삭방향의 기울기는 거의 1에 가까운 것을 볼 수 있었다.



(a) Grinding direction



(b) Perpendicular direction

Fig. 11 The relationships between Ra and Rmax of grinding dir. & perpendicular dir.

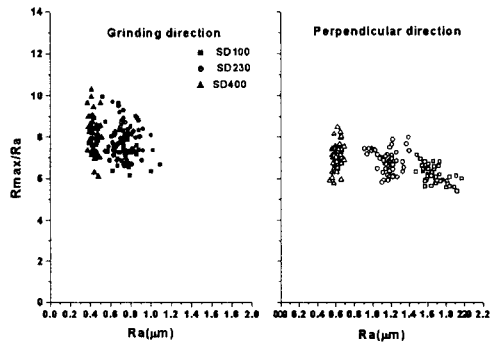


Fig. 12 The relationships between Ra and Rmax/Ra of grinding dir. & perpendicular dir.

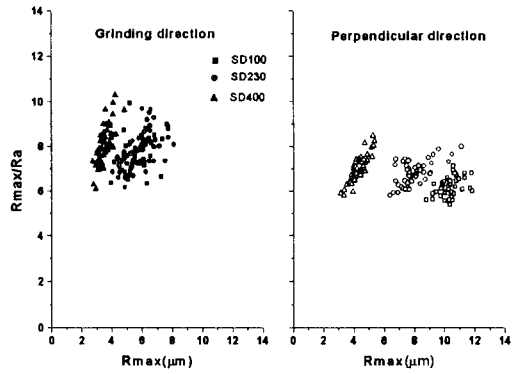


Fig. 13 The relationships between Rmax and Rmax/Ra of grinding dir. & perpendicular dir.

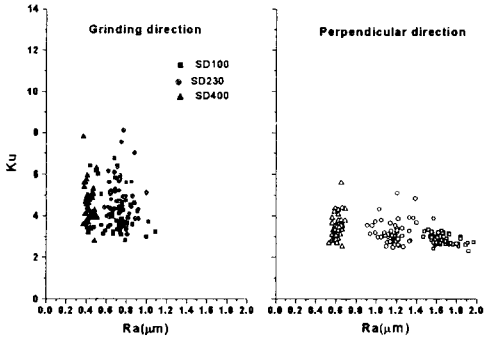


Fig. 14 The relationships between Ra and Ku of grinding dir. & perpendicular dir.

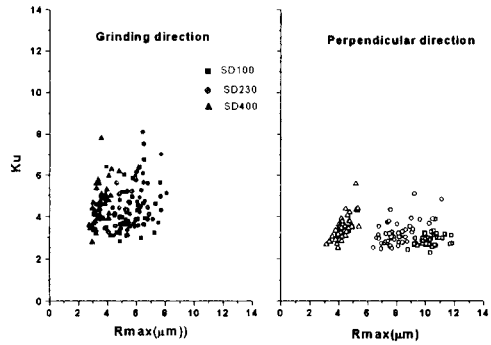
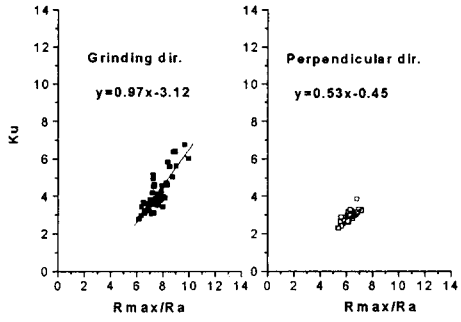
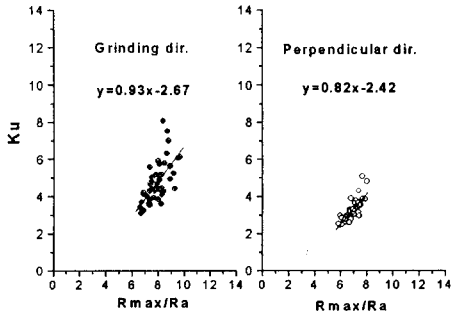


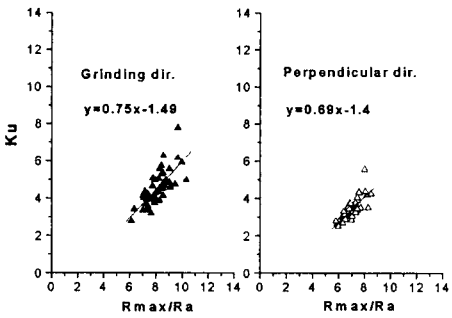
Fig. 15 The relationships between Rmax and Ku of grinding dir. & perpendicular dir.



(1) SD100



(2) SD230



(3) SD400

Fig. 16 The relationships between Rmax/Ra and Ku of grinding dir. & perpendicular dir.

4. 결 론

본 연구에서는 다이아몬드휠을 사용하여 Al_2O_3을 연삭했을 때 다이아몬드 휠의 입도변화에 따른 공작물 연삭표면을 살펴본 결과 다음과 같은 특성을 발견할 수 있었다.

1) 다이아몬드 입도가 증가할수록 Ra와 Rmax 값은 감소하였고, 표면조도비(Rmax/Ra) 와 Kurtosis값은 거의 변화가 없었다.
2) 이송속도가 증가할수록 Ra와 Rmax값은 증가하였고, 표면조도비와 Kurtosis값은 변화가 없었다.
3) 절입깊이가 증가할수록 Rmax값은 증가하였고 Ra, 표면조도비, 그리고 Kurtosis값은 큰 변화가 없었다.
4) 본 실험의 모든 조건에 대하여 Ra값과 Rmax값은 연삭방향이 직각방향보다 작게 나타났으나, 표면조도비와 Kurtosis값은 연삭방향이 직각방향보다 크게 나타났다.
5) Kurtosis값은 모든 입도에 대하여 Ra값과는 상관이 없었고, Rmax/Ra값에 비례하였다.

참 고 문 헌

1) SURFPAK user's Manual, Manual No. 4796-3GB, Series No.178