

세라믹 연삭에서 다이아몬드 슷돌 마멸에 관한 연구
공재항*(중소기업청), 유봉환(승실대), 소의열(충청대),
이근상(세인ENG), 유은이(정우이엔지)

A Study on the Diamond Wheel Wear in Ceramic Grinding

J.H.Gong*, B.H.Ryu, E.Y.So, K.S.Lee, E.Y.Yu

Abstract

In this study, experiments were carried out to investigate the characteristics of grinding and wear process of diamond wheel grinding ceramic materials. Normal component of grinding resistance was decreasing while increase of spindle speed. The resistance of vitrified bond wheel was less than that of resinoid bond wheel because of imbedded large holes on the surface of cutting edge. Surface roughness was decreasing while increase of spindle speed. The surface roughness after using vitrified bond wheel was less than that of resinoid bond wheel because of small elastic deformation. After continuous grinding of ceramics, cutting edge ratio of resinoid bond wheel decreases. For the case of vitrified bond wheel, cutting edge ratio does not change.

Keyword : ceramic(세라믹) vitrified bond(비트 리파이드 본드) resinoid bond(레지노이드 본드)

I. 서론

세라믹 재료는 기존의 금속 재료에 비하여 기능이 다양하고 고온 성질이 우수하다는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점을 이용하여 제품을 만들기 위해서는 원하는 형상의 치수를 정확하게 얻을 수 있어야 한다. 예를 들면, 구조용 세라믹스를 기계제작에 사용하기 위해서는 때로는 금속과의 접합이 필요한데, 이를 위해서는 금속과 대

등한 정도로 정밀하게 가공하지 않으면 안 된다. 지금까지의 성형·소결 방법만으로는 요구하는 정도의 정밀도가 달성되기 어렵게 때문에 소결 후의 가공이 필요하다. 하지만 세라믹 재료는 경도가 높기 때문에 금속 가공에 쓰이는 공구로는 가공이 어렵다. 다이아몬드나 CBN 등의 공구가 가공에 쓰여지고 있는데 일반적으로 다이아몬드 공구가 가장 많이 쓰이고 있다. ⁽¹⁾⁻⁽²⁾

본 연구에서는 평면 연삭기를 이용하여 다이아몬드 휠로 세라믹 재료를 연삭 가공할 때 각각의 연삭 조건에 따른 연삭저항과 가공면의 표면거칠기 변화를 검토·고찰하고 연삭스틀의 마멸을 판단하기 위하여 컴퓨터 비전 시스템⁽³⁾을 구성하여 연삭스틀 표면을 CCD 카메라로 획득하고 영상처리한 후, 그 절삭날 면적의 변화를 측정하여 연삭스틀의 거동을 가시화 함으로써 세라믹 난삭재의 가공 중에 발생할 수 있는 상황들을 예측하여 절삭과정에서 보다 효율적인 가공 조건들을 찾고자 한다.

II. 연삭스틀 입자의 거동

연삭가공에 있어서 그 입자의 거동을 살펴보면, 입자의 마멸(wear), 파괴(breakage), 탈락(dig-out), 생성(newly appeared), 부분파괴(partial breakage)의 과정이 반복되면서 일어나며, 이 과정이 진행되면서 서서히 그 수명이 다하게 된다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 A 작업면에서 B 작업면까지 가공이 진행되면서 (1)번의 마멸은 입자가 서서히 깎여나가는 현상이며, (2)번의 파괴는 입자의 일부분이 떨어져 나가는 현상이고, (3)

번의 탈락은 가공에 참여하지 못하고 본드로부터 떨어져 나가는 현상이며, (4)번의 생성은 본드 아래에 숨어있던 입자가 가공이 진행되면서 서서히 나타나 연삭에 참여하는 것이며, (5)번의 부분과 꺾는 입자의 일부는 떨어져 나가고 일부는 마멸되는 현상이다.⁽⁴⁾

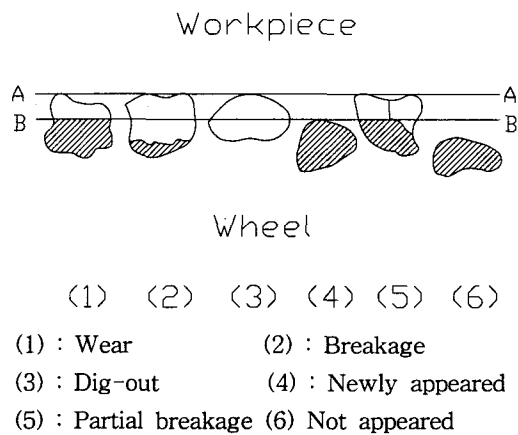


Fig. 1 Changing aspects of cutting edges

III. 실험

1. 시험편

본 실험에서 사용된 시험편 재료는 질화규소(Si_3N_4), 알루미나(Al_2O_3), 지르코니아(ZrO_2)의 3종으로 시험편의 규격은 Fig. 2과 같으며, 스틱(Stick) 형태로 제작하였다.

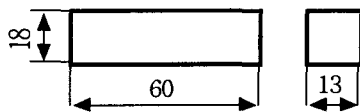


Fig. 2 Dimensions of specimen

2. 다이아몬드 휠(Diamond wheel)

본 실험에 사용된 다이아몬드 휠 규격은 Table 1과 같으며, 지립이라 불리우는 날카로운 다이아몬드 입자들이 결합제로 결합되어 물체를 이루는 부분에 부착되어 있는 것이다. 지립을 결합시키는 결합제에 따라서 휠의 특성이 달라지며, 그 용도도 달라진다.

3. 실험장치 및 방법

본 실험에서 사용하는 실험기기는 Fig. 3과 같으며, 연삭조건은 Table 2와 같다. 실험조건을 다양하게 변화시켜 보기 위하여, 주축의 속도조

Table 1 Kind of diamond wheel

Size (OD×ID×W×t)	Bond	Mesh	Concentration
(180×31.75×13×3)	Resinoid Vitrified	# 100	100
		# 200	
		# 400	

정을 위하여 무단변속모터(Inverter)를 장착하였으며, 절입량이 $1\mu\text{m}$ 까지 가능하도록 디지털 장치를 부착한 평면 연삭기(HGS-515XA, Hwacheon)를 사용하였다. 법선과 접선의 두 연삭저항 성분을 측정하기 위하여 공구 동력계(AST-MM, Satowo)를 연삭 테이블 위에 설치하고 그 위에 지그를 설치한 후 공작물을 고정하였다. 연삭시 하향 절삭(Down cut)으로 실시하였으며, 공구 동력계에서 발생된 신호는 엠프(UCAM-70A, Kyowa)에서 증폭된 후, A/D 변환기를 거쳐 출력 장치인 프린터를 통해 출력되도록 하였다.

공작물의 표면 상태를 측정하기 위하여 측정식 조도계(Surftest-301, Mitutoyo)를 이용하여 측정하였으며, 가공이 진행함에 따른 연삭 슷들의 마멸 진행이 어떠한 형태로 나타나는지를 관찰하기 위하여, 공작물을 10회 가공한 후마다 연삭 슷들면의 원주면을 4등분하여 CCD 카메라(SDC4304NA, Samsung)로 영상을 획득하였으며, 이미지 시스템에 저장한 후 프린터로 출력하였다.

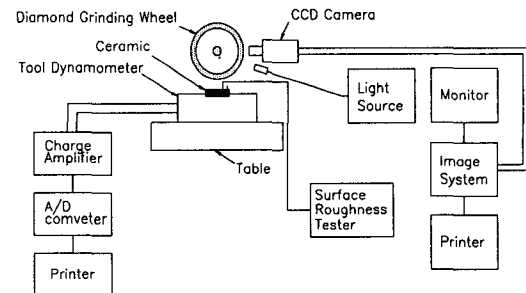


Fig. 3 Block diagram of Experimental apparatus

Table 2. List of grinding conditions

Item	Conditions
Rotation speed of spindle(rpm)	1500, 2000, 2500, 3000
Feed rate(m/min)	1, 2, 3, 4
Depth of cut(mm)	0.01, 0.02, 0.03, 0.04

IV. 실험결과 및 고찰

1. 다이아몬드 휠별 연삭저항의 변화

Fig. 4~Fig. 6는 3종의 세라믹 재료를 각각의 다이아몬드 휠로 연삭깊이를 0.01mm, 이송속도를 3m/min으로 선정하고 주축의 회전수를 1500, 2000, 2500 그리고 3000rpm으로 변화시키면서 연삭 가공을 실시하였을 때의 연삭저항의 법선분력 변화관계를 도시한 그림이다. 그림에서와 같이 주축의 회전수를 증가시키면 연삭저항의 법선분력이 모두 감소되는 경향을 나타내고 있다.

비트리파이드 본드 휠이 레진 본드 휠보다 연삭저항의 법선분력이 작게 나타나고 있고, 또한 입도번호가 클수록 연삭저항이 작게 나타나고 있다. 이러한 이유는 비트리파이드 본드 휠의 특성상 충분한 기공 때문에 절연의 전·후에 큰 칩포켓(Chip pocket)을 갖고 있으므로 절삭 칩 배출이 용이하기 때문에 연삭저항이 작게 나타난다고 생각된다.

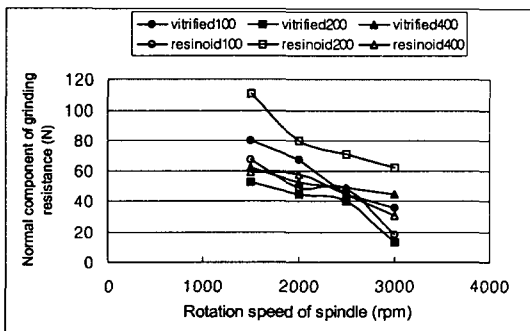


Fig. 4 Normal components of grinding resistance versus rotation speed of spindle for Si₃N₄
(feed rate : 3m/min, depth of cut : 0.01mm)

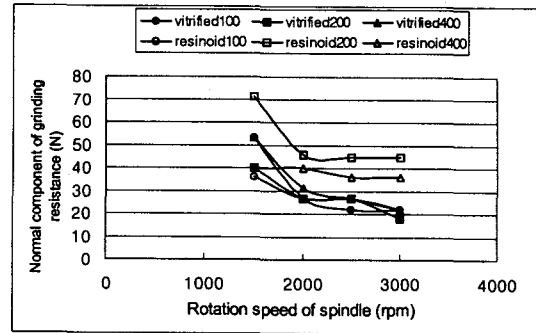


Fig. 5 Normal components of grinding resistance versus rotation speed of spindle for Al₂O₃
(feed rate : 3m/min, depth of cut : 0.01mm)

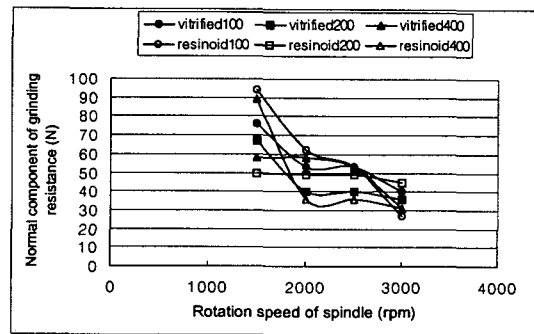


Fig. 6 Normal components of grinding resistance versus rotation speed of spindle for ZrO₂
(feed rate : 3m/min, depth of cut : 0.01mm)

2. 다이아몬드 휠별 표면 거칠기의 변화

Fig. 7~Fig. 9은 3종의 세라믹 재료를 각각의 다이아몬드 휠로 연삭깊이를 0.01mm, 이송속도를 1m/min으로 선정하고 주축의 회전수를 1500, 2000, 2500 그리고 3000rpm으로 변화시키면서 연삭가공을 실시하였을 때의 표면거칠기의 변화관계를 도시한 그림이다.

그림에서와 같이 주축의 회전수를 증가시키면 표면거칠기 값이 약간 감소되는 경향을 나타내고 있고, 비트리파이드 본드 휠이 레진 본드 휠보다 표면상태가 좋게 나타나고 있으며, 입도번호가 클수록 표면상태가 좋게 나타나고 있다. 이러한 이유는 비트리파이드 본드 휠은 레진 본

드 휠과 비교해서 탄성계수가 높기 때문에 연삭 시 휠의 탄성변형이 적으므로 정도가 높은 표면을 얻는 것이 가능하다.

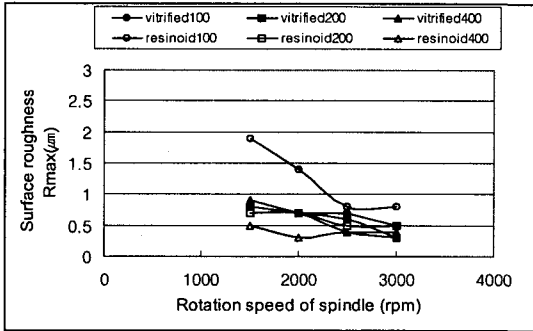


Fig. 7 Surface roughness versus rotation speed of spindle for Si_3N_4
(feed rate : 1m/min, depth of cut : 0.01mm)

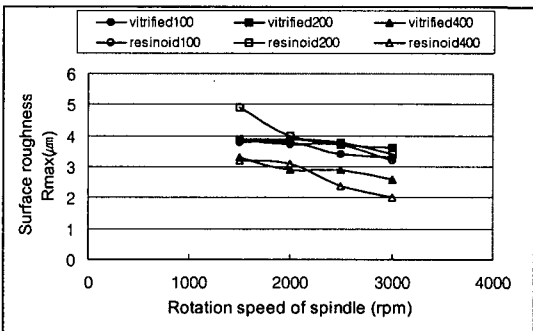


Fig. 8 Surface roughness versus rotation speed of spindle for Al_2O_3
(feed rate : 1m/min, depth of cut : 0.01mm)

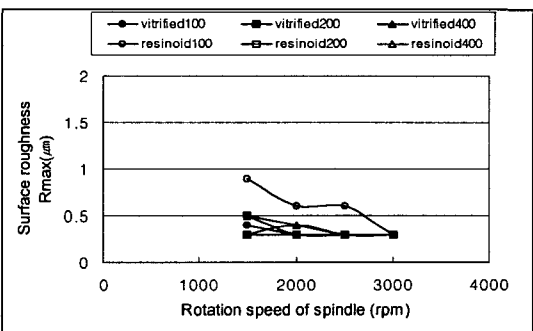


Fig. 9 Surface roughness versus rotation speed of spindle for ZrO_2
(feed rate : 1m/min, depth of cut : 0.01mm)

3. 다이아몬드 휠의 마멸 비교

Fig. 10 ~ Fig.11은 가공이 진행함에 따른 연삭 슷들의 마멸 진행이 어떠한 형태로 나타나는지를 관찰하기 위하여, 공작물을 10회 가공한 후마다 연삭 슷들면의 원주면을 4등분하여 CCD 카메라로 촬영한 사진을 나타내고 있다. 연삭 슷들의 재질에 따라서 연삭성은 현저한 차이점을 나타내고 있다. 레진 본드 휠로 알루미늄을 가공한 경우, 입자의 탈락이 적으므로 점차 입자의 마멸이 시작되면서 입자끝이 평평해지다가, 재료의 눈막힘이 심하게 발생하게 된다. 입도가 작은 경우는 입자끝이 평평해지는 클레이징 현상이 잠시 발생하지만, 입도가 작은 경우는 눈막힘에 의한 영향만이 커지게 된다. 즉, 절삭날이 점차 묻히면서 절삭날 면적률은 대체로 감소하게 된다. 비트리파이드 본드 휠로 알루미늄을 가공한 경우에는 입자의 탈락이 용이하기 때문에 절삭날 면적을 변화의 규칙성을 찾기가 힘들지만 대체로 감소하였다가 증가하는 경향을 나타낸다. Fig. 10은 각각 가공하기 전의 레진과 비트리파이드 본드 휠면의 영상이고, Fig. 11은 알루미늄을 연속 가공 50회 가공 후의 사진이다. 레진 본드 휠의 경우는 절삭날이 많이 무디어지고 묻힌 것을 알 수 있으나, 비트리파이드 본드 휠의 경우는 커다란 변화가 없음을 알 수 있다. 그 밖의 다른 재질의 연삭 슷들의 경우 레진 본드 휠에서도 모두 절삭날 면적률이 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 입자의 탈락이 원활하지 못하기 때문에 눈막힘이 발생하여 슷들입자가 묻혔기 때문이며, 비트리파이드 본드 휠의 경우는 입자의 탈락도 원활할 뿐만 아니라 가공 때문에 칩 배출이 용이하므로, 절삭날 면적률의 변화가 크게 나타나지 않았다.

연속 가공 진행에 따른 다이아몬드 슷들의 마멸 거동을 관찰하여 가공시간이 누적되어짐에 따라 절인의 마멸과 슷들 입자의 탈락이 이루어짐을 찾아 볼 수 있어 주기적으로 슷들 가공면을 재조정할 필요가 있음을 알 수 있다. 연속 가공 시 슷들의 눈막힘 현상 방지와 지립의 마멸 현상을 극소화시키는 작업이 필요함을 제시할 수 있다.

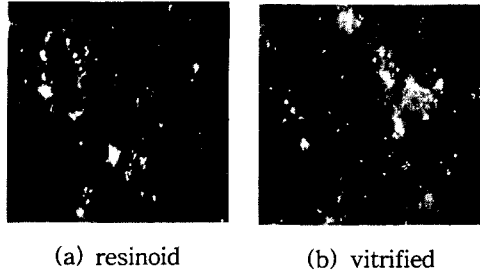


Fig. 10 Diamond wheel surface image before grinding (grain size : 200)

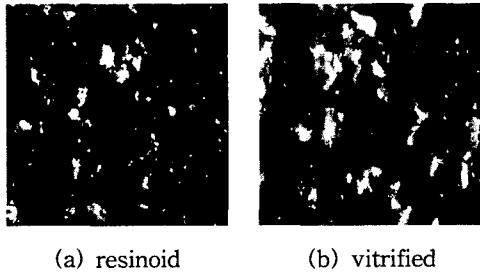


Fig. 11 Diamond wheel surface image at 50 grinding times (material : Al_2O_3 , grain size : 200)

V. 결론

본 연구는 세라믹 재료를 다이아몬드 휠로 연삭가공할 때 연삭특성 및 연삭 슛들의 마멸 거동을 규명하기 위한 실험 결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 연삭저항의 법선분력은 주축회전수의 증가에 따라 감소되는 경향을 나타내고 있고, 비트리파이드 본드 휠의 특성상 충분한 기공으로 절인에 큰 칩 포켓을 갖고 있으므로 칩 배출이 용이하기 때문에, 레진 본드 휠보다 연삭저항이 작게 나타난다.
2. 표면거칠기 값은 주축 회전수의 증가에 따라 약간 감소하는 경향이 있고 비트리파이드 본드 휠은 레진 본드 휠과 비교해서 탄성변형이 적으므로 정도가 높은 표면을 얻을 수 있다.
3. 세라믹 재료의 연속가공 후 레진본드 휠의 경우에는 절삭날 면적율이 감소하는 경향이 있으

나, 비트리파이드 본드 휠의 경우는 변화가 없음을 볼 수 있다.

참고 문헌

1. 조성재 외 “ 세라믹 재료의 연삭 ” 요업기술. Vol.11 No.2 pp63-72 1996
2. 中川平三郎 “ グラインディングセンタによるセラミックスの正面研削加工 ” 機械技術, 第40巻 第4号 pp77-83 1992
3. Tsuwa, H., “An Investigation of Grinding Wheel Cutting Edges,” Trans. of ASME, pp. 371~382. 1964
4. 安井平司 “ レジンボンDCBN砥石の形直し特性の-検討“ 精密工學會誌, 第58巻 第8号 pp 85-90. 1992