

세라믹 연삭에서 결합제에 따른 다이아몬드 휠의 마멸 특성

공재향*, 유봉환⁺, 소의열⁺⁺, 이근상⁺⁺⁺, 유은이⁺⁺⁺⁺, 임홍섭⁺⁺⁺⁺⁺

(논문접수일 2001. 12. 24, 심사완료일 2002. 6. 25)

Wear Characteristics of Diamond Wheel according to bond in Ceramic Grinding

Jae Hyang Gong*, Bong Hwan Ryu⁺, Eui Yeorl So⁺⁺, Keun Sang Lee⁺⁺⁺, Eun Yi Yu⁺⁺⁺⁺, Hong Sub Lim⁺⁺⁺⁺⁺

Abstract

In this study, experiments were carried out to investigate the characteristics of grinding and wear process of diamond wheel during 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 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 decreased. For the case of vitrified bond wheel, cutting edge ratio did not change.

Key Words : Diamond Wheel(다이아몬드 휠), Vitrified Bond(비트리파이드 본드), Resinoid Bond(레지노이드 본드), Cutting Edge Ratio(절삭날 면적율)

1. 서론

세라믹재료는 기존의 금속재료에 비하여 기능이 다양하고 고온 성질이 우수하다는 장점을 가지고 있다. 이러한 장

점을 이용하여 제품을 만들기 위해서는 원하는 형상의 치수를 정확하게 얻을 수 있어야 한다. 예를 들면, 구조용 세라믹을 기계제작에 사용하기 위해서 때로는 금속과의 접합이 필요한데, 이를 위해서는 금속과 대등한 정도로 정밀하

* 주저자, 서울지방중소기업청 경영지원과 (gongja@smba.go.kr)
주소: 427-010 경기도 과천시 중앙동 2번지, Tel: 02-509-7012
+ 숭실대 기계공학과
++ 충청대 기계설계과
+++ 세인ENG
++++ 정우이엔지
+++++ 인천기능대 자동차과

게 가공하지 않으면 안 된다. 지금까지의 성형 · 소결 방법 만으로는 요구되는 정도의 정밀도를 달성하는 것이 어렵기 때문에 소결 후의 가공이 필요하다. 또한 세라믹재료는 경도가 높기 때문에 금속 가공에 쓰이는 공구로는 가공이 어렵다. 다이아몬드나 CBN 등의 공구가 가공에 이용되고 있는데, 일반적으로 다이아몬드 공구가 가장 많이 쓰이고 있다^{(1),(2),(6),(7)}.

본 연구에서는 평면연삭기를 이용하여 다이아몬드 휠로 세라믹재료를 연삭가공할 때 각각의 연삭조건에 따른 연삭 저항과 가공면의 표면거칠기 변화를 검토 · 고찰하고 다이아몬드 휠의 마멸을 판단하기 위하여, 컴퓨터 비전 시스템⁽³⁾을 구성하여 다이아몬드 휠의 표면을 CCD 카메라로 획득하고 영상처리 한 후, 그 절삭날 면적의 변화를 측정하여 다이아몬드 휠의 거동을 가시화 함으로써, 세라믹 난삭재의 가공 중에 발생할 수 있는 상황들을 예측함으로써 절삭과정에서 보다 효율적인 가공조건들을 찾고자 한다.

2. 휠 입자의 거동

2.1 휠 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 깎여 나가는 현상이며, (2)번의 파괴는 입자의 일부가 떨어져 나

가는 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 부분파괴는 입자의 일부는 떨어져 나가고 일부는 마멸되는 현상이다⁽⁴⁾.

2.2 휠의 수명

다이아몬드 휠의 절삭 날끝은 연삭이 진행될수록 Fig. 2에서와 같이 점차 평탄하게 마모되어 이 면적이 휠 작업 면적에 대하여 점차 증가하다가 어느 일정한 지점에 이르면 그 변화율이 완만해지고 그 이후 점차 감소하게 된다. 그 증가가 멈추고 감소가 시작되는 지점에 도달하면 연삭저항이 급증하여 연삭 버어닝이나 채터를 유발하게 되어 연삭을 계속 수행할 수 없게 된다. 그래서 휠 성능에 대한 척도로서 절삭날 면적율이 사용된다.

즉, Fig. 3과 같은 휠 작업면 전개도에 있어서 작업 가능한 일정한 면적 A에 대해서 그 면적내에 있는 절삭날 마멸 면적 e_1, e_2, \dots, e_N 의 총합, $\sum e_N$ 의 비로서 절삭날 면적율 α 를 정의한다⁽⁵⁾.

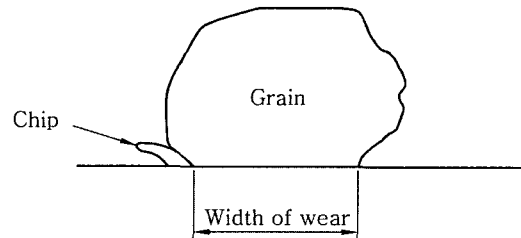
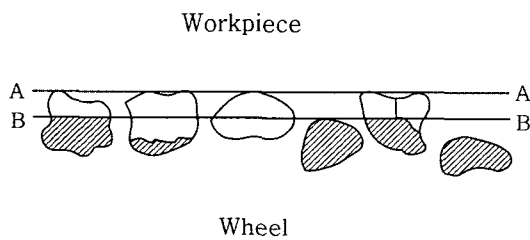
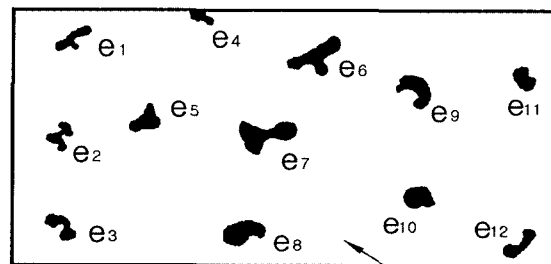


Fig. 2 Cutting edge of grinding grain



- | | | | | | |
|------------------------|-----|----------------------|-----|-----|-----|
| (1) | (2) | (3) | (4) | (5) | (6) |
| (1) : Wear | | (2) : Breakage | | | |
| (3) : Dig out | | (4) : Newly appeared | | | |
| (5) : Partial breakage | | (6) : Not appeared | | | |

Fig. 1 Changing aspects of cutting edges



- e_i : Area of cutting edges
A : Working area

Fig. 3 Cutting edge area of working surface

$$\alpha = \frac{\sum e_N}{A} \quad (1)$$

이 값의 대소는 다이아몬드 휠의 절삭날 마멸의 정도, 다시 말해서 다이아몬드 휠의 수명과 깊은 관계가 있다. 휠의 절삭날 면적율은 시간의 경과와 더불어 서서히 변화하는데 이 증가량이 점차 완만해지면서 결국 일정하게 되는 점을 휠의 수명으로 한다.

3. 실험

3.1 시험편

본 실험에서 사용된 시험편 재료는 질화규소(Si₃N₄), 알루미나(Al₂O₃), 지르코니아(ZrO₂)의 3종으로 시험편의 규격은 Fig. 4와 같으며, 스틱(stick)형으로 제작하였다.

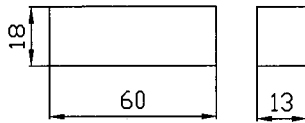


Fig. 4 Dimensions of specimen

3.2 다이아몬드 휠(Diamond wheel)

본 실험에 사용된 다이아몬드 휠의 규격은 Table 1과 같으며, 휠의 결합도는 R급을 사용하였다. 지립이라 불리는 날카로운 다이아몬드 입자들이 결합제로 결합되어 몸체를 이루는 부분에 부착되어 있는 것이다. 지립을 결합시키는 결합제에 따라서 휠의 특성이 달라지며, 그 용도도 달라진다.

Table 1 Classification of diamond wheel

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

3.3 실험장치 및 방법

본 실험에서 사용하는 실험기기는 Fig. 5와 같으며, 연삭 조건은 Table 2와 같다. 실험조건을 다양하게 변화시키기 위해서, 주축회전수를 조정할 수 있는 인버터(inverter)를

장착하였으며, 절입량이 1μm까지 디스플레이(display)가 가능한 디지털 장치(LH51, Sony)와 스케일 유닛(SR128-035, Sony))를 부착한 평면연삭기(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. 연삭은 건식 및 하향 절삭(down cut)으로 실시하였으며, 드레싱(dressing)은 매 실험마다 WA240 스틱(150L×20W×20H)을 사용하였으며, 드레싱조건은 주축회전수를 3000rpm, 이송속도를 2m/min, 절입깊이를 20μm, 크로스 피이드(cross feed)는 5mm/pass로 트레이버스(traverse)방법으로 수행하였다. 공구동력계에서 발생된 신호는 엠프(UCAM-70A, Kyowa)에서 증폭된 후, A/D 변환기를 거쳐 출력 장치인 프린터를 통해 출력되도록 하였다. 공작물의 표면상태를 측정하기 위하여 촉침식 조도계(Surf-test-301, Mitutoyo)를 이용하여 측정하였으며, 가공이 진행함에 따른 다이아몬드 휠의 마멸 진행이 어떠한 형태로 나타나는지를 관찰하기 위하여, 가공조건은 주축회전수를 3000 rpm, 이송속도를 1m/min, 절입량을 0.02mm로 하고, 공작물을 10회 가공한 후마다 다이아몬드 휠의 원주면을 4등분하여 CCD 카메라(SDC4304NA, Samsung)로 영상을 획득하였으며, 컴퓨터 비전 시스템에 저장한 후 이진화 처리를 이용하여 절삭날 면적율을 계산하였다.

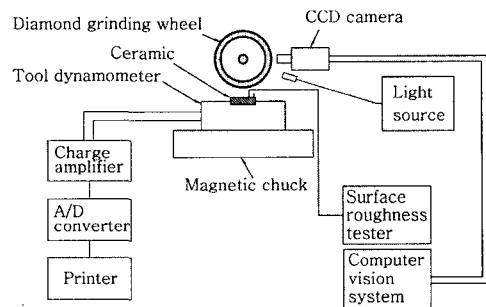


Fig. 5 Block diagram of experimental apparatus

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

4. 실험결과 및 고찰

4.1 다이아몬드 휠별 세라믹재료의 연삭저항 변화

Fig. 6~Fig. 8는 3종의 세라믹재료를 각각의 다이아몬드 휠로 연삭깊이를 0.01mm, 이송속도를 3m/min으로 선정하고 주축의 회전수를 1500, 2000, 2500 그리고 3000rpm으로 변화시키면서 연삭가공을 실시하였을 때의 연삭저항의 법선분력 변화관계를 도시한 그림이다. 그림에서와 같이 주축의 회전수를 증가시키면 연삭저항의 법선분력이 모두 감소되는 경향을 나타내고 있다.

비트리파이드 본드 휠이 레지노이드 본드 휠보다 연삭저항의 법선분력이 작게 나타나고 있고, 또한 입도번호가 클수록 연삭저항이 작게 나타나고 있다. 이러한 이유는 비트리파

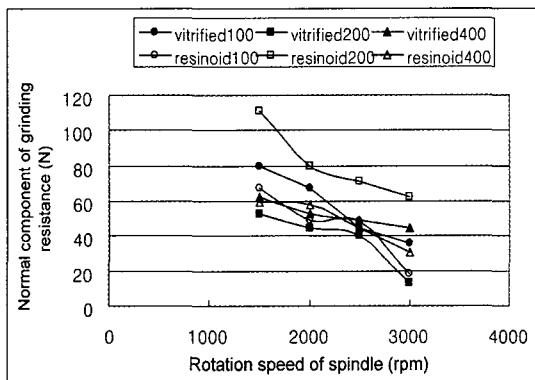


Fig. 6 Normal components of grinding resistance versus rotation speed of spindle for Si_3N_4 (feed rate : 3m/min, depth of cut : 0.01mm)

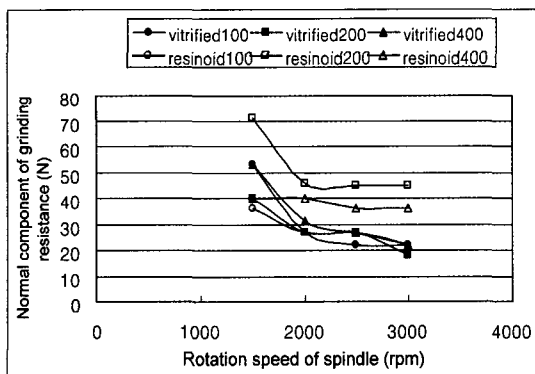


Fig. 7 Normal components of grinding resistance versus rotation speed of spindle for Al_2O_3 (feed rate : 3m/min, depth of cut : 0.01mm)

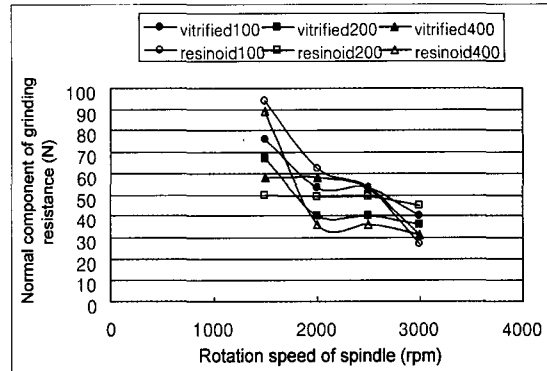


Fig. 8 Normal components of grinding resistance versus rotation speed of spindle for ZrO_2 (feed rate : 3m/min, depth of cut : 0.01mm)

이드 본드 휠의 특성상 충분한 기공 때문에 절연의 전·후에 큰 칩 포켓(chip pocket)을 갖고 있으므로 절삭 칩 배출이 용이하기 때문에 연삭저항이 작게 나타난다고 생각된다.

4.2 다이아몬드 휠별 세라믹재료의 표면거칠기 변화

Fig. 9~Fig. 11은 3종의 세라믹재료를 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

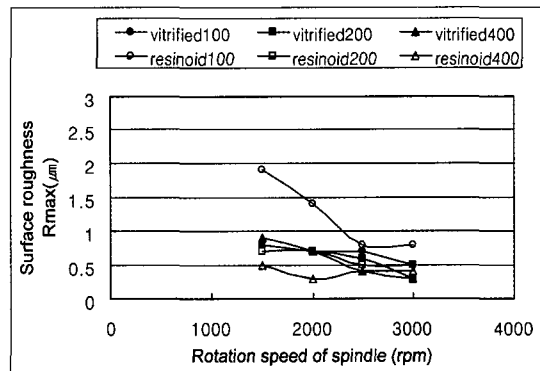


Fig. 9 Surface roughness versus rotation speed of spindle for Si_3N_4 (feed rate : 1m/min, depth of cut : 0.01mm)

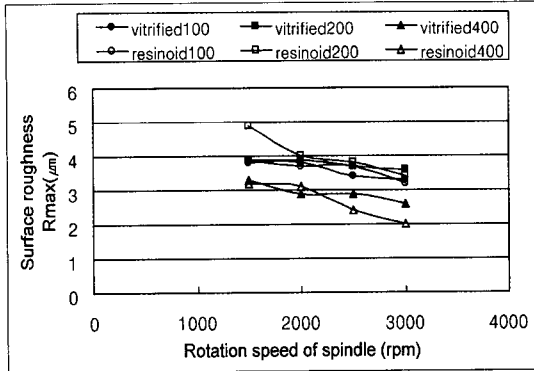


Fig. 10 Surface roughness versus rotation speed of spindle for Al₂O₃ (feed rate : 1m/min, depth of cut : 0.01mm)

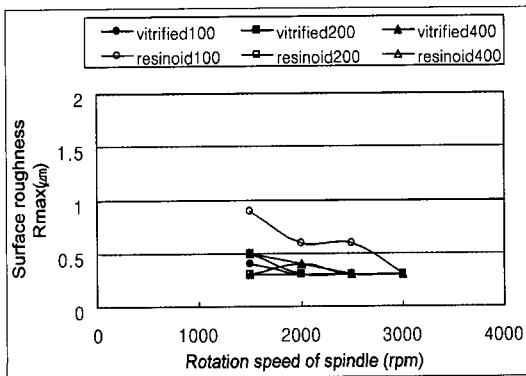


Fig. 11 Surface roughness versus rotation speed of spindle for ZrO₂ (feed rate : 1m/min, depth of cut : 0.01mm)

드 본드 휠이 레지노이드 본드 휠보다 표면상태가 좋게 나타나고 있으며, 입도번호가 클수록 표면상태가 좋게 나타나고 있다. 이러한 이유는 비트리파이드 본드 휠은 레지노이드 본드 휠과 비교해서 탄성변형이 적으므로 정도가 높은 표면을 얻는 것이 가능하다.

4.3 다이아몬드 휠의 마멸 비교

Fig. 12~Fig. 15는 가공이 진행함에 따른 다이아몬드 휠의 마멸 진행이 어떠한 형태로 나타나는지를 관찰하기 위하여, 가공조건은 주축 회전수를 3000rpm, 이송속도를 1m/min, 절입량을 0.02mm로 하고, 공작물을 10회 가공한 후마다 다이아몬드 휠의 원주면을 4등분하여 CCD 카메라로 촬영한 사진을 나타내고 있으며, 배율을 조절하기 위하여 5, 10, 15, 20, 50mm의 경통을 제작하여 여러 단계의 배율로 확대가 가능하도록 하였고, 최종적으로 영상은 약 400배

로 확대하였다. 각 4분면의 위치에서 4프레임의 영상을 획득한 후 이진화처리를 이용하여 각 프레임의 절삭날 면적을 계산하여 그 평균치를 측정값으로 사용하였다. Fig. 12~Fig. 13은 연삭하기 전의 입도가 200인 레지노이드와 비트리파이드 본드 휠면의 영상과 이진화 처리의 영상이다. Fig. 14~Fig. 15는 알루미나를 연속가공 50회 연삭 후의 입도가 200인 레지노이드와 비트리파이드 본드 휠면의 영상과 이진화 처리의 영상이다. 레지노이드 본드 휠의 경우는 절삭날이 많이 무디어지고 묻힌 것을 알 수 있으나, 비트리파이드 본드 휠의 경우는 커다란 변화가 없음을 알 수 있다. 이것은 입자의 탈락이 원활하지 못하기 때문에 눈막힘이 발생하여 휠 입자가 묻혔기 때문이며, 비트리파이드 본드 휠의 경우는 입자의 탈락도 원활할 뿐만 아니라 가공 때문에 칩 배출이 용이하므로, 절삭날 면적률의 변화가 크게 나타나지 않았다. 다이아몬드 휠의 본드에 따라서 연삭성은 현저한 차이점을 나타내고 있다. Fig. 16은 알루미나를 레지노이드 본드 휠과 비트리파이드 본드 휠로 10회 가공 후마다 다이아몬드 휠의 절삭날 면적률의 변화를 도시한 그림이다. 레지노이드 본드 휠로 알루미나를 가공한 경우, 입자의 탈락이 적으므로 점차 입자의 마멸이 시작되면서 입자 끝이 평평해지다가, 재료의 눈막힘이 심하게 발생하게 된다. 입도가 작은 경우는 입자 끝이 평평해지는 글레이징 현상이 잠시 발생하지만, 입도가 큰 경우는 눈막힘에 의한 영향만이 커지게 된다. 즉, 절삭날이 점차 묻히면서 절삭날 면적률은 대체로 감소하게 된다. 비트리파이드 본드 휠로 알루미나를 가공한 경우에는 입자의 탈락이 용이하기 때문에 절삭날 면적률 변화의 규칙성을 찾기가 힘들지만 절삭날 면적률의 변화가 크게 나타나지 않았다. 연속 가공 진행에 따른 다이아몬드 휠의 마멸 거동을 관찰하여 가공시간이 누적되어짐에 따라 절연의 마멸과 휠 입자의 탈락이 이루어짐을 찾아 볼 수 있어 주기적으로 휠 가공면을 재조정할 필요

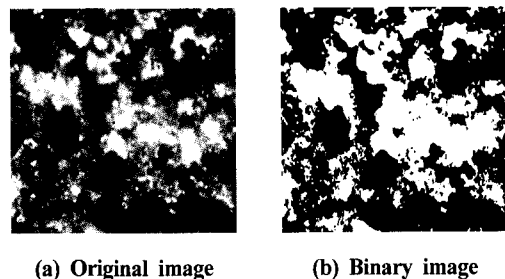
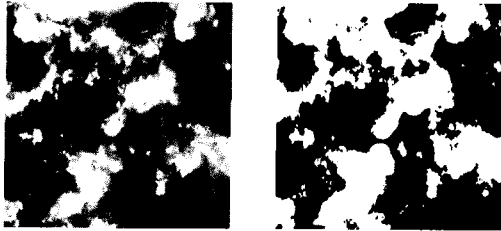
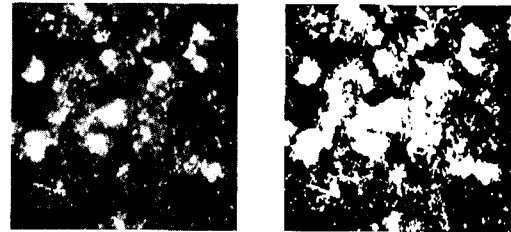


Fig. 12 Original and binary image of resinoid bond newly wheel(mesh number : 200)



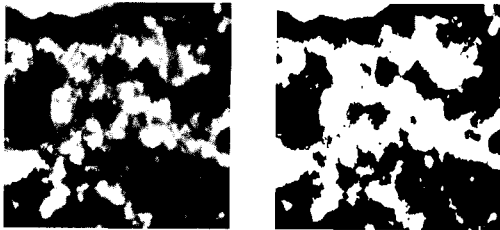
(a) Original image (b) Binary image

Fig. 13 Original and binary image of vitrified bond newly wheel(mesh number : 200)



(a) Original image (b) Binary image

Fig. 14 Original and binary image of resinoid bond wheel (mesh number : 200, material : Al_2O_3 , grinding time : 50 pass)



(a) Original image (b) Binary image

Fig. 15 Original and binary image of vitrified bond wheel (mesh number : 200, material : Al_2O_3 , grinding time : 50 pass)

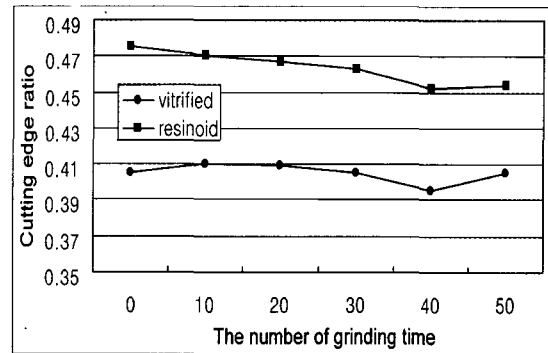


Fig. 16 Variation of cutting edge ratio for the number of grinding time (material : Al_2O_3 , mesh number : 200)

가 있음을 알 수 있다. 연속 가공시 휠의 눈막힘 현상 방지와 입자의 마멸 현상을 극소화시키는 작업이 필요함을 제시할 수 있다.

5. 결론

본 연구는 세라믹재료를 다이아몬드 휠로 연삭가공할 때 연삭특성 및 다이아몬드 휠의 마멸 거동을 규명하기 위한 실험을 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, 레지노이드 본드 휠보다 연삭저항이 작게 나타난다.
- (2) 표면거칠기 값은 주축회전수의 증가에 따라 약간 감소

하는 경향이 있고 비트리파이드 본드 휠은 레지노이드 본드 휠과 비교해서 탄성변형이 적으므로 정도가 높은 표면을 얻을 수 있다.

- (3) 비트리파이드 본드 휠은 휠 표면에 많은 기공의 분포로 인하여 칩의 배출이 용이하기 때문에 마멸경향이 잘 나타나고 있으며, 가공횟수 증가에 따라 절삭날 면적율은 변화가 없음을 알 수 있다.
- (4) 레지노이드 본드 휠은 칩의 일부가 연삭입자에 응착되어 뚜렷한 경향을 나타내지 못하고 있으며, 가공횟수 증가에 따라 절삭날 면적율은 감소하는 경향이 있다.

참고 문헌

- (1) 조성재 외, "세라믹 재료의 연삭", 요업기술, Vol.11, No. 2, pp.63~72, 1996.
- (2) 中川平三郎, "グラインディングセンタによるセ

- ラミシクスの正面研削加工”, 機械技術, 第40卷, 第4号, pp. 77~83, 1992.
- (3) Tsuwa, H., “An Investigation of Grinding Wheel Cutting Edges”, Trans. of ASME, pp.371~382, 1964.
- (4) 安井平司, “レジンボンドCBN砥石の形直し特性の-検討”, 精密工學會誌, 第58卷, 第8号, pp. 85~90, 1992.
- (5) 서남섭, “정밀공작법”, 대광서림, pp. 209~211, 1996.
- (6) J. C. Lee, et al, “A Study on the Surface Integrity of Grinding of Ceramic”, Trans. of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 10, No. 3, pp. 90~96, 2001.
- (7) 이종찬, “초연마재를 이용한 연삭·절삭가공”, 한국공작기계학회, 제8권, 제5호, pp. 7~19, 1999.