

세라믹 연삭에서 다이아몬드 휠의 수명 판정에 관한 연구
임홍섭*(인천기능대), 유봉환(숭실대), 소의열(충청대),
이근상(세인ENG), 사승윤((주)텔레스타)

A Study on the Determination of Diamond Wheel Life
in Ceramic Grinding

H. S. Lim*, B. H. Ryu, E. Y. So,
K. S. Lee and S. Y. Sa

Abstract

In order to investigate the characteristics of grinding and diamond wheel grinding ceramic materials, grinding resistance, surface roughness of worked surface and image of grinding wheel were acquired using experimental method. Through the experiments, this makes it possible to observe grinding wheel behavior by grinding resistance, surface roughness and cutting edge ratio. In case of Al_2O_3 , cutting edge ratio is better than that of ZrO_2 and Si_3N_4 . That's because Al_2O_3 has a characteristics of low fracture toughness and bending stress.

Keyword : cutting edge ratio(절삭날 면적률), Al_2O_3 (알루미나), Si_3N_4 (질화규소), ZrO_2 (지르코니아)

I. 서론

세라믹재료는 기존의 금속재료에 비하여 기능이 다양하고 고온성질이 우수하다는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점을 이용하여 제품을 만들기 위해서는 원하는 형상의 치수를 정확하게 얻을 수 있어야 한다. 그러나 세라믹재료는 경도가 높기 때문에 금속 가공에 쓰이는 공구로는 가공이 어려우며, 다이아몬드나 CBN 등의 공구가 연

삭 가공에 주로 이용되고 있다. 취성특성 때문에 가공면에 있어서 칩핑(chipping)이나 미소결함(crack)발생 등과 같은 가공상의 어려움으로 인하여 연삭 휠 입자의 마멸 및 마모 등으로 인한 연삭성능의 저하로 비용상승의 문제점을 안고 있는 것이 일반적이라고 할 수 있다.⁽¹⁾ 연삭 휠의 수명판정은 공작물 표면상의 떨림 모양의 발생, 연삭음의 변화, 연삭연소의 발생, 연삭저항의 변화, 공작물 표면상태의 악화, 가공정밀도의 저하 등으로 판단할 수 있다.⁽²⁾

본 연구에서는 평면연삭기를 이용하여 다이아몬드 휠로 세라믹재료를 연삭가공할 때 다이아몬드 휠의 수명을 판단하기 위하여, 각각의 연삭 조건에 따른 연삭저항과 가공면의 표면거칠기 변화를 검토·고찰하고 컴퓨터 비전 시스템⁽³⁾을 구성하여 다이아몬드 휠의 표면을 CCD 카메라로 획득하고 영상처리 한 후, 그 절삭날 면적의 변화를 측정하여 다이아몬드 휠 입자의 변화과정을 관찰함으로써, 세라믹 난삭재의 가공 중에 발생할 수 있는 상황들을 예측하고 다이아몬드 휠의 수명을 판단하여 보다 효율적인 가공조건들을 찾고자 한다.

II. 연삭입자의 절삭날 면적률

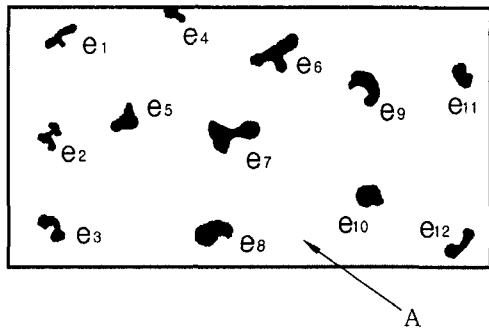
연삭가공에 있어서 그 입자의 거동을 살펴보면, 입자의 마멸(wear), 파괴(breakage), 탈락(dig-out), 생성(new appearance) 및 부분파괴(partial

breakage)의 과정이 반복되면서 일어나며, 이 과정이 진행되면서 서서히 그 수명이 다하게 된다.

Fig. 1과 같은 휠 작업면 전개도에 있어서 작업 가능한 일정한 면적 A에 대해서 그 면적내에 있는 절삭날 마모면적 e_1, e_2, \dots, e_N 의 총합, $\sum e_N$ 의 비로서 절삭날 면적을 α 를 정의한다.

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

이 값의 대소는 연삭휠의 절삭날 마멸의 정도를 나타내는 것으로 연삭휠의 수명과 깊은 관계가 있다. 휠의 절삭날 면적률은 시간의 경과와 더불어 서서히 변화하는데 이 증가량이 점차 완만해지면서 결국 일정하게 되는 점을 휠의 수명으로 한다.⁽⁴⁾



e_i : Area of cutting edges
A : Working area

Fig. 1 Cutting edge area of working surface

III. 실험

1. 시험편과 다이아몬드 휠

본 실험에 사용된 시험편은 3종의 세라믹재료인 질화규소(Si_3N_4), 알루미나(Al_2O_3) 그리고 지르코니아(ZrO_2)를 사용하였고, 시험편의 규격은 $60(\text{L}) \times 13(\text{W}) \times 18(\text{H})\text{mm}$ 이며, 스틱(Stick)형으로 제작하였다. 다이아몬드 휠은 레지노이드(Resinoid) 본드를 사용하였고, 입도(Mesh)는 100, 집중도(Concentration)를 100으로 제작하여 사용하였으며, 휠의 크기는 $180(\text{OD}) \times 13.75(\text{ID}) \times$

$13(\text{W}) \times 3(\text{t})\text{mm}$ 이다.

2. 실험장치 및 방법

본 실험은 주축의 회전수가 변속이 가능하도록 인버터(Inverter)를 부착하고, 절입량이 $1\mu\text{m}$ 까지 가능하도록 디지털 장치를 부착한 평면 연삭기(HGS-515XA, Hwacheon)를 사용하였으며, 실험에 사용한 실험 기기는 Fig. 2와 같으며, 연삭저항을 측정하기 위하여 공구동력계(9257B, piezo type, kistler)를 연삭 테이블 위에 설치하고, 그 위에 지그를 설치한 후 공작물을 고정하였다. 공구동력계에서 발생된 신호는 엠프(5019A, kistler)에서 증폭된 후 A/D 변환기를 거쳐 컴퓨터에 저장한 후 기록하였다. 공작물의 표면 상태를 측정하기 위하여 촉침식 조도계(Surftest-301, Mitutoyo)를 이용하여 측정하였으며, 가공이 진행함에 따른 연삭 휠의 마멸 진행이 어떠한 형태로 나타나는지를 관찰하기 위하여, 공작물을 10회 가공한 후마다 연삭 휠 표면의 원주면을 4등분하여 CCD 카메라(SDC4304NA, Samsung)로 영상을 획득하였으며, 이미지 시스템에 저장한 후 프린터로 출력하였다.

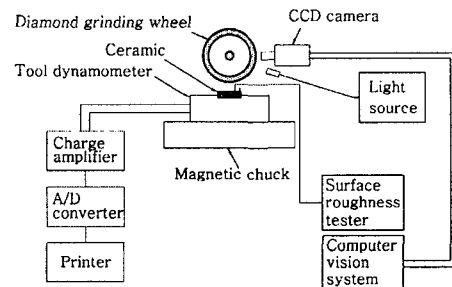


Fig. 2 Block diagram of experimental apparatus

IV. 실험결과 및 고찰

1. 알루미나 연삭시 연삭 휠의 수명판정

Fig. 3은 입도가 100인 레지노이드 본드 휠로 알루미나(Al_2O_3)를 주축속도를 $1250\text{m}/\text{min}$, 이송속도를 $3\text{m}/\text{min}$, 절입량을 0.03mm , 드레서 제거량을 780mm^3 으로 연삭하였을 때의 가공횟수에

따른 연삭저항의 법선분력(N) 및 표면거칠기(R_{max})를 나타낸 것이다. 가공횟수가 10회씩 증가할수록 연삭저항은 계속 증가하고, 표면거칠기 값은 감소하다가 80회 이후 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 가공횟수가 증가할수록 연삭입자의 절삭날이 마모되어 표면거칠기 값이 작아지다가 80회 이후 연삭저항의 증가와 함께 불규칙한 자생작용을 일으켜 연삭저항 및 표면거칠기 값이 높아지므로 연삭 수명점은 80회로 판단된다.

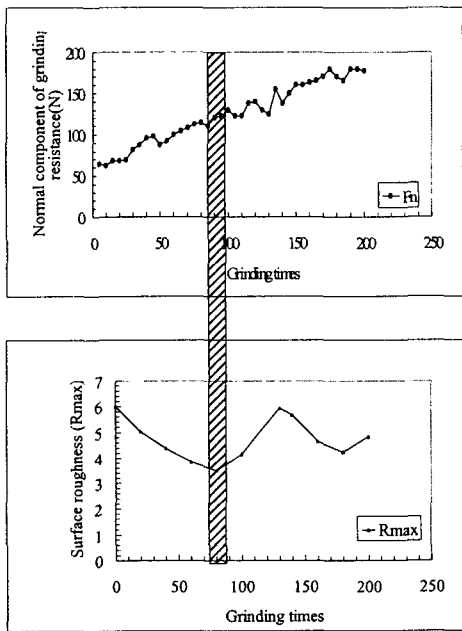


Fig. 3 Determination of wheel life using normal component of grinding resistance and surface roughness(Al_2O_3)

2. 질화규소 연삭시 연삭 휠의 수명판정

Fig. 4는 입도가 100인 레지노이드 본드 휠로 질화규소(Si_3N_4)를 주축속도를 1250m/min, 이송속도를 3m/min, 절입량을 0.01mm, 드레서 제거량을 520mm³으로 연삭하였을 때의 가공횟수에 따른 연삭저항의 법선분력(N) 및 표면거칠기(R_{max})를 나타낸 것이다. 가공횟수가 10회씩 증가할수록 연삭가공 초기에는 안정적으로 연삭이 수행하다가 60회 이후 연삭저항은 감소하고 표면거칠기 값은 증가함을 알 수 있다. 이는 연삭입자

에 눈막힘/loading)현상이 진행되어지기 때문에 연삭 수명점이 낮아진 것으로 판단된다.

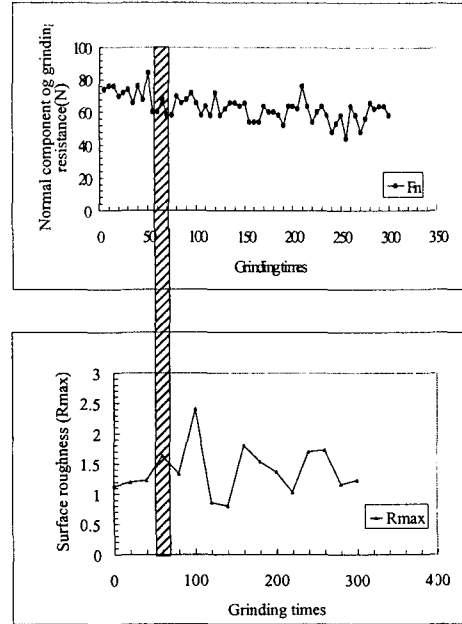


Fig. 4 Determination of wheel life using normal component of grinding resistance and surface roughness(Si_3N_4)

3. 지르코니아 연삭시 연삭 휠의 수명판정

Fig. 5는 입도가 100인 레지노이드 본드 휠로 지르코니아(ZrO_2)를 주축속도를 1550m/min, 이송속도를 4m/min, 절입량을 0.02mm, 드레서 제거량을 780mm³으로 연삭하였을 때의 가공횟수에 따른 연삭저항의 법선분력(N) 및 표면거칠기(R_{max})를 나타낸 것이다. 가공횟수가 10회씩 증가할수록 연삭저항은 비교적 안정적으로 변화의 폭은 작으나, 표면거칠기 값은 초기에는 연삭입자의 날교정의 영향으로 크게 나타나고 있으나 점차로 작아지다가 100회 이후 증가하고 있다. 이는 연삭입자가 마모되어 공작물표면과의 접촉면적이 많아져서 표면거칠기가 좋아지고 있으나 100회 이후 증가하고 있으므로 연삭 수명점으로 판단된다.

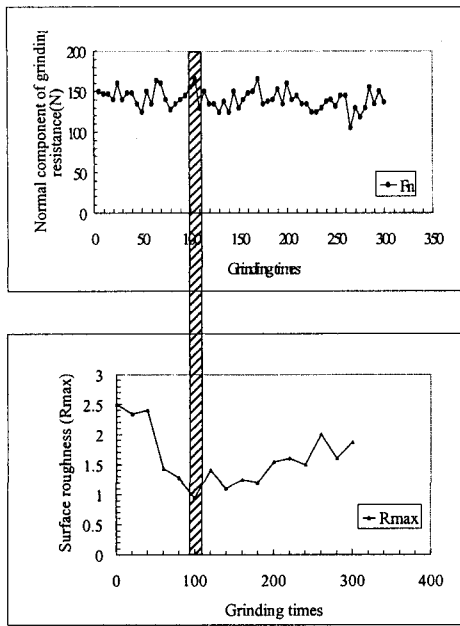


Fig. 5 Determination of wheel life using normal component of grinding resistance and surface roughness(ZrO_2)

4. 연삭입자 마멸의 영상처리

레지노이드 본드 휠의 입자 마멸을 관찰하기 위하여 CCD 카메라를 이용하여 휠 표면의 영상을 획득하였으며, 획득된 영상으로부터 입자의 절삭날 면적을 계산하였고, 가공횟수의 증가에 따른 입자의 마멸의 경향을 분석하였다. Fig. 6은 알루미늄을 레지노이드 본드 휠로 주축속도를 1250m/min, 이송속도를 3m/min, 절입량을 0.03mm, 드레서 제거량을 780mm³으로 가공하였을 때의 가공횟수에 따른 영상을 나타낸 것이다. Fig. 6(a)의 경우는 레지노이드 본드 휠의 가공전의 입자영상을 나타낸 것이고 Fig. 6(b)는 80회 가공 후 입자의 영상을 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 두 영상은 같은 위치는 아니지만 Fig. 6(b)의 영상에서는 부분적으로 밝은 명암도 값을 나타내는 입자의 반사 현상이 나타나고 있다. 이러한 부분은 두 가지로 해석될 수 있는데 하나는 연삭저항의 변화로 입자의 마멸에 따른 원인으로 해석될 수 있고, 또 하나는 입자에 묻어있는 칩에 의한 영향으로 볼 수 있다. 칩의 부

착은 레지노이드 본드 휠의 특성에 의해 쉽게 나타나며, 이러한 이유에 의하여 입자가 묻히는 현상이 발생하게 된다. Fig. 6(c)는 200회 가공 후 획득한 입자마멸의 영상으로 앞의 두 영상보다는 밝게 빛나는 부분이 많이 관찰되는데 이러한 이유는 연삭저항의 증가에 따른 입자의 마멸에 의한 원인으로 해석된다. Fig. 7은 질화규소를 레지노이드 본드 휠로 주축속도를 1250m/min, 이송속도를 3m/min, 절입량을 0.01mm, 드레서 제거량을 520mm³으로 연삭한 후의 마멸입자의 영상을 나타낸 것이다. 이 경우는 가공횟수의 증가에 따라 영상에 밝게 빛나는 입자를 관찰할 수 있으며, 이러한 부분은 칩의 부착으로 인하여 입자의 절삭날 면적이 증가하는 경향을 나타낸다. Fig. 8은 지르코니아를 레지노이드 본드 휠로 주축속도를 1550m/min, 이송속도를 4m/min, 절입량을 0.03mm, 드레서 제거량을 780mm³으로 연삭한 후의 마멸입자의 영상을 나타낸 것으로 앞의 두 조건의 경우와 마찬가지로 가공횟수의 증가에 따라 밝게 빛나는 입자를 관찰할 수 있다. Fig. 9는 3가지의 세라믹재료에 대한 연삭에서 가공횟수의 증가에 따른 마멸입자의 절삭날 면적을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 보는 바와 같이 가공횟수의 증가에 따라 절삭날 면적률 값은 증가하고 있으며, 어느 정도의 가공횟수가 증가한 후에는 증가의 변화는 크게 나타나지 않는다. 그래프에서 보는 바와 같이 알루미늄의 경우는 절삭날 면적률의 변화가 크게 나타내고 있으며, 80회 이후 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 법선분력의 증가와 함께 입자의 마멸로 인하여, 가공횟수의 증가에 따라 절삭날 면적률 값이 증가하는 경향을 나타낸다. 또한 앞의 고찰에서 법선분력과 가공면의 표면거칠기 값의 변화를 고려하여 볼 때 가공횟수 80회를 기준으로 휠의 마멸이 발생한 것으로 판단된다. 질화규소의 경우는 60회를 기준으로 급격한 절삭날 면적률이 증가하는 경향을 나타냈으며, 이 경우에는 법선분력의 변화를 고려하여 볼 때 입자의 마멸이 발생한 것으로 해석된다. 이러한 이유는 레지노이드 본드 휠의 특성에 의하여 칩이 쉽게 부착되어짐으로 눈막힘(loading)현상이 발생한 것으로 판단된다. 또한 지르코니아의 경우는 100회에서 절삭날 면적

률이 급격한 증가현상을 보이고 있으며, 이후로는 완만한 변화를 보이고 있는데 이 시점을 기준으로 휠의 마멸이 발생한 것으로 판단된다. Fig. 9의 그래프에서 3가지 세라믹재료에 대한 그래프 중에 알루미늄의 연삭이 가장 큰 절삭날 면적률을 나타내었는데 이러한 이유는 3가지 세라믹재료 중 가장 낮은 파괴인성과 굽힘응력을 가지는 알루미늄의 특성에 기인 것으로 판단된다.

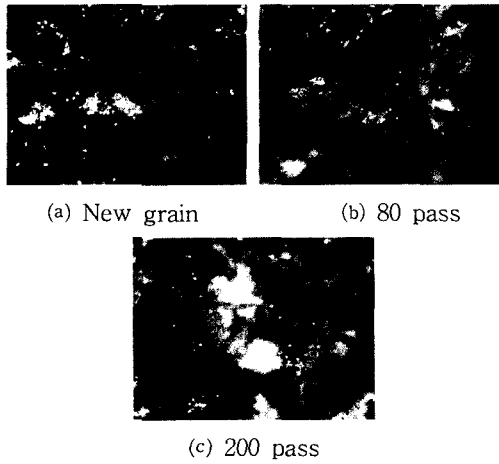


Fig. 6 Diamond wheel surface image (Al_2O_3)

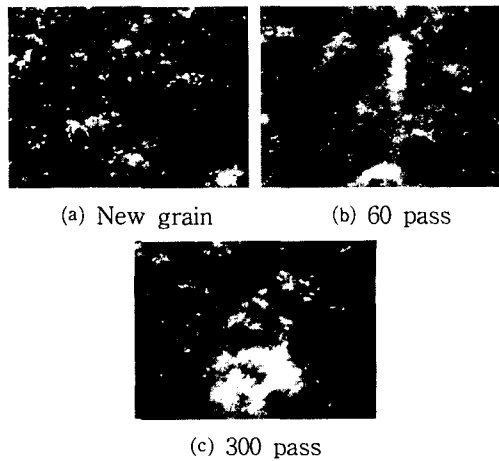


Fig. 7 Diamond wheel surface image (Si_3N_4)

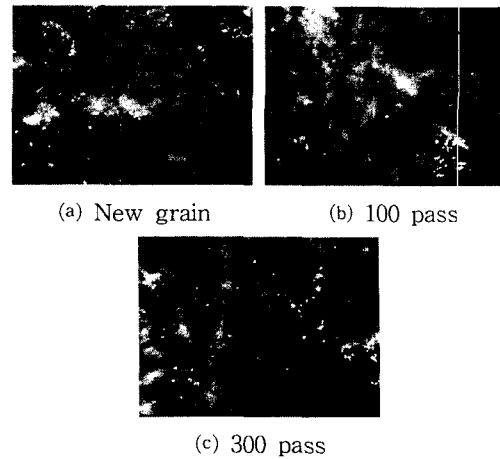


Fig. 8 Diamond wheel surface image (ZrO_2)

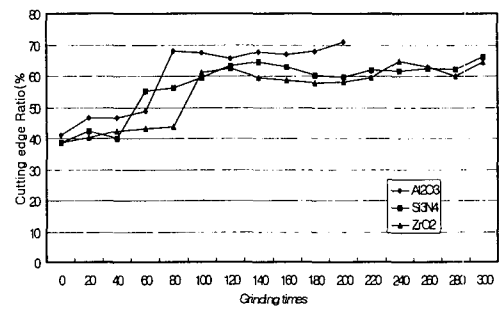


Fig. 9 Variation of cutting edge ratio for grinding times

V. 결론

본 연구는 세라믹재료를 다이아몬드 휠로 연삭가공할 때 다이아몬드 휠의 수명을 판단하기 위한 실험 결과를 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

1. 본 연구에서 선정된 3가지 세라믹재료의 연삭가공에서 휠의 수명은 알루미늄은 80회, 질화규소는 60회, 지르코니아는 100회로 연삭 수명점으로 판단할 수 있다.
2. 휠의 수명 판단에 연삭저항, 표면거칠기 및 절삭날 면적률을 이용하여 휠의 수명을 판정하였으

며, 실험결과가 잘 일치함을 확인할 수 있다.

3. 절삭날 면적률은 알루미늄이 가장 큰 값을 나타내었으며, 지르코니아와 질화규소의 경우는 다소 낮은 값을 나타내었다.

참고 문헌

1. 杉田忠彰, “セラミックスの機械加工,” 養賢堂, pp.33-34, 1985.
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