

슬롯형상의 연삭숫돌에 의한 평면연삭가공

왕 덕 현*, 김 원 일*, 강 신 업**, 우 정 윤***

Surface Grinding Process by Slot-shaped Grinding Wheel

D. H. Wang*, W. I. Kim*, S. Y. Kang**, J. Y. Woo***

Abstract

An experimental study on the grinding temperature, surface roughness and Acoustic Emission(AE) signals was conducted with different shapes of wheel. The grinding characteristics for slotted shapes of wheel changed by width and helical angle, were compared with those by general one. Lower grinding temperature was obtained for 30° helical angle with 10mm width and Root Mean Square(RMS) values of AE signals were lower for slotted shapes rather than general one. Surface roughness characteristics of slotted shapes found to be rough, but the value of roughness for 45° helical angle with 6mm width, represented to similar tendency general one.

Keywords : Slotted wheel(슬롯형 숫돌), Grinding temperature(연삭온도), Acoustic Emission(음향방출), Surface roughness(표면거칠기)

1. 서론

근래에 새로운 종류의 숫돌이 개발됨에 따라 연삭은 고정밀도의 가공면을 얻을 수 있는 가공방법으로 대두되고 있다. 그러나 연삭가공시 많은 양의 연삭입자로 미세한 칩이 형성되며, 또한 음의 윗면 경사각과 여유면이 마멸된 평단면으로, 피삭재에 접촉되는 절삭과정 때문에 비절삭저항보다 수 십배 이상의 비연삭저항이 발생하여 열의 대부분은 피삭재로 전달되어 연삭온도가 높게 나타난다. 피삭

재는 열팽창으로 치수정밀도가 저하되며, 피삭재 다듬질면의 경화현상, 연삭연소 및 연삭크랙 등의 손상을 유발하여 품질을 악화시키게 된다. 가공표층부에는 역학적 하중과 함께 연삭열의 영향을 받아 복잡한 결정으로 되어 가공변질층을 생성시켜 부품의 변형, 피로강도, 내마멸성 및 내식성의 저하를 초래한다¹⁾. 최근에는 세라믹과 같은 취성재료를 CBN 및 다이아몬드 숫돌을 사용하여 고정밀도의 연삭가공이 가능하게 되었다. 그러나 알루미늄이나 탄화티타늄이 함유된 세라믹복합체에서는 가공시 발생하는 높

* 경남대학교 기계공학부

** 현대전자산업(주)

*** 경남대학교 대학원 기계공학과

은 열에 의한 미소 파괴 및 열적손상이 나타나고 있어, 무엇보다도 연삭액의 작용이 중요시되고 있다. 그리고 이러한 연삭열의 발생을 완전히 방지할 수는 없지만, 연삭열의 발생기구 및 그것에 미치는 가공조건의 영향을 규명함으로써 실제의 가공에서 연삭열을 최소화하기 위한 연구가 필요하다.

Zheng²⁾은 슷돌 형상 변화에 따른 열적모델로서 직사각형, 삼각형 및 사다리꼴형상의 모델화와 열적방정식을 각각 해석하였다. Waida³⁾ 등은 슷돌 내부에서 연삭액을 공급하여 원심력에 의해 다량의 연삭액이 연삭면에 당도록 하였으며, 세라믹스의 가공 및 잔류응력 측정에 대한 연구를 하였다. 그리고 음향방출센서를 이용하여 연삭가공 중 발생하는 미세한 균열 검출, 진단 및 치수정밀도에 관한 연구도 수행되었다⁴⁻⁶⁾. 곽용길 등⁷⁾은 일반스�돌과 단속스�돌(슬롯형스�돌)의 경우 온도분포와 형상정밀도의 관계를 규명하였고, 김강석 등⁸⁾은 연삭가공시 온도해석을 유한요소법으로 해석하고 피삭재에 열전대를 설치하여 열변형을 예측하였다.

또한 연삭가공중 발생하는 열을 직접 측정하는 연구로는 광전소자를 피삭재 밀면에 심는 적외선 복사 온도계 방법을 사용하였으며, 피삭재의 재료특성과 연삭조건이 건식연삭온도에 미치는 영향에 대한 연구와 열전대를 피삭재 내부에 심어 연삭온도를 직접 측정하는 연구가 진행되었다^{9,10)}. 그리고 연삭영역에서의 연삭액의 유동과 에너지 분할에 관한 연구 및 Spark-out 시점에서 연삭액 유량을 변화시켜 피삭재의 열변형량과 수축속도를 제어하는 것에 의한 피삭재의 표면거칠기 개선을 위한 연구가 이루어지고 있다¹¹⁻¹⁴⁾.

본 연구에서는 슷돌의 형상을 슬롯형으로 폭과 슬롯각도를 변경하여 많은 양의 연삭유가 연삭가공중 피삭재 표면에 작용하는 경우, 피삭재면의 온도저하를 열전대를 이용하여 실시간으로 측정하고 또한 슬롯형의 슷돌 형상에 의한 가공시 충돌에 의한 영향을 음향방출 신호추정장치로 동시에 측정하여 일반스�돌과 슬롯형 슷돌에 의한 연삭가공시 그 특성을 파악하고자 한다.

2. 관련된 이론

반무한체 피삭재에 이동열원에 의한 온도분포의 미분방정식은 식(1)으로 그리고 경계조건식들은 식(2)로 다음과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 a 는 열확산계수, k 는 피삭

재의 열전도도, h 는 열전달계수이다. 한편 V_s 는 슷돌의 회전속도이고, V_w 는 피삭재의 이송속도이다.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{1}{a} \left(\frac{\partial T}{\partial t} - V_w \frac{\partial T}{\partial x} \right) \quad (1)$$

$$T(x, y, z, t) \Big|_{t=0} = 0 \quad (2)$$

$$-k \frac{\partial T}{\partial z} \Big|_{z=0} + hT \Big|_{z=0} = 0$$

슬롯형 슷돌에 의한 연삭온도의 해는 Zheng²⁾의 결과에 의하면 다음과 같다.

$$\theta = \pi \int_0^K \left(E(\zeta) e^{-\frac{X^2}{4\tau^2}} - K_h(Z, \tau) \right) K_r(X, \tau) dt \quad (3)$$

여기서

$$E(\zeta) = \begin{cases} 0, & \zeta \leq 0 \\ 1, & \zeta > 0 \end{cases}, \text{ where } \zeta = (n + \eta)t_0 - t \quad (4)$$

$$n = \left\{ \frac{t}{t_0} \right\}_{im}, \quad \eta = \frac{bS_1}{bS}, \quad t_0 = \frac{bS}{V_s}$$

$$K_r(X, \tau) = [(1-c)(X+2\tau^2)/L + 1] \cdot \left[\operatorname{erf}\left(\frac{X+L}{2\tau} + \tau\right) - \operatorname{erf}\left(\frac{X-L}{2\tau} + \tau\right) \right] \quad (5)$$

$$K_h(Z, \tau) = \pi H \tau e^{(HZ + H^2 \tau^2)} \operatorname{erfc}\left(\frac{Z}{2\tau} + H\tau\right) \quad (6)$$

$$X = \frac{V_w x}{2a}, \quad Z = \frac{V_w z}{2a},$$

$$L = \frac{V_w l_s}{2a}, \quad H = \frac{2ah}{kV_w},$$

$$\theta = \frac{\pi k V_w}{2a_0 a} T, \quad K = \sqrt{\frac{V_w^2 t}{4a}}$$

여기서, η 는 슬롯비로 연삭면 및 슬롯의 길이(bS)에 대한 슬롯의 길이(bS_1)비이다. 또한 l_s 는 열원 폭의 반(1/2), a_0 는 평균 열속강도(heat flux intensity) t_0 는 열원의 단속시간이며, erf 는 에리함수이고, erfc 는 에리보정함수이다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 연구에서는 알루미늄계인 WA·60·K·m·V형 슷들을 사용하였으며, Fig. 1(a)에서 나타내고 있는 것과 같이 각각 슬롯의 각도(θ)를 0°, 15°, 30°, 45°로, 폭(b)을 6mm, 10mm로 변화시켰으며, 깊이를 5mm로 일정하게 되도록 공구연삭기를 이용하여 폭 6mm인 다이아몬드 슷들로 슬롯형 슷들을 가공 제작하였다. 그리고 실험에 사용된 피삭재는 한번 가공시 전체표면이 연삭될 수 있도록 실제 슷들 폭보다 적은 12.7mm가 되도록 밀링에서 제작하였다. 슬롯형 슷들의 경우 슬롯의 각도와 폭을 변화시킨 경우 Table 1과 같은 연삭유의 양이 슬롯당 피삭재면에 작용한다. 피삭재의 밀면에 열전대를 부착하기 위한 구멍을 가공시 시작되는 점에서 25mm 떨어진 지점에 직경 3mm의 드릴과 2mm 엔드밀로 머시닝 센터에서 가공을 한 뒤, Fig. 1(b)에서 보여주고 있듯이 피삭재의 표면에 열전대가 부착될 위치까지 두께를 일정하게 0.6mm가 될 수 있도록 하였다.

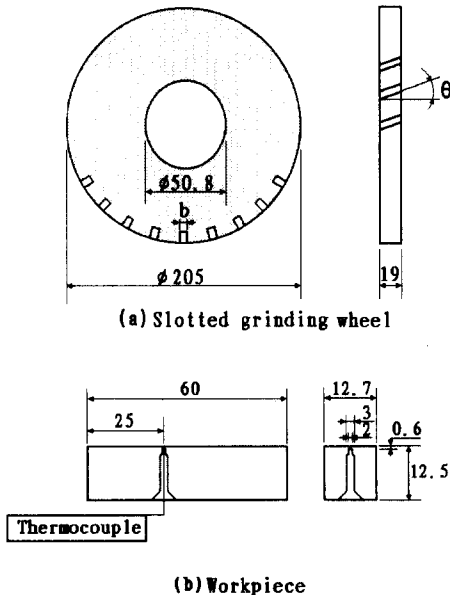


Fig. 1 Slotted grinding wheel and workpiece configuration

Table 1 Amount of grinding fluid per slot

Slot width \ Slot angle	6 (mm)	10 (mm)
0°	570 mm ³	950 mm ³
15°	590 mm ³	984 mm ³
30°	658 mm ³	1097 mm ³
45°	806 mm ³	1344 mm ³

연삭온도 측정 방법으로 열전대 센서로 열기전력 특성 중 직선성이 양호하고, 급속계의 보호관을 사용할 수 있는 특성을 갖고 있는 K형(크로메-알루멜) 열전대를 Hot spot welder로 피삭재에 부착시켜 실험을 하였다. 피삭재에 K형 열전대를 100mm로하여 앞부분을 용접한 후 표면이 부드러운 줄로서 헤드부분을 연마하여 기전력 측정시 민감도가 높도록 하였다. 그리고 여러개의 열전대가 같은 조건에서 실험이 진행될 수 있도록 하였으며, 이와 같은 방법으로 제작된 열전대를 전류 20A인 Hot spot welder를 사용하여 피삭재를 마그네틱척 위에 올려놓고 열전대를 피삭재의 구멍에 넣어 순간적인 아아크열로서 용접 한 뒤 실험을 하였다. 또한 슬롯형 연삭스틀에 의한 연삭가공시 발생하는 충격의 정도를 측정하기 위하여 피삭재 하단부분의 일정 거리에 음향방출센서를 압착하여 설치하였다. 음향방출 실험장치에 사용한 센스는 미국 Physical Acoustic사에서 제작된 것으로 100~300kHz에 가장 민감한 반응을 보이고 있는 Micro-30을 사용하였다. 또한 가공중 발생하는 탄성파의 미세한 신호를 주중폭부에서 35dB로 증폭하여, SONIX 프로그램에 의해 PC에 저장한 다음 분석하였으며, Table 2은 본 연구에 사용한 AE신호의 측정조건을 나타낸 것이다.

Table 2 Measurement conditions of AE signals

Condition	Value
Sampling rate (Mhz)	1.563
Vertical (V/Div)	0.5
Horizontal (V/Div)	128
Gate length (μ s)	2000
Number of waveform	201

3.2 실험방법

연삭가공시 발생하는 연삭온도와 음향방출신호의 특성을 파악하기 위하여 피삭재를 직접 제작한 지그에 넣어 마그네틱 중앙부분에 고정하여 가공이 되도록 하였으며,

숫돌의 균형은 발란싱장치로 균형을 맞춘 후 평면연삭기 공기에 부착하였다. 지그에 고정된 피삭재의 표면을 1차 가공하여 숫돌과의 수평을 맞추었으며, 다이아몬드 드레서로 드레싱(dressing)작업을 하여 새로운 질삭날을 만들어, 숫돌 표면의 평면도와 숫돌의 진원도를 유지하였다. 또한 숫돌입자의 초기마멸단계를 지나 정상상태에서 실험 연구를 진행시키기 위하여 날카로운 입자질삭날을 5 μm 씩 5회 가공을 하였다. 실험은 30 μm /pass씩 가공을 하면서 열전대가 밖으로 노출될 때까지 진행하였으며, 모든 경우의 온도변화에 따른 기전력 변화를 측정하였고, 동시에 음향방출신호도 측정하였다. 본 연구에서 연삭온도와 음향방출신호 측정장치를 포함한 전체 실험장치의 모식도를 Fig. 2에 나타내었고, Table 3는 실험에 사용된 가공조건들을 보여주고 있다.

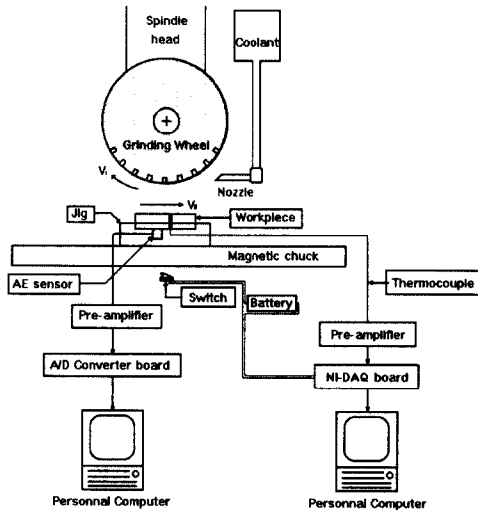


Fig. 2 Schematic diagram of experimental setup for measuring AE signals and temperature

Table 3 Experimental conditions

Condition	Value
Depth of grinding ($\mu\text{m}/\text{pass}$)	30
Slot angle ($^{\circ}$)	0° , 15° , 30° , 45°
Slot width (mm)	6, 10
Slot depth (mm)	5
Table speed (m/min)	5
Method of grinding	Down-grinding

음향방출신호 및 온도신호는 슬롯형 연삭숫돌이 센서의 상단부에 도달했을 때 측정하여 그중 5개의 신호파일을 선택하여 각 신호들의 RMS값을 얻었고, 이들 값들에 대한 평균값을 구하여 특성을 파악하였다. 그리고 항상 동일한 위치에서 측정하기 위하여 평면연삭기 이송테이블에 작은 봉을 부착하고, 레벨스위치를 평면연삭기 베드부분에 고정하여 3V의 전원을 연결하였으며, 연삭가공중 이송테이블에 부착한 봉이 베드위의 스위치를 접촉하게 될 때 1.5V 이상의 전압이 흐르게 된다. 이러한 과정에서 온도 신호측정에는 K형 열전대를 사용하여 미세한 기전력값을 200배 증폭시켜 미국 내셔널 인스트루먼트사의 NI-DAQ 보드를 통하여 LabVIEW 프로그램에 의해서 데이터를 분석하였다. 숫돌 형상 변화에 따른 연삭가공시 피삭재의 표면거칠기 상태를 각 조건의 실험중 피삭재의 마지막 1회 가공만 실행하여 측정 비교하였다. 측정은 연삭방향과 그의 직각방향으로 각각 표면거칠기를 일정한 위치에서 측정하여 그 값들을 비교 평가하였다. 본 실험연구에 사용된 피삭재는 S45C로 담금질과 뜨임열처리를 한 후 50 μm /pass씩 5회 가공 후 중앙부분을 잘라 가공표층부에서 미세조직의 변화를 금속현미경으로 관찰하였다. 담금질의 경우 840 $^{\circ}\text{C}$ 로 가열된 노(Furnace)속에서 10분간 유지한 후 수냉으로 피삭재의 경도값을 증가시켰으며, 담금질에 의해 생긴 응력집중현상과 인성을 증가시키기 위하여 행한 뜨임은 180 $^{\circ}\text{C}$ 로 가열된 노속에서 90분간 유지하여 공냉으로서 안정화를 시켰다. 피삭재 S45C재료의 담금질(Quenching)과 뜨임(Tempering)온도 및 로크웰경도값을 Table 4에 나타내고 있다.

Table 4 Heat-treatment condition for S45C work-piece

Material	Quenching temperature	Tempering temperature	Hardness [H_{Rc}]
S45C	840 $^{\circ}\text{C}$	180 $^{\circ}\text{C}$	52

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 연삭온도 특성

연삭가공중 발생하는 연삭온도는 열전대에 의한 기전력 값으로 측정되며, 열전대의 헤드부분의 크기 및 Hot spot welder에 의한 용접부의 부착정도에 따라서 데이터 값들

이 상당히 다르게 나타나고 있으며, 이들 데이터에서 보다 정확한 값들을 구하기 위해 아래의 Fig. 3과 같이 정상신호와 비정상신호를 분리하여 해석하였다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 a형상의 신호는 가공시 발생하는 기전력의 변화가 급증후 급감하는 형상으로 접촉원호와 열전대 사이의 거리가 가깝고, 열전대의 헤드부분이 작을 경우 미세한 기전력변화에 민감하게 작용하여 나타나는 형상이다. Fig. 3의 b형상의 신호는 용접시 헤드부분이 크게 형성되어 기전력의 변화 값들이 민감하지 않은 경우에 나타나는 신호이며, c형상의 신호는 용접시 열전대가 구멍의 벽면에 부착되어 온도의 변화에 상당히 둔감한 상태를 보이고 있는 경우이다. 연삭가공시 정확한 온도 해석에는 급증 후 급격히 감소하는 a형상의 온도분포가 타당하여 이 형상의 신호만을 해석하였다.

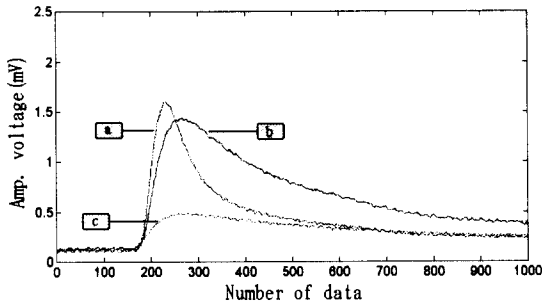


Fig. 3 Comparison of normal and abnormal signals

Fig. 4와 Fig. 5는 각각 일반형 슬롯과 슬롯형 슬롯돌가공조건에 따라 측정된 최고 온도들의 각 조건의 온도분포를 나타낸 것이다. Fig. 4는 슬롯의 슬롯 폭이 6mm인 경우 일반형 슬롯과 슬롯형 슬롯의 연삭온도 분포를 나타내고 있는 것으로서, 일반형 슬롯의 경우 열전대가 밖으로 노출되기 직전의 온도가 347°C까지 올라가고 있지만, 슬롯형 슬롯의 경우 슬롯부분에 다량의 연삭액이 가공면에 닿아 연삭온도를 저하시켜 일반형 슬롯보다 낮은 온도분포를 나타내고 있는 것을 알 수 있다. 또한 슬롯형 슬롯들의 온도분포를 비교해 보면, 슬롯의 각도가 커질수록 온도분포가 낮게 나타나고 있는데, 이는 슬롯의 각도 변화에 따라 슬롯 주위의 공기 유동차가 생겨 연삭액의 양이 달라지기 때문이며, 슬롯의 각도가 커질수록 슬롯 주위의 공기 유동차가 적다는 것을 알 수 있다. 최고온도는 일반형 슬롯인 경우 347°C까지 올라가고, 슬롯의 각도가 0°에

서 15°, 30°, 45°로 변함에 따라 온도는 316°C에서 290°C, 278°C, 269°C 순서로 떨어지고 있으며, 슬롯의 각도가 45°일 때 가장 낮은 상태를 나타내고 있다.

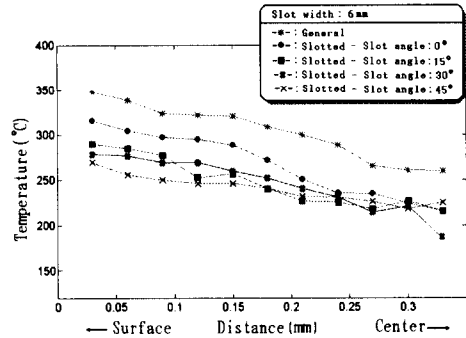


Fig. 4 Grinding temperature for different wheel shape for 6mm width

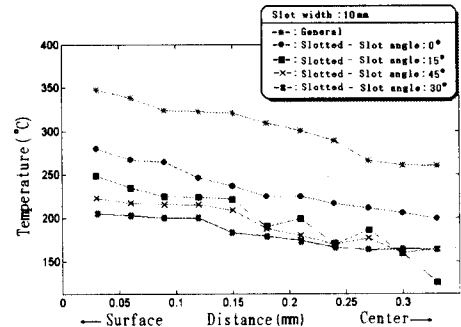


Fig. 5 Grinding temperature for different wheel shape for 10mm width

Fig. 5은 슬롯의 폭을 10mm로 증가시켰을 때 온도분포를 나타내고 있는 것으로서, 슬롯의 폭이 커진 만큼 다량의 연삭액이 가공면에 닿아 폭이 6mm일 때보다 연삭온도 저하에 효과적임을 알 수 있다. 또한 슬롯형 슬롯의 폭이 6mm일 때보다 슬롯의 각도 변화에 따라 슬롯 주위의 공기유동차이가 심해지기 때문에 온도의 격차가 더 크게 나타나고 있다. 슬롯의 폭이 6mm일 때는 각도가 커짐에 따라 연삭온도는 낮아져 홈의 각도가 45°일 때 가장 낮은 온도분포를 나타내고 있으며, 표면의 온도는 일반형 슬롯보다 약 80°C정도 낮은 296°C까지 떨어지고 있다. 그리고 슬롯의 폭을 증가시킨 10mm일 때는 슬롯의 각도

가 30°일 때 150°C정도 낮은 200°C까지 크게 떨어지고 있지만, 45°일 때는 오히려 온도가 조금 올라가는 현상이 나오고 있다. 이는 실제가공에 참여하는 슷들의 접지면적이 작기 때문에 작업 성능면에서도 떨어지고 있으며, 슷들 주위의 공기 유동차가 심해지기 때문에 온도가 상승하는 것이라고 할 수 있다. 각각의 최고 온도를 살펴보면, 일반형 슷들의 경우 347°C이며, 슬롯의 각도가 0°에서 15°, 30°, 45°변함에 따라 온도는 저하하여 279°C에서 249°C, 205°C, 223°C로 떨어지고 있으나, 폭이 6mm인 경우와는 달리 45°인 경우 온도가 증가하는 악영향을 초래하고 있다.

4.2 연삭가공시 음향방출신호 특성

Fig. 6과 Fig. 7은 각각 일반형 슷들과 슬롯형 슷들의 음향방출신호(AE)신호를 나타낸 것이다. Fig. 6은 일반형 슷들의 AE신호를 나타내는 것으로서 전체적으로 고르게 분포하는 연속형의 신호가 나오고 있으며, Fig. 7은 슬롯형 슷들의 AE신호로서 슬롯의 각도가 0°이고, 폭이 10mm일 때의 신호를 나타내고 있는 것이다. 그림에서 보여주고 있듯이 절삭과 비절삭영역이 확실하게 드러나는 단속형 신호가 나오고 있으며, 일반형 슷들과 비교했을 때 절삭영역에서는 조금 높은 피크치(Peak value)를 나타내고 있는 반면 비절삭영역에서는 거의 신호가 나타나지 않고 있다. 이는 절삭영역의 신호는 슷들의 돌출부가 가공에 들어갈 때 충격에 의한 탄성파가 증가하고 있기 때문이며, 비절삭영역은 슬롯부분에 의해 절삭이 이루어지고 있지 않기 때문에 낮은 상태를 나타내고 있는 것이다.

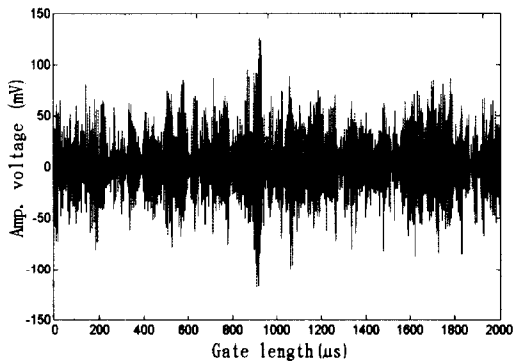


Fig. 6 Measured AE signal for general grinding wheel

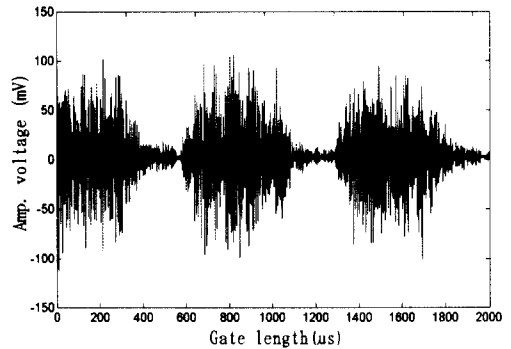


Fig. 7 Measured AE signal for slotted wheel with 0° angle and 10mm in width

Fig. 8은 일반형 슷들과 슬롯형 슷들의 AE신호값들의 RMS값을 나타내고 있는 것이다. 이것은 AE센서 상단부에 슷들과 피삭재의 접촉면이 왔을 때의 신호들 중 5개를 선택하여 각각 신호들의 RMS값을 구하고, 그 평균값으로 나타내고 있는 것으로서, 일반형 슷들에 비해 슬롯형 슷들의 AE신호 RMS값이 전체적으로 낮게 분포하고 있다. Fig. 6과 Fig. 7에서 보여주고 있듯이 일반형 슷들의 고른 연속형 신호가 나오고 있는 반면 슬롯형 슷들의 경우는 절삭과 비절삭영역이 있어 절삭영역에서는 높지만 비절삭영역에서 낮은 신호가 나오고 있으므로 전체적인 RMS값은 낮은 분포를 나타내고 있다. 또한 각도가 커짐으로서 연속적인 절삭에 가까워져 절삭영역에서도 낮은 신호가 나오고, 비절삭영역에서는 절삭영역보다 낮은 신호가 나오고 있어 전체적인 RMS값은 낮은 분포를 나타내고 있다. 그리고 폭을 10mm로 증가시켰을 경우에는 비절삭영역은 폭이 커짐으로 증가하지만, 폭이 커짐으로 슷들의 돌출부가 가공을 시작할 때 충격에 의한 탄성파의 증가로 RMS값이 6mm보다는 대체로 증가하고 있다. 또한 10mm인 슬롯의 폭에서 각도가 커지면서 연속 절삭에 가까워지기 때문에 낮아지고 있다.

Fig. 9는 측정된 음향방출신호(2000μs)에서 실제 연삭가공이 발생하는 중앙의 영역에서 음향방출신호(320μs)를 추출한 경우, AE신호의 RMS값을 나타내고 있다. 슬롯형 슷들의 경우 충격에 의한 탄성파가 증가하고 있는 것을 보여주고 있으며, 슬롯의 각도가 커질수록 연속에 가까운 절삭이 이루어지고 있으므로 절삭영역에서의 RMS값도 일반형 슷들에 근접하는 양호한 상태를 나타내고 있다. 슷들의 각도가 증가할수록 음향방출신호의 RMS값은

일반숫돌의 경우와 같은 정도로 낮아지고 있다.

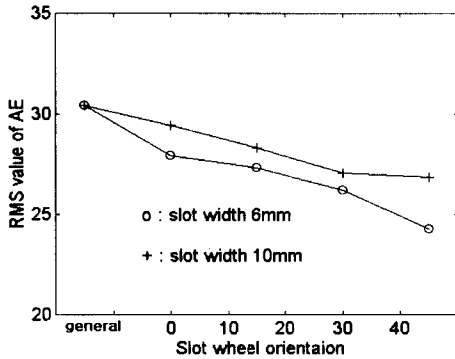


Fig. 8 RMS value of AE signals for measured region(2000µs)

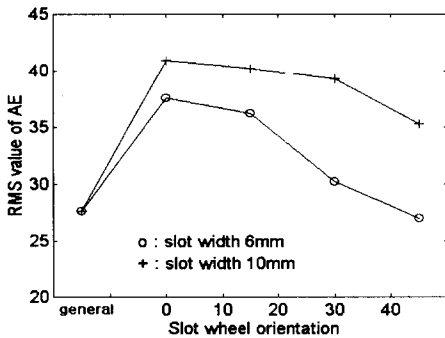
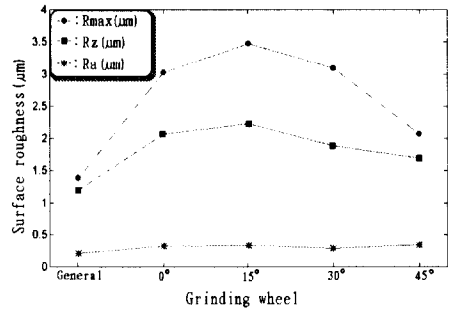


Fig. 9 RMS value of AE signals for grinding region(320µs)

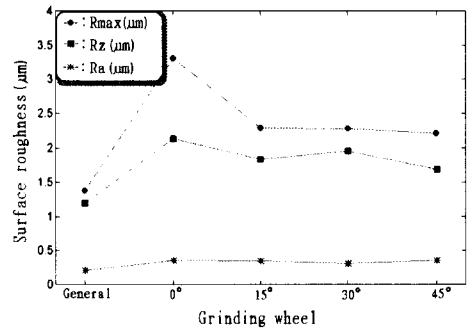
4.3 연삭가공된 면의 표면거칠기 비교

Fig. 10은 숫돌 형상의 변화에 따라 연삭가공면의 가공방향에 따라 피삭재의 중심에서 측정된 표면거칠기를 나타내고 있는 것이다. 일반형 숫돌에 비해 슬롯형 숫돌의 표면상태가 나쁘게 나타나고 있으며, 슬롯형 숫돌의 경우 단속 절삭이 이루어지고 있어 가공면에 나쁜 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다. 중심선평균거칠기값(R_a)은 슬롯의 각도 변화에 비슷한 값을 나타내고 있지만, 최대표면거칠기(R_{max}) 및 십점평균거칠기(R_z)는 슬롯의 각도가 커질수록 연삭에 가까운 절삭이 이루어지고 있어 일반형 숫돌에 근접하는 양호한 표면상태를 나타내고 있다. 그리고 슬롯의 폭이 6mm에서 10mm로 증가시킨 경우는 6mm보다 더 단속절삭이 이루어지고 있으므로 연삭온도

저하에는 상당히 효과적이지만, 표면상태는 나쁘게 나타나고 있다.



(a) Slot width : 6mm



(b) Slot width : 10mm

Fig. 10 Surface roughness parameters measured according to grinding direction

5. 결론

연삭가공시 많은 연삭액이 접촉면을 통해 피삭재면에 작용하여 연삭열을 최소화하기 위한 방법으로 숫돌의 형태를 슬롯형으로 제작하여, 연삭온도, 연삭시 피삭재 밑면에서의 음향방출신호 및 피삭재 면의 표면거칠기 등의 측정에 의하여 그 특성을 비교 평가하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 슬롯형 숫돌은 일반형 숫돌에 비해 연삭온도의 저하에 효과적이고, 슬롯의 폭을 6mm로 하였을 때는 각도 45°, 폭 10mm로 증가시켰을 경우에는 30°인 슬롯의 각도에서 최고온도의 값이 가장 낮은 상태를 나타내고 있다.
2. 음향방출신호의 RMS값 비교에서 슬롯형 숫돌이 일반

형 슷돌보다 낮게 나타났으며, 각도가 커질수록 일반형 슷돌과 비슷한 값을 얻었다.

3. 연삭가공된 면의 표면지질기는 온도분포 영역과는 반대로 슬롯형 슷돌의 표면상태가 나쁘게 나타나고 있지만, 슬롯형 슷돌의 각도가 커질수록 연속에 가까운 절삭이 이루어지므로 표면상태는 일반형 슷돌과 유사하다는 것을 확인하였다.

후 기

이 논문은 1996년도 경남대학교 학술연구조성비에 의하여 작성된 것임.

참 고 문 헌

1. 中島利勝, "研削の研究と手法", 日本精密工學會誌, 第60卷, 第1號, pp.9~12, 1994.
2. H. W. Zheng and H. Gao, "A General Thermal Model for Grinding with Slotted or Segmented Wheel", Annals of the CIRP, Vol.43, pp.287~289 1994.
3. 和井田 徹, 野口豊生, 메-데이·레자이, 須藤徹也, "通液溝付き砥石によるセラミックスとその複合材料のクリ-プフィード研削", 日本精密工學會誌, 第57卷, pp.324~329, 1991.
4. 江田 弘, 貴志浩三, 夏書强, 小倉政志, "AEを用いたフラインセラミックスの研削き裂のインプロセス検出", 日本機械學會論文集(C編), 第55卷, 第511號, pp.797~801, 1989.
5. J. Webster, I. Marinescu and R. Bennett, "Acoustic Emission for Process Control and Monitoring of Surface Integrity during Grinding", Annals of the CIRP, Vol.43, pp.299~304, 1994.
6. Joao F.Gomes de Olikveira, David A.Dornfeld, Bernhard Winter, "Dimensional Characterization of Grinding Wheel Surface through Acoustic Emission", Annals of the CIRP, Vol.43, No.1, pp.291~294, 1994.
7. 곽용길, 홍순익, 송지복, 구양, "단속연삭의 유제공급 특성", 한국정밀공학회 '97년도 춘계학술대회 논문집, pp.857~861, 1997.
8. 김강석, 광재섭, 김남경, 송지복, "연삭가공시 온도해석을 통한 열변형 예측", 한국정밀공학회 '97년도 추계학술대회, pp.19~23, 1997.
9. 細川晃, 安井平司, 佐藤公俊, "フラインセラミックスの濕式研削温度 - 硬ぜい材料の研削加工に関する研究", 日本精密工學會誌, 第58卷, pp. 507~512, 1992.
10. W. B. Rowe, S. C. E. Black, B. Mills, H. S. Oi, M. N. Morgan, "Experimental Investigation of Heat Transfer in Grinding", Annals of the CIRP, Vol.44, No.1, pp.329~332, 1995.
11. F. Engineer, C. Guo, S. Malkin, "Experimental Measurement of Fluid Flow Through the Grinding Zone", Journal of Engineering for Industry, Vol.114, pp.61~66, 1992.
12. C. Guo, S. Malkin, "Analysis of Fluid Flow through the Grinding Zone", Journal of Engineering for Industry, Vol.114, pp.427~434, 1992.
13. B. Zhu, C. Guo, J. E. Sunderland, S. Malkin, "Energy Partition to the Workpiece for Grinding of Ceramics", Annals of the CIRP, Vol.44, No.1, pp.267~271, 1995.
14. 中島利勝, 塚本眞也, 濱野裕志, 村上大介, "表面粗さの改善を促進させる熱變形速度制御研削法", 日本精密工學會誌, 第62卷, 第8號, pp.1156~1160, 1996.