

숫돌 형상 변화에 따른 연삭가공 특성에 관한 연구

(A Study on the Characteristics of Grinding due to the Different Shape of Wheel)

강신엽(경남대 대학원), 왕덕현, 김원일, 이윤경(경남대 기계공학부)

S. Y. Kang (Graduate School, Kyungnam Univ.), D. H. Wang, W. I. Kim, Y. K. Lee (Kyungnam Univ.)

ABSTRACT

An experimental study on the grinding temperature and Acoustic Emission(AE) signals due to the different shapes of wheel was conducted. The grinding characteristics by 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, Root Mean Square(RMS) values of AE signals were higher for slotted wheel rather than general one.

Key Words : Slotted wheel(홈형 숫돌), Grinding temperature(연삭온도), Acoustic Emission(음향방출)

1. 서 론

연삭가공은 고정밀도, 고품위의 제품을 얻을 수 있는 정밀가공방법으로 CBN 및 다이아몬드 숫돌의 개발에 의하여 세라믹과 같은 취성인 재료도 연삭가공이 가능하게 되었다. 하지만 세라믹 복합체인 TiC/Al₂O₃와 같은 재료의 연삭가공에서는 높은 열에 의한 미소 파괴 및 열적손상들이 나타나고 있어 연삭유의 작용이 중요하다.

연삭가공은 다수의 연삭입자가 비록 미세한 칩을 배출하지만 음의 윗면경사각을 가질 뿐 아니라 여유면이 마멸된 평단면으로 피삭재에 접촉하여 마찰하게 되는 과도 절삭과정을 거치기 때문에, 비절삭저항보다 수십배 이상의 비연삭저항을 나타내고 있다. 또한 연삭숫돌의 원주속도는 일반 절삭공구의 절삭속도의 10~100배로 고속이기 때문에, 단위체적당 연삭과정에서 발생하는 연삭열은 절삭의 경우에 비하여 월등하게 많다.

Matsuo¹⁾ 등은 연삭력과 접촉열의 응력분포, 연삭온도들을 크리프-피드 연삭으로 폭이 좁은 숫돌의 연삭조건들을 변화시키면서 연구하였다. 鄭²⁾ 등은 파인 세라믹의 가공에 일반 형태보다 슬롯형 숫돌이 크리프-피드 평면연삭에서 연삭에너지, 연삭저항, 연삭동력, 연삭비 등이 우수한 성능을 나타냄을 파악하였다. 한편, Zheng³⁾ 은 숫돌의 형상을 변화시켰을 경우 열적방정식을 해석하였으며, 크리프-피드연삭에서 연삭열을 최소화하기 위한 방법으로 헬리컬기어와 평치차형상의 숫돌을 제작하여⁴⁻⁵⁾ 많은 양의 연삭액이 접촉면에 들어가도록 하여, 이때 연삭액의

두께를 전기저항으로 측정하여 일반숫돌과 비교, 평치차 형상에 공기 차단막을 한 숫돌의 경우가 가장 우수한 성능을 가짐을 실험적으로 연구하였다. 和井田⁶⁾ 등은 새로운 구조의 숫돌을 제작하여 숫돌 내부로 연삭액을 공급하고, 원심력에 의해 연삭면에 연삭액을 공급하므로 파인 세라믹스의 가공 및 잔류응력 측정에 대한 연구를 하였다. 江田⁷⁾ 와 Webster⁸⁾ 등은 AE센서를 이용하여 연삭가공중의 여러 현상에 대해 연구하였으며, 細川⁹⁾ 등은 연삭가공중 광전소자를 피삭재에 심는 방식인 적외선복사온도계로 연삭온도를 측정하였다.

연삭숫돌의 형상 변화는 많은 양의 연삭유가 연삭면에 작용하므로 냉각작용을 극대화시켜 열적손상(Thermal damage) 문제를 향상시킬 수 있다. 본 연구에서는 알루미늄(WA)계 숫돌을 사용하여 숫돌면에 임의의 각도와 폭으로 홈을 만들어 연삭가공중 열전대(Thermocouple)에 의하여 온도분포를 측정하여 연삭유에 의한 영향을 파악하고자 한다. 또한 피삭재 밀면에 음향방출(Acoustic emission)센서를 부착하여 숫돌형상 변화에 따른 음향신호를 얻어 그 특성을 해석하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

연삭온도가 높아지면 피삭재의 열팽창 때문에 치수정밀도가 저하하며 다듬질면에 경화현상, 연삭연소, 연삭균열 등의 손상을 유발하여 품질을 악화시킨다. 또한 가공면에 변질층의 생성 및 높은 연삭온

도가 문제가 되므로 연삭열의 발생기구 및 그것에 미치는 가공조건의 영향을 파악함으로써 개선할 수 있다.

본 실험에 사용한 연삭기는 유일공업주식회사의 YGS-52A형의 정밀연삭반으로서 연삭숫돌축의 회전수는 3460rpm이며, 숫돌은 알루미늄계인 $WA \cdot 60 \cdot K \cdot 7 \cdot V$ 이고, 치수는 $205 \times 19 \times 50.8$ 인 숫돌을 사용하여 Fig. 1(a)와 같이 $\theta(0^\circ, 15^\circ, 30^\circ)$ 의 각도를 주었고, 폭이 6mm, 10mm, 깊이 5mm의 홈을 가공하여 연삭실험을 수행하였다.

연삭온도와 음향방출신호들의 특성을 파악하기 위하여, 센서들은 Fig. 1(b)에서 보는 바와 같이 피삭재의 하단부 일정 거리에 직경 5mm, 10mm의 구멍을 가공하고 K형 열전대(Thermocouple)와 AE센서를 부착하였다. AE실험장치는 Physical Acoustic Corp.에서 제작된 장치를 사용하였으며, 신호입력부에는 100~300kHz에 가장 민감한 반응을 보이고 있는 Micro-30센서를 사용하여 연삭가공중 발생하는 탄성파의 미세한 신호를 주증폭부에서 29dB(약500배)로 증폭하여, SONIX 프로그램에 의해 저장하였다. Table 1은 본 연구에 사용한 AE측정장치의 시스템을 나타내고 있다.

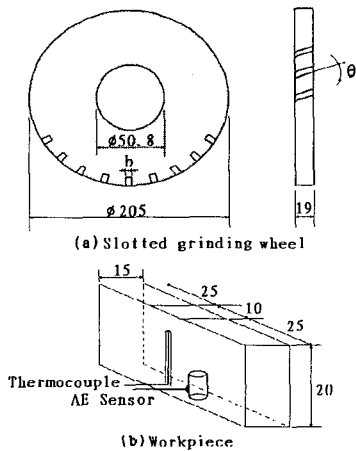


Fig. 1 Slotted wheel and workpiece configuration

Table 1 Conditions of AE measuring system

Sampling rate	1.563 [Mhz]
Vertical	0.5 [V/Div]
Horizontal	128 [V/Div]
Gate length	2000 [μ s]
# of waveforms	201

열전대에 의한 온도 측정은 Calibration시 직선성이 양호하고, 금속 증기에 의해서 열과되는 수도 적으며, 금속계의 보호관을 사용할 수 있는 등의 많은 장점이 있는 K형(크로멜-알루멜) 열전대를 사용하였다. 가공 중에 발생하는 열에 의해 미세한 기전력 값이 발생하고, 1000배 증폭시켜서 LabVIEW에 의해서 PC에 저장하였다.

One-pass가공을 하기 위해서 숫돌의 폭보다 작게 일반강($60(L) \times 15(W) \times 20(H)$)을 사용하여 밀링에서 피삭재를 제작하고, 피삭재의 밑면에 AE센서와 열전대를 삽입하기 위해 양끝에서 25mm의 지점에 AE센서용으로 직경 10mm, 깊이를 4mm, 열전대용으로 표면 접촉점에서의 측정을 위해서 직경 5mm에 깊이를 19mm로서 Fig. 1(b)와 같이 가공하였다.

숫돌 형상 변화에 따른 연삭실험을 실행하기 위하여, 공구연삭기에서 다이아몬드 숫돌($70 \times 6 \times 13$)로 숫돌면에 $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ$ 의 각도와 6mm, 10mm의 폭으로 Fig. 1에 나타난 것처럼 형상 가공하여 다음과 같은 방법으로 반복 실험을 하였다.

첫째로, AE센서부와 열전대를 피삭재에 삽입하고, 피삭재의 밑면에서 밀어 접촉시켜 센서의 끝부분이 밀착할 수 있도록 하여 연마바이스로서 고정시키며, Magnetic chuck 위의 중앙 부분에 표시를 하여 반복 실험에서 같은 위치에서 가공하게 하였다. 피삭재의 표면을 1차 가공하여 숫돌과 수평을 맞추고 숫돌을 교환한다.

둘째로, 숫돌의 균형이 잡히지 않았을 경우 심한 진동이 발생하여 피삭재의 가공면에 떨림자리(chatter marks)가 나타나므로, 숫돌을 밸런스장치(YB-B)로 균형을 잡아, 연삭가공의 정밀도를 높이며 또한 숫돌의 파괴를 방지하여 양호한 실험 결과를 얻도록 한다.

셋째로, 균형을 잡은 숫돌을 연삭기에 부착하여 다이아몬드 드레서(Diamond dresser)로서 드레싱(dressing)작업을 수행하여 새로운 절삭날을 형성하고, 숫돌 표면의 평면도와 숫돌의 진원도를 유지한다.

마지막으로 가공에 앞서 날카로운 입자 절삭날 상태에서 벗어나, 즉 초기마멸단계를 지나서 정상마멸 상태에 도달할 때까지 수 μ m씩 10회 가공을 한 후 Table 2와 같은 실험조건에서 연삭실험을 행하였다.

연삭실험중 AE센서에 의한 연삭저항의 간접측정과 온도측정을 위한 전체 실험장치 시스템을 Fig. 2에 나타내었다. Table 2의 가공조건에 따른 신호들

동일한 위치 및 상태에서 측정하기 위하여 다음 같은 방법으로 신호를 측정 분석하였다.

Table 2 Experimental conditions

Depth of grinding	0.03, 0.04, 0.05 [mm]
Slot angle	0°, 15°, 30°
Slot width	6, 10 [mm]
Slot depth	5 [mm]
Table speed	4 [m/min]
Method of grinding	Down-grinding

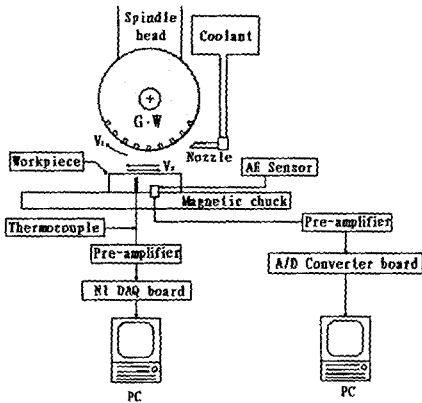


Fig. 2 Experimental setup for temperature and AE measurement system

AE신호의 경우 슷돌이 센서의 상단부에 왔을 때의 신호를 파악하기 위하여 Table 1과 같은 조건하에서 측정하였고, 측정 후 계산에 의해 측정된 파일들중 센서의 상단부에 왔을 때 신호들의 몇 개의 파일을 선택하여 특성적인 값들을 구하였다. 온도 측정에는 K형 열전대를 사용하며, 미세한 기전력값을 1000배 증폭시켜서 NI DAQ board에 의해서 측정하였다. 동일한 실험을 실행하기 위하여 플라스틱 봉에 작은 구멍을 가공하고 열전대를 삽입해서 고정하여, 측정된 기전력값을 온도로 환산해 비교할 수 있도록 하였다. 또한 좌우이송 테이블에 작은 봉을 설치하고, 전후이송 테이블에 레벨스위치를 고정시켜 3V 전원을 연결하고 봉이 스위치위를 지날 때 LabVIEW 프로그램에서 전원을 받아 신호의 측정을 시작하여 PC에 저장하였다.

3. 실험 결과

3.1 연삭온도

Fig. 3은 홈의 폭이 6mm, 연삭깊이가 0.04mm일 때 홈의 각도가 0°, 15°, 30° 인 경우 측정된 온도

의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 일반스틀과 비교했을 때 온도의 저하가 현저함을 알 수 있고, 홈의 각도에 따른 온도의 변화는 2~5°C 정도의 차이를 나타내고 있으며, 홈의 각도가 30° 일 때 가장 낮게 나타나고 있다. 이는 형상 변화된 슷돌의 주의 공기의 유동이 0°, 15° 에 비하여 적어 다량의 연삭유가 연삭면에 삽입되기 때문인 것 같다.

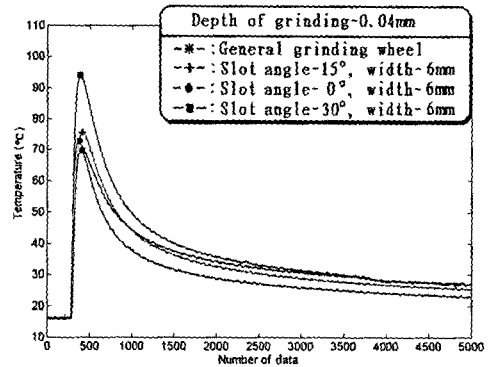


Fig. 3 Grinding temperature for different wheel shapes by 6mm width slotted wheel

Fig. 4는 홈의 폭이 10mm일 때의 홈각도가 0°, 15°, 30° 인 경우 온도의 변화를 측정한 것이다. Fig. 3의 폭이 6mm인 경우와 비교해볼 때 비슷한 경향을 나타내나, 홈의 폭이 넓은 조건들에서 연삭유가 다량으로 연삭면에 들어가 연삭온도를 낮게 하는 것을 알 수 있다. 또한 일반스틀에 비해 형상 변화에 의한 슷돌에서 온도가 현저히 낮음을 알 수 있고, 홈의 폭이 6mm때보다도 슷돌의 주위의 공기유동이 심하게 되어 홈각도의 변화에 따라 5~15°C까지 크게 변화하고 있다.

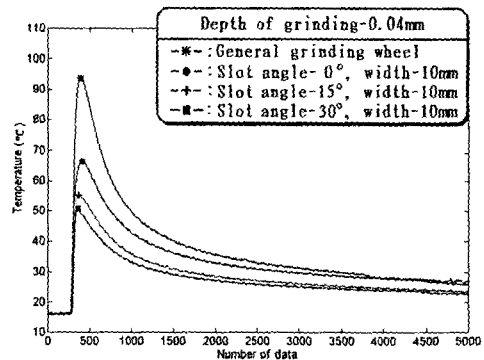


Fig. 4 Grinding temperature for different wheel shapes by 10mm width slotted wheel

Fig. 5는 홈의 폭과 각도에 따른 최고온도의 변화를 연삭깊이에 의해 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 일반숫돌에 비해 홈형 숫돌의 최고연삭온도가 낮아짐을 알 수 있다.

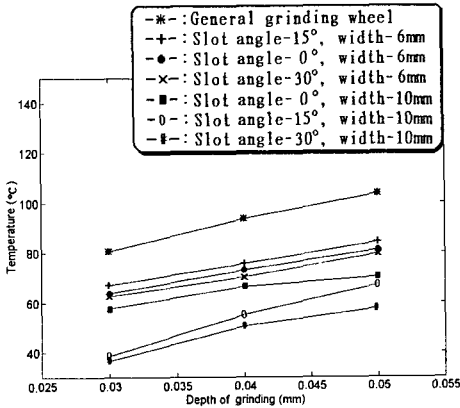


Fig. 5 Maximum temperature for different wheel shape

Fig. 7은 연삭깊이가 0.04mm일때 일반숫돌의 AE 파형을 나타내고 있다. 전체적으로 고른 분포를 나타내고 있다.

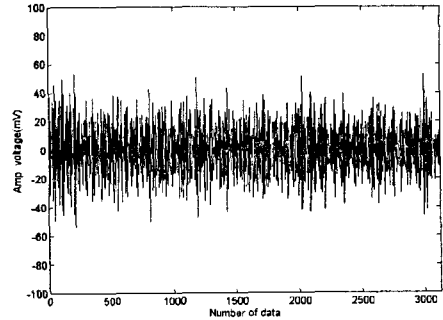


Fig. 7 Measured AE signal for general wheel

Fig. 8은 연삭깊이가 0.04mm인 경우 홈의 각도가 0° 이고 홈의폭이 10mm일 때의 측정된 AE신호의 파형을 나타내고 있다. 절삭과 비절삭의 영역이 확실하게 들어나고 있으며, Fig. 7과 비교했을 때 절삭부분의 신호가 높게 나타나고 있다.

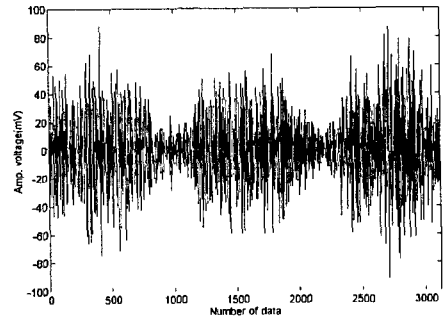


Fig. 8 Measured AE signal for slotted wheel

3.2 음향방출신호

Fig. 6은 가공중 측정된 1개의 파형의 길이가 2000μs인 200개의 파일들중 센서의 위부분에 숫돌이 있을때의 파형중 3개의 신호를 분석하여 RMS값의 평균값을 표시한 것이다. 신호의 자체가 불규칙하게 나오고 있다는 것을 알 수 있지만, 온도와는 반비례하는 경향을 보이고 있다. 이는 일반연삭은 연속적인 절삭이 이루어지고 있어 신호가 고르게 분포하고 있는 반면, 홈형숫돌의 경우 단속적인 절삭, 즉 홈부분에 의해 신호 떨어지고는 있으나, 홈의 끝부분이 공작물과 접촉할 때 충격에 의해 탄성파가 증가하고 있기 때문에 RMS값이 일반숫돌에 비해 크게 분포하고 있다.

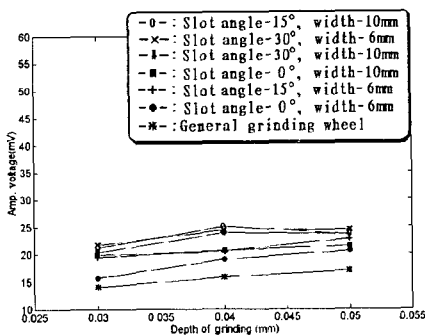


Fig. 6 RMS values of AE signal for different wheel shapes

Fig. 9와 Fig. 10은 각각 일반숫돌과 홈형숫돌에 의하여 연삭가공을 실행한 경우 AE신호들의 스펙트럼 분석값들이다. Fig. 9에서 보는 것처럼 일반숫돌에서는 $w/2\pi$ 의 값이 0.09 및 0.11 부근에서 약간 크게 나타나고 있다. 한편 홈형숫돌에 의한 AE신호의 파워스펙트럼분석에서는 $w/2\pi$ 의 값이 0.09 및 0.11에서 일반숫돌에 비하여 더 크게 나타나 탄성파의 영향이 크다는 것을 알 수 있다. 또한 $w/2\pi$ 의 값이 0.04~0.06 근처에서 분포값들이 존재하는데 이 값들은 홈형숫돌에서 숫돌면보다 홈이 작용하는 비연삭과정에 의하여 발생하는 주기이다.

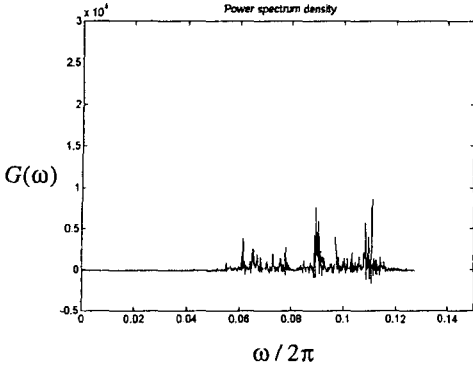


Fig. 9 Power spectrum density of AE signal for general wheel

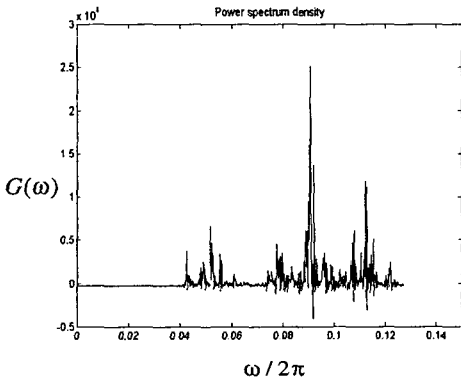


Fig. 10 Power spectrum density of AE signal for slotted wheel

4. 결 론

연삭액을 다량으로 집축면에 침투시키므로써 연삭 열에 의한 열적손상을 줄이기 위한 목적으로 제작한 WA계의 흠형 숫돌을 사용하여 일반숫돌과 비교실험을 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 본 연구에서 제안한 흠형숫돌이 일반숫돌에 비해 연삭온도의 저하에 효과적이다.
2. 흠의 각도 및 폭에 따라 연삭온도의 변화에 영향을 미치며, 각도 30°, 폭 10mm일때 연삭시 도달하는 최고온도의 값이 가장 낮은 상태이다.
3. 일반숫돌과 흠형숫돌의 AE신호들의 RMS값에서는 최고온도 분포와는 반대의 경향이 나오고 있으며, 흠의 각도는 큰 영향을 주지 않고 있다.

1. T. Matsuo and Y. Ohbuchi, "Slot Grinding of Steels and Ceramics with Superabrasive Wheels", Annals of the CIRP, Vol.37, pp.315~318, 1988.
2. 鄭潤教, 稻崎一限, 松井敏, "ファインセラミックスのクリーブフィード研削", 日本機械學會論文集(C編), 53卷, 491号, pp.1571~1576, 1986.
3. H. W. Zheng and H. Gao, "A General Thermal Model for Grinding with Slotted or Segmented Wheel", Annals of the CIRP, Vol.43, pp.2287~289 1994.
4. 孫明煥, 金台根, "크리프 피드研削에서 研削面에의 研削液 浸透에 관한 研究", 高麗大學校 生技研論文集, 第2號, pp.25~32, 1987.
5. 松井正己, 庄司克雄, 廚川常元, "砥石・工作物接觸弧内における研削油齊の供給狀態 - クリーブフィード研削に関する研究(第1報)", 日本精密工學會誌, Vol. 49, pp.772~777, 1983.
6. 和井田 徹, 野口豊生, 메-ディ・レザイ, 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ーブフィード研削", 日本精密工學會誌, Vol. 57, pp.324~329, 1991.
7. 江田 弘, 貴志浩三, 夏書強, 小倉政志, "AEを用いたファ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), 55卷, 511號, pp.797~801, 1989.
8. 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.
9. 細川晃, 安井平司, 佐藤公俊, "ファインセラミックスの濕式研削溫度 - 硬せい材料の研削加工に関する研究", 日本精密工學會誌, Vol. 58, pp.507~512, 1992.