

평면연삭시 복합검출방법에 의한 슷돌마멸 예측

왕 덕현, 김 원일(경남대 기계공학부), 신 경오(경남대 대학원 기계공학과)

Prediction of Wheel Wear when Surface Grinding by Dual Detection Methods

D. H. Wang, W. I. Kim (Kyungnam Univ.) and K. O. Shin (Kyungnam Univ., Graduate School)

Abstract

An experimental study on the prediction of grinding wheel wear by dual detection methods was conducted by the laser displacement and acoustic emission(AE) systems. The laser displacement sensor was located above the head of the grinding wheel and the AE sensor was set under the workpiece, where the wheel wear condition can be detected. It was found that the dual detection methods by laser displacement system and AE system made it possible to predict the wheel wear. From the experiments, the root mean square(RMS) values both methods was found to be proportional to the grinding wheel wear.

1. 서 론

기계부품이 제품으로 완성되기 위해서는 많은 공정을 거치며 최종 마무리 단계로 표면의 정밀도 등을 높이기 위하여 연삭가공이 실행된다. 일반적으로 연삭가공이 진행됨에 따라 슷돌의 마멸이 발생하여 절삭저항력이 증가하고, 어느 한 계치를 넘으면 제품의 정밀도가 급격히 떨어지게 되므로, 적절한 시기에 연삭스�돌을 재드레싱하는 시기를 잡는 것이 피삭재의 불량률을 낮출 뿐만

아니라, 생산성을 높여준다. 연삭가공중 슷돌마멸이나 파손검출이 절실히 요구되고 있다.

이러한 가공면의 품질에 영향을 미치는 슷돌면의 상태를 검출하기 위해 많은 연구가 있어 왔으며, 간접적인 방법으로는 Dornfeld⁽¹⁾가 음향방출신호로서 슷돌면의 눈막힘을 추정하였고, 또한 Inasaki⁽²⁾는 드레싱시 발생하는 음향방출신호값을 이용해 연삭가공시 슷돌의 손상상태를 추정하였다. 직접적인 방법으로 Murray⁽³⁾는 레이저 측정 장치의 반사강도를 이용하는 방법으로 슷돌마멸을 관찰하였으며, Matsuo⁽⁴⁾는 레이저 변위 측정 장치로 슷돌의 상태를 관찰하였다. 또한 김⁽⁵⁾은 와전류 센서로서 연삭가공시 슷돌의 상태를 감시하여 드레싱 시기를 추정하였다.

본 연구에서는 평면 연삭가공시 슷돌의 마멸 상태를 예측하기 위하여 피삭재 밀면에 음향방출 센서를 부착하고 또한 슷돌헤드 위에 어느 정도 떨어진 위치에 레이저 변위 측정센서를 설치하여, 복합검출 방법으로 각각 신호들을 동시에 계측하여 그 특성들을 파악하고자 한다.

2. 이론해석

2.1 음향방출신호

음향방출(Acoustic Emission)신호 측정장치는 AE센서를 중심으로 한 입력부와 센서에 의하

여 검출된 미약한 신호를 증폭하는 증폭부, 그리고 각종 신호 처리를 수행하는 신호처리부로 구성되어 있다. 센서에 의하여 검출된 연삭음의 파형은 전기적 신호로 변환되지만, 초기에 검출된 신호는 일반적으로 μV 혹은 mV 정도의 매우 미약한 크기를 지니고 있으므로, 적절한 신호처리를 위해서는 수천 또는 수만 배의 증폭과정이 요구된다. 일반적으로 음향방출신호는 dB로 표시하며 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$dB = 20 \log(V_0/V_1) \quad (1)$$

여기서, V_1 와 V_0 는 각각 증폭 전후의 AE신호의 크기를 나타낸다.

입력부와 증폭부를 통과한 아날로그형의 AE신호는 각종 신호처리를 위한 A/D 변환기에 의하여 디지털로 전환하여, 이 데이터를 PC에 저장한 후 그 특성을 파악할 수 있다.

2.2 음향방출신호의 실효전압치(RMS)

고체의 변형 및 파괴는 미시적으로 각각의 현상들의 단속적으로 발생하여 이루어지며, 소성 변형에 있어서는 연속적으로 발생하는 특수한 경우도 있다. 또한, 마멸이나 마찰과정에 있어서는 연속형의 음향방출신호가 발생한다.

실효 전압치는 이러한 신호들을 효율적으로 이용할 수 있는 인자가 되며, 다음의 식으로 표시할 수 있다. 즉, 시간의 변화, t 를 기준으로 한 음향방출신호의 파형을 $v(t)$ 로 가정하여 실효 전압치를 나타낸 것이다.

$$V_{RMS} = \left\{ \int_0^t v^2(t) dt \right\}^{1/2} \quad (2)$$

2.3 파워스펙트럼(Power spectrum)분석

주파수 분석방법으로는 측정된 음향방출의 전압값을 주파수영역에서 자기상관관계 함수와 파워스펙트럼 밀도함수를 알아내어 그 특성을 파악할 수 있는데, 파워스펙트럼 밀도함수는 다음과 같이 정의된다.

$$G(\omega) = \left(\frac{2}{\omega} \right) \int_0^{\infty} R(\tau) \cos(\omega \tau) d\tau \quad (3)$$

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 실험은 슷돌의 마멸상태를 측정하기 위하여 실험장치로 유일공업주식회사의 YGS-52A 형의 평면연삭기에서 이용하여 실험을 수행하였다. 슷돌의 마멸상태의 측정과 혹은 연삭저항의 간접 측정을 위하여 레이저 변위 측정장치와 음향방출 측정장치를 동시에 사용하였다.

레이저 변위 측정장치는 Keyence(Japan)에서 제작한 것으로서 변위센서는 30mm 기준높이에서 $\pm 500\mu m$ 의 측정범위를 $0.2\mu m$ 분해능으로 측정이 가능한 센서를 사용하였다.

음향방출 측정장치는 Physical Acoustic Corp.(U.S.A.)에서 제작된 것으로 사용하였으며, 신호입력부에서는 100~300kHz에 가장 민감한 반응을 보이고 있는 Micro-30센서를 사용하였다. 음향방출센서는 수 μV ~mV로 매우 낮은 신호를 출력하기 때문에 주증폭부에서 가공후 발생하는 연삭음을 35dB로 증폭하여 NI-DAQ board(U.S.A.)에 의해 컴퓨터에 저장하였다. Fig. 1은 본 실험에 사용된 레이저 변위 측정장치와 음향방출 측정장치를 포함한 실험모식도를 나타내고 있다.

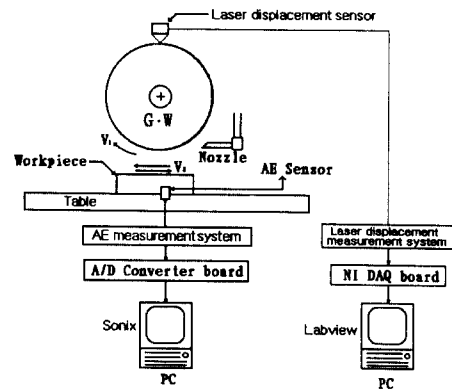


Fig. 1 Experimental setup of dual detection systems

3.2 실험방법

본 실험에서 연삭숫돌의 속도는 주축의 회전수를 3460rpm로 일정하게 하였으며, 이송속도는 10m/min로 고정하여 실험을 수행하였다. 본 실험에 사용된 숫돌은 WA100K7V이고 치수는 205×19×50.8[mm]인 숫돌을 사용하였다. 연삭깊이량을 10 μ m/pass씩 증가시켜 피삭재의 총제거누적 깊이량을 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400 μ m로 증가시켰으며 트레이버스(traverse)가공형 연삭가공을 수행하여 연삭숫돌의 마멸 상태를 파악하고자 하였다. 본 실험에 사용된 피삭재는 일반 구조용강인 SM45C를 사용하였으며, 크기는 숫돌 폭보다 작게 60(L)×12.7(W)×12.5(H) [mm]로 밀링가공기에서 제작하였다. Table 1은 연삭가공의 실험조건을 나타내고 있다.

Table 1 Experimental conditions for grinding

Grinding Machine	Surface grinding machine Model type YGS-52A
Workpiece	SM45C
Grinding Wheel	WA100K7V 205×19×50.8 [mm]
Cutting Type	Down & Up Cutting
Grinding Speed	3460 [rpm]
Table Speed	10 [m/min]
Depth of Cut	10 [μ m]
Dressing	Dresser : Single point type diamond dresser Depth of Cut : 20 μ m

레이저변위센서에 의한 신호취득시 sampling rate는 8000[samples/sec]를 사용하였으며, 측정된 전압값에 대한 레이저 변위 길이는 1[V]가 100 μ m에 보정값을 갖고 있다. Table 2는 레이저 의한 측정조건들을 나타내고 있다.

Table 2 Experimental conditions for laser displacement system

Sampling rate	8000 [samples/sec]
Calibration	100 [μ m] \rightarrow 1 [V]
Number of data points	2000

Table 3은 본 연구에 사용한 음향방출신호의 측정조건을 표시한 것으로 Gate length는 1000 (μ s)로 하였으며, 파형의 수(Number of waveform)를 201로 하여 가공의 시작에서 끝나는 시점까지의 모든 신호를 취득할 수 있도록 하였다.

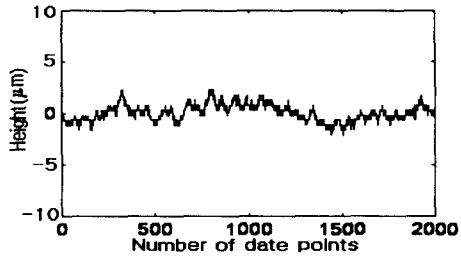
Table 3 Experimental conditions for AE system

Sampling rate	0.7813 [MHz]
Vertical dim.	0.5 [V/Div]
Horizontal dim.	128 [V/Div]
Gate length	1000 [μ s]
Number of waveform	201

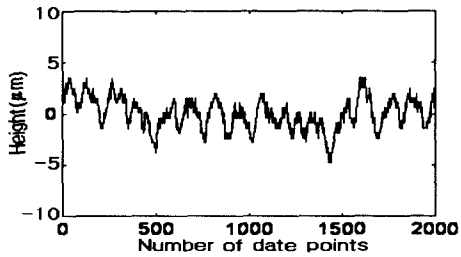
레이저 변위센서는 진동을 최소화하기 위해 지그를 만들어 숫돌헤드 위에 고정시키고, 음향방출센서는 피삭재 밑면에 완전히 밀착할 수 있도록 지그를 제작하여 센서의 하단에 강한 스프링을 넣어 음향방출센서가 빠지지 않게 볼트로 고정하였다. 또한 연삭숫돌의 균형을 맞추고 다이아몬드 드레서로서 숫돌 표면의 평면도와 숫돌의 진원도를 유지하였다.

4. 결과 및 고찰

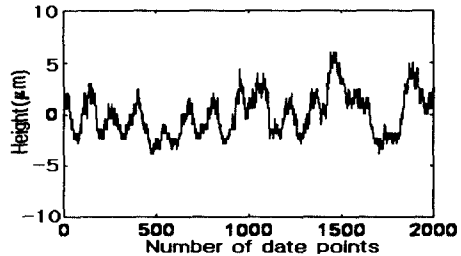
레이저 변위 측정장치에서 직접 취득한 숫돌의 마멸 상태에 관한 신호들을 Fig. 2에 나타내었다. Fig. 2(a)는 드레싱한 직후 초기상태에서 측정된 레이저 변위값을 나타낸 것이며 그 크기는 최대 2.23 μ m값을 나타내고 있으며, Fig. 2(b)는 100 μ m 가공 후에 상태를 나타낸 것으로 초기 마멸상태이므로 진폭과 간격이 조금 넓어졌음을 알 수 있다. Fig. 2(c)는 200 μ m 가공한 다음 측정된 것으로서 초기 드레싱상태보다 입자탈락이 발생하여 간격이 넓어졌음을 알 수 있다. Fig. 2(d)는 400 μ m 가공했을 때의 상태로서 숫돌의 눈막힘과 입자의 탈락으로 요철의 진폭이 커지고 숫돌면의 위치에 따라 요철간격의 차가 발생하고 있음을 알 수 있다.



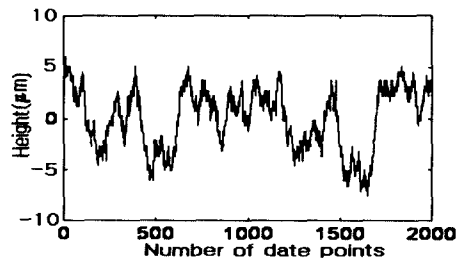
(a) After dressing



(b) Total removal depth, 100 μm



(c) Total removal depth, 200 μm



(d) Total removal depth, 400 μm

Fig. 2 Measured laser displacement signals for increased removal depth

Fig. 3은 측정된 레이저 변위 신호 데이터들의 RMS값을 나타낸 것이다. 연삭가공이 계속 진행됨에 따라 슛들의 변위 신호들의 RMS값이 증가하는 경향을 나타내고 있다. 그러나, 연삭깊이가 250 μm 일 때 약간 감소하고 있으며, 이것은 입자가 처음에는 입자날의 마멸이 증가하면서 입자날의 면적이 점점 증가하나 점차 눈막힘과 함께 입자날이 줄어들기 때문인 것으로 생각된다.

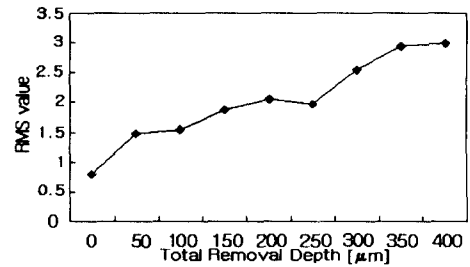
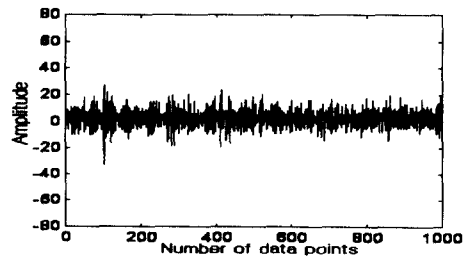
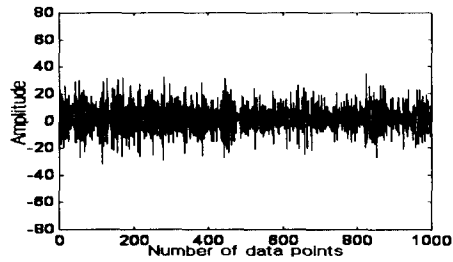


Fig. 3 RMS value of laser displacement signals

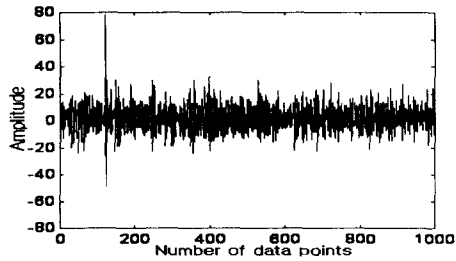
Fig. 4는 연삭가공이 진행함에 따라 피삭재에서 측정된 음향방출신호들을 나타낸 것이다. Fig. 4(a)는 드레싱 직후 처음 10 μm 깊이 연삭가공시 측정된 음향방출신호로 안정된 파형을 유지하고 있으며, 파형의 기복도 나타나지 않고 있다. Fig. 4(b)에서 Fig. 4(d)는 연삭가공이 계속되어 슛들면에 부분적인 연삭 눈막힘 현상이 초래되어 Fig. 4(a)상태와 비교하여 정상 연삭이 유지되지 않는 한편, 절삭 작용이 원활하지 못하여 피삭재에서 측정된 음향방출신호가 증가됨을 알 수 있다.



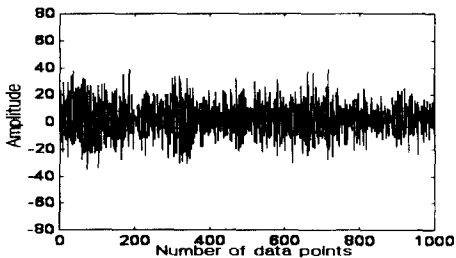
(a) Total removal depth 10 μm



(b) Total removal depth, 100 μm



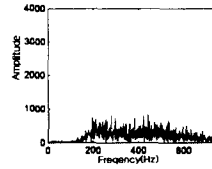
(c) Total removal depth, 200 μm



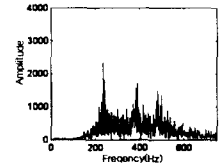
(d) Total removal depth, 400 μm

Fig. 4 Measured AE signals for increased removal depth

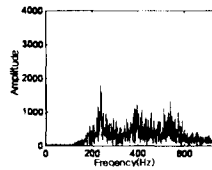
Fig. 5는 음향방출신호를 스펙트럼분석을 나타내고 있다. 주파수 영역이 200~600Hz에 걸쳐 넓은 범위에 분포하고 있으며, 250Hz일 때 가장 큰 주파수 영역이 나오고 있다. 누적 깊이량이 증가할수록 주파수 영역대는 같게 나오고 있지만, 가공이 될수록 큰 주파수 영역이 나오고 있음을 알 수 있다.



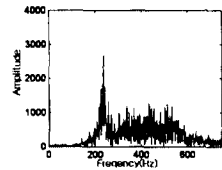
(a) After dressing



(b) Total removal depth, 100 μm



(c) Total removal depth, 200 μm



(d) Total removal depth, 400 μm

Fig. 5 Power spectrum density of AE signals

Fig. 6은 음향방출신호의 RMS값을 나타낸 것이다. 가공횟수가 증가할수록 슛돌마멸이 지속적으로 일어남을 알 수 있다. 10 μm 부터 100 μm 까지는 완만하게 상승한다. 이 결과는 연삭 슛돌의 마멸이 약간씩 증가하면서 부분적으로 슛돌 입자가 탈락되고 자생 절삭날이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 총 제거 누적량이 150 μm 시점에서는 급증하다가 다시 저하되는 현상은 슛돌 가공면 전체에 있어서 마멸이 상당히 이루어지는 한편, 칩 포켓에 과도하게 메워져 있던 칩들로 인하여 칩핑 작용보다는 과도하게 발생하는 미끄럼 작용으로 인하여 정상 연삭이 이루어지지 않다가 자생 절삭날 과정이 이루어져 연삭 슛돌 가공면 전체에 걸쳐서 새로운 절삭 날끝이 돌출되어지기 때문이라고 생각한다.

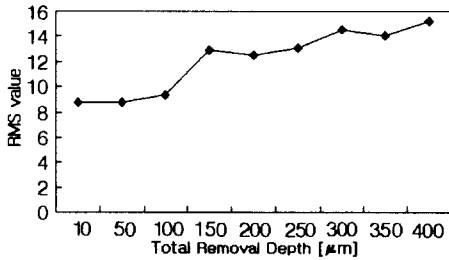


Fig. 6 RMS values of measured AE signals

4. 결 론

평면 연삭가공중 피삭재의 정밀도에 직접 영향을 주는 슷들면의 마멸상태를 예측하기 위하여, 슷들헤드 위에 레이저 변위 센서를 설치하고 피삭재 밑면에 음향방출 센서를 부착하여 신호들을 측정후 평가하여 슷들의 마멸정도를 측정할 수 있었다. $10\mu\text{m}/\text{pass}$ 의 절삭 깊이량을 가하는 트레버스 방식의 연삭 가공에 있어서 $250\mu\text{m}$ 일때 급속히 슷들마멸 현상이 뚜렷하게 나타남을 알 수 있었다. 레이저변위측정센서와 음향방출센서를 이용한 복합검출방법으로서 가공 공정중의 연삭 상태를 효율적으로 진단할 수 있으며, 재드레싱 시기를 적절히 설정할 수 있다.

참고문헌

1. D. Dornfeld and H. G. Cai, "An Investigation of Grinding and Wheel Loading Using Acoustic Emission," Transactions of the ASME, Vol. 106, pp. 28-33, 1984.
2. I. Inasaki, "Monitoring of Dressing and Grinding Processing with Acoustic Emission Signals," Annals of the CIRP, Vol. 34, No. 1, pp. 277-280, 1985.
3. M. Murray, "Exploratory Investigation of Laser Methods for Grinding Research," Annals of the CIRP, Vol. 22, No. 1, pp.

137-139, 1973.

4. T. Matsuo, M. Tonge and K. Iwasaki, "In-Process Measurements of Progressive Variation for Grinding Characteristics in Constant-Load Heavy Grinding," Annals of the CIRP, Vol. 42, No. 1, pp. 401-404, 1993.
5. 김선호, 안중환, "연삭가공에 있어 비가공 시간 단축에 관한 연구," 한국정밀공학회지 제14권 제8호, pp. 101-107, 1997.