

平面研削에 있어서 AE 發生源에 영향을 미치는  
研削因子에 관한 研究

한 응교\*, 김 기중\*, 김 경석\*\*, 권 동호\*\*

A Study on the grinding factor affecting the AE Source  
in surface grinding

Han Eung Kyo\*, Kim Ki Choong\*, Kim Koung Suk\*\*, Kwon Dong Ho\*\*

ABSTRACT

The study is concerned with the investigation of grinding factor affecting the AE Source by means of the relation between the amplitude level of AE signal and the depth of wheel engagement in surface grinding by AE method.

As the result, work velocity was confirmed that the amplitude of AE signal had almost constant value in comparison with the depth of wheel engagement. But the depth of wheel engagement and the width of wheel engagement were proportional to the amplitude of AE signal.

Therefore, when the AE Source was classified by 3-zone,  $W_s$  and  $W_f$  were affected by the depth of wheel engagement and that  $W_r$  was affected by the width of wheel engagement. Also, the adaptability of the AE method was studied about the detection of tool life of grinding wheel, sparkout and initial contact point.

I. 序 論

最近 FMS (Flexible Manufacturing System) 나 FA (Factory Automation) 의 이름아래 生産加工自動化의 움직임과 이들의 효율을 向上시키기 위한 많은 연구가 이루어지고 있으나 실제로 신뢰

성이나 경제성을 고려해보면 加工工程을 완전히 無人化시킨다는 것은 대단히 어려운 일이다. 이와 같은 生産性向上에 대한 문제는 研削加工에 있어서도 마찬가지이고 여기서 최우선으로 해결해야 될 문제는 加工 Process가 止常으로 進行되고 있는가를 감시하고 異常이 있으면 경

\* 한양대학교 정밀기계과

\*\* 한양대학교 대학원

고를 하여 정상적인 機能으로 되돌아오게 하거나 적당한 조치를 취하게하는 技術이라 하겠다.

現在까지 使用된 이상상태의 감시기술로는

1. 電動機負荷電流의 變化를 利用하는 方法
2. 壓電素子를 使用한 절삭저항의 變化를 利用하는 方法
3. 生產品의 精密度變化를 利用하는 方法

등이 있었고 최근에는 工作物의 塑性變形時나 工具의 절삭시에 發生하는 音響放出을 이용한 감시기술이 美國이나 日本등지에서 점차 연구되어지고 있는 實情이다. 이와같이 切削加工中에 發生하는 음향과는 加工効率和 加工狀態, 예를 들면 切削에 있어서의 공구마모의 狀態등과 관련된 情報를 量측하고 있고 센서自體가 小形·輕量이므로 加工作業상 방해가 되지않는 장점이 있다.

따라서, 本 研究에서는 이와같은 量을 가지고 있는 AE法을 적용하여 平面研削時에 있어서 移送速度와 研削깊이 그리고 研削숫돌과 工作物의 접촉폭에 대한 AE實効値를 測定하여 研削에 있어서의 AE 신호원에 영향을 미치는 因子를 규명해 보았으며 Sparkout 현상과 초기접촉개시점의 檢出을 위한 AE法の 適用可能性에 대해 實驗해 보았다.

## 2. 基礎理論

### 2-1. 連續體內的 AE波生成

AE 彈性波의 生成에 대해서 彈性論의 立場에서 생각하면 等方性彈性體에 있어서 AE波는 基本的으로 建續體의 운동방정식을 解析함으로써 다음식(1)이 얻어진다.

$$\rho \cdot \ddot{u}_i = \sigma_{ij,j} \quad \dots\dots\dots (1)$$

(1)式을 1次元問題로 가정하면

$$\rho \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} \quad \dots\dots\dots (2)$$

이며 이와같이 物體內에 있는 미소부분이 加速度運動하는 것을 AE波生成의 基本으로 한다.

한편, K. Malvern은 連續轉位論의 手法를 使用

하여 (1)의 運動方程式에서 應力波의 크기  $\sigma(r,t)$ 를 解析的으로 구하였다.

$$\sigma(r,t) \propto \frac{\Delta V}{r} \cdot \exp(-\omega^2 \cdot \Delta t^2) \quad \dots\dots\dots (3)$$

(3)式은 AE波의 發生에 있어서 스트레인이 크거나 스트레인이 發生하는 時間 $\Delta t$ 가 순간적일수록 振幅이 큰 AE波가 發生한다는 것을 의미하고 있다. 따라서 研削變形體積이 클수록 AE波의 振幅과 周波數가 증대한다는 것을 알 수 있다.

### 2-2. AE실효치(RMS<sub>AE</sub>) 해석

AE 신호의 에너지量을 AE發生源의 量으로 해석하고 에너지척도로서 AE波의 實効値를 구하면

$$RMS = \left[ \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} V^2(t) dt \right]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (4)$$

AE 신호의 에너지變化率은

$$\frac{dE}{dt} \propto (RMS)^2 \quad \dots\dots\dots (5)$$

그러나 計測된 信號에서 실제의 實効치전압은 다음과 같이 된다.

$$(RMS)^2 = (RMS_T)^2 - (RMS_n)^2 \quad \dots\dots\dots (6)$$

한편 단위체적의 재료에 대하여 변형에 의한 에너지등분  $dW_1$ 은

$$\begin{aligned} dW_1 &= \sigma_1 \cdot d\epsilon_1 \\ &= \sigma_1 d\epsilon_1 + \sigma_2 d\epsilon_2 + \sigma_3 d\epsilon_3 \quad \dots\dots\dots (7) \end{aligned}$$

에너지변화율은

$$\begin{aligned} \dot{W} &= \int_V \sigma_i \epsilon_i \cdot dV \\ &= \sigma_i \epsilon_i \cdot V \quad \dots\dots\dots (8) \end{aligned}$$

따라서 에너지 變化率은 변형율과 負荷應力  $\sigma$  그리고 變化된 材料의 體積V에 의존한다는 것을 알 수 있다.

(5)式과 (8)式으로부터

$$\frac{dE}{dt} \propto (\text{RMS})^2 = C \cdot \sigma \dot{\epsilon}_1 V \dots\dots\dots (9)$$

가 된다.

한편, 旋削에서의 AE波發生源을 研究에 도입하여 생각해 보면

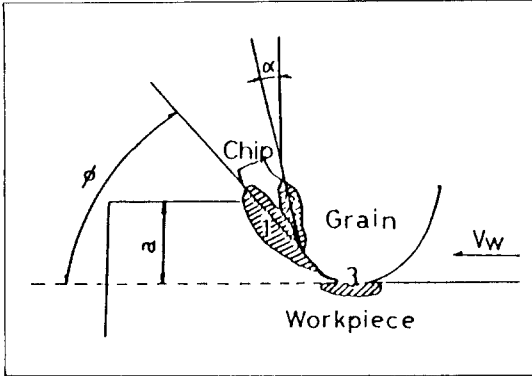


Fig. 1. Zones of AE generation in the grinding process

- 1) 제 1 변형영역 : 전단역 ( $\dot{W}_s$ )
- 2) 제 2 변형영역 : 연삭입자와 Chip의 접촉역 ( $\dot{W}_f$ )
- 3) 제 3 변형영역 : 연삭입자와 공작물과의 접촉영역의 3 영역으로 분류할 수 있으며, 본 실험에서 얻어진 AE 신호를 ( $\dot{W}_r$ ) 위의 3 가지 변형영역에서 발생한 AE 신호는 1) 2) 3)의 변형영역에서 발생한 AE波라고 생각하면 다음 (10)식과 같이 된다.

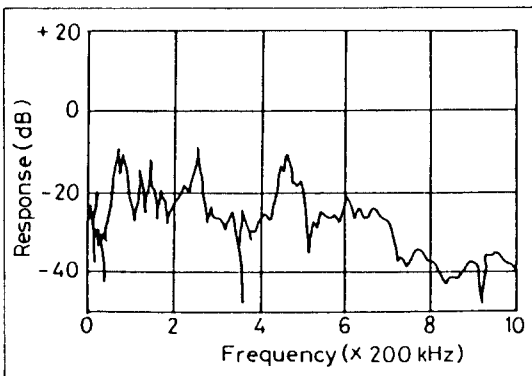


Fig. 2. Frequency response of transducer



Photo. 1. Experimental apparatus for AE measurement

$$(\text{RMS})^2 = f(\dot{W}_s, \dot{W}_f, \dot{W}_r) \dots\dots\dots (10)$$

(9)식과(10)식으로부터

$$\frac{dE}{dt} \propto C \cdot \sigma \dot{\epsilon} V = f(\dot{W}_s, \dot{W}_f, \dot{W}_r) \dots\dots\dots (11)$$

를 얻는다.

### 3. 實驗方法

試片材料는 크기가 50 × 50 × 23.5 mm (폭 × 길이 × 두께)인 中硬鋼(SM 45C)를 使用하였으며 기계적성질은 Table 1 과 같다.

Table 1. Mechanical properties of workpiece

Hardness HRC	Tensile strength $\sigma_t$ (kg/mm <sup>2</sup> )	Yield strength $\sigma_y$ (kg/mm <sup>2</sup> )
37.8	66.021	33.064

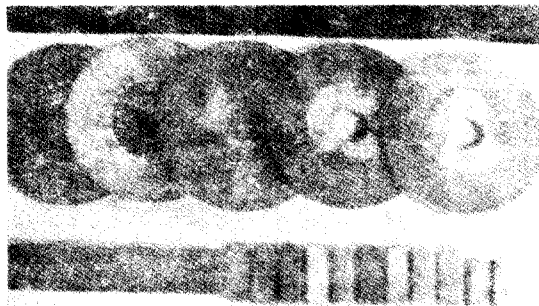


Photo. 2. Workpiece and grinding wheel in experiment

Photo. 2. 는 試片과 研削숫돌을 나타낸 사진이다.

### 3-1. 研削條件

研削條件은 각因子들이 서로 관계를 가지고 研削作業에 크게 영향을 미치게 되므로 研削숫돌의 원주속도, 연삭깊이 및 테이블 移送速度등을 有効하게 決定하고 作業하는 것이 바람직하며 材料에 따라서는 研削숫돌의 材質과 粒度를 선택해야 한다.

따라서 본 실험에서는 실험조건에 적합한 WA 46 LmV인 연삭숫돌을 사용하였으며 연삭숫돌의 원주속도를 1650 m/mm로 一定하게 하고 테이블 移送速度 20, 56, 100, 130, 142, 170 mm/S의 6 단계로 接觸幅 2.7, 5.4, 8.1, 10.8 mm의 4 단계로 하고 또한 研削깊이를 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40  $\mu$ m의 8 단계로 各各 變化

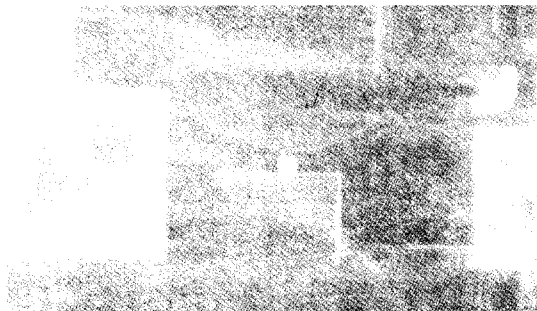


Photo. 3. Grinding wheel dressing

시켰다. 그리고 研削숫돌의 磨耗와 loading으로 인하여 실험조건이 항상 변하게 되므로 各 實驗에 들어가기 前에 다이어몬드 드레서를 使用하여 연삭숫돌의 드레싱作業을 하였다. photo. 3. 은 연삭숫돌의 드레싱作業을 보여 준다.

### 3-2. 센서위치선정

AE 신호의 감도는 센서와 研削點의 거리가 이동함에 따라 同 一하지 않기 때문에 센서를 Fig. 3에 보인 바와 같이 Magnetic Chuck 뒷면과 工 作物 옆면에 부착시켜 검토하였다.

그 結果 研削點의 이동에 따라 AE 신호는 약간의 變動이 있었으나 최대값과 최소값의 차이

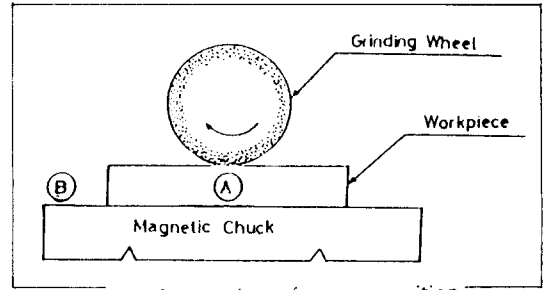


Fig. 3. Location of sensor position

가 3% 내외로서 測定結果에는 거의 영향을 미치지 않았으나 A 지점은 B 지점보다 感度가 좋으므로 (AE 위치표정에 의거) 정확한 AE 신호의 검출을 위하여 실험에서는 시험편 옆면에 센서를 부착하였다.

### 3-3. AE實効值電壓檢出

신호의 전달특징을 향상시키기 위하여 접촉매질은 機械油(enginoil)를 使用하였으며 AE 센서는 Magnetic Holder를 使用하여 試驗片에 부착하였다. 센서의 出力은 Pre Amplifier를 통하여 20 dB增幅하고 Filtering作用과 Main Amplifier의 기능을 내장하고 있는 Discriminator에서 40dB增幅, 總合60dB增幅하였으며 實効值電壓測定을 위한 True RMS AC Voltmeter의 出力과 研削숫돌의 위치검출을 위한 Dial Gauge의 出力을 同時에 Pen Recorder에 기록하였다. 또한 Discriminator의 Monitor단자를 통하여 Oscilloscope로 波形觀察을 하였다.

Fig. 4. 는 AE計測시스템의 Block Diagram을 보여준다.

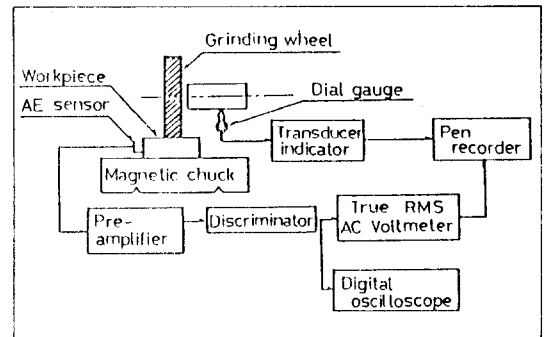


Fig. 4. The block diagram of experimental setup

4. 實驗結果 및 考察

Photo 4는 연삭깊이 10 $\mu$ m에서 檢出된 波形으로서 連續型임을 알 수 있으며 AE 實効值電壓測定이 AE 信號의 特性연구에 적합함을 알 수 있었다.

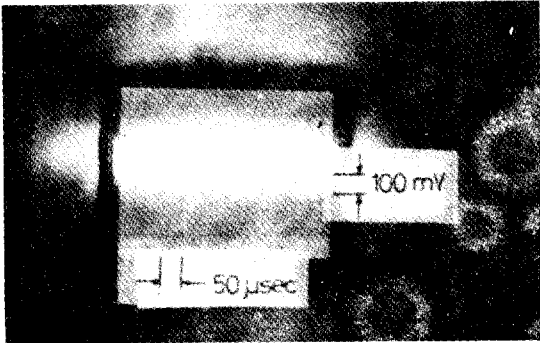


Photo. 4. Acoustic Emission signal during grinding (a = 10  $\mu$ m)

Fig. 5, 6, 7은 移送速度, 研削깊이, 그리고 工作物과 乾式 研削숫돌의 接觸幅과 AE 實効值電壓과의 關係를 나타낸 그림이다.

(9)試에서 變形된 體積이 증가함에 따라 AE 에너지가 증가하는 것을 알 수 있는데 研削에 있어서 變形된 體積은  $B \cdot a \cdot V_w$ 로 나타내어 진다. 여기서 研削깊이 (a)와 接觸幅(B)는 Fig. 6, 7에서 AE 信號진폭level과 比較關係를 보이는데 반하여 Fig. 5.에서 移送速度는 연삭깊이와 接觸幅에 비하여 AE 信號진폭level에 거의 影響을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다. 또한 AE 波生모델에는  $\dot{W}_s$ 와  $\dot{W}_f$ 는 연삭깊이에 影響을 받으며  $\dot{W}_i$ 는 接觸幅에 影響을 받는다고 생각할 수 있으므로  $\dot{W}_i$ 와  $\dot{W}_f$ 의 혼합된 에너지는 Fig. 6.과 같은 경향을  $\dot{W}_r$ 는 Fig. 7과 같은 경향을 보인다고 하겠다.

Fig. 8.는 研削깊이 10  $\mu$ m, 移送速度 113 mm/s, 接觸幅 2.7mm인 상태에서 연삭가공을 하였을 때 시간과 AE 實効值電壓과의 關係를 나타낸 그림이다. 본 실험의 시간영역내에서는 AE 信號진폭level이 2  $\mu$ V/min을 가지고 점차 증가하는 경향을 보인다.

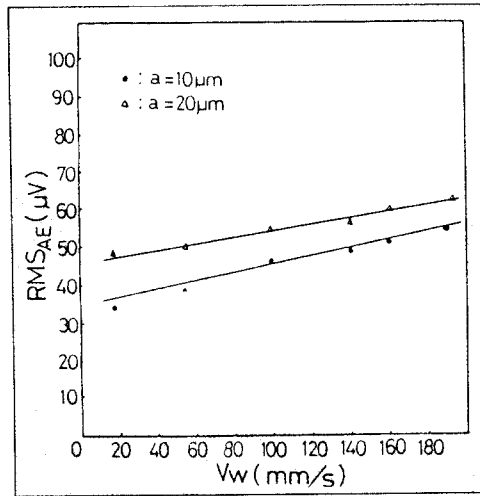


Fig. 5. Relation between work velocity and  $RMS_{AE}$

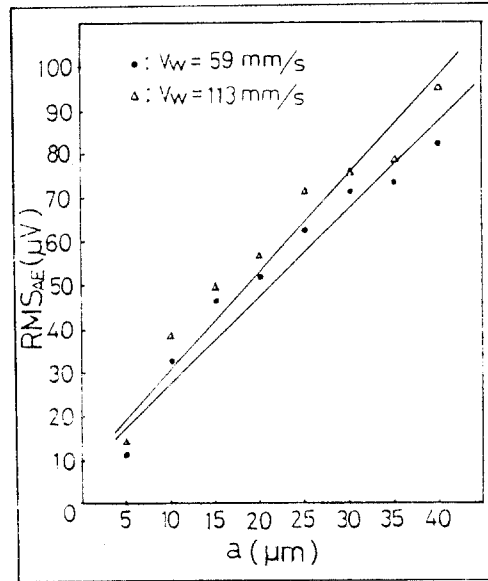


Fig. 6. Relation between depth of wheel engagement

Fig 9.는 初期研削깊이를 一定하게 하고 Cut 수와 AE 實効值電壓과의 關係를 나타낸 그림으로서 AE 信號진폭level의 잠진적인 감소는 材料의 研削量이 점점 더 줄어들어 가는 것에 기인하며 여기서 Cut 수가 6 번째 이후에는 AE 實効值電壓이 2  $\mu$ V로 거의 차이가 없다는 것을 관찰할 수 있으며 이 때 Sparkout 현상을 확인할 수 있었다.

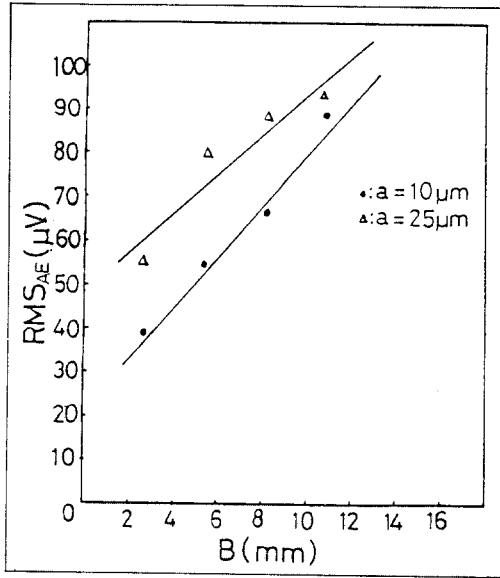


Fig. 7. Relation between width of wheel engagement and  $RMS_{AE}$

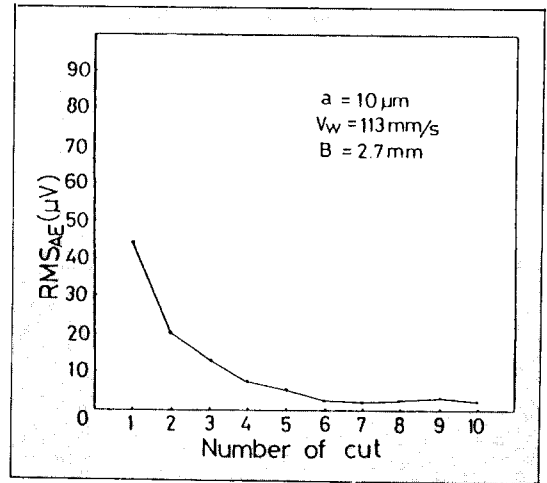


Fig. 9.  $RMS_{AE}$  versus Number of grinding pass

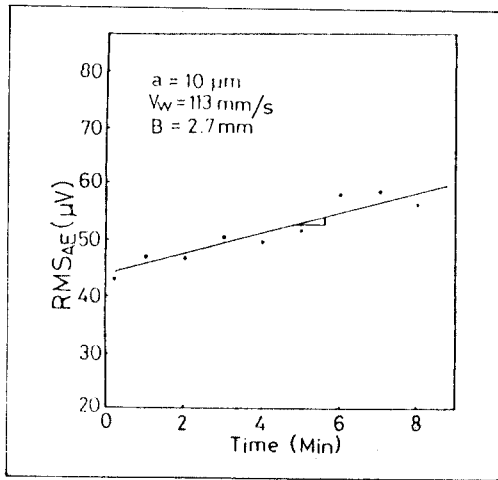


Fig. 8.  $RMS_{AE}$  versus Time

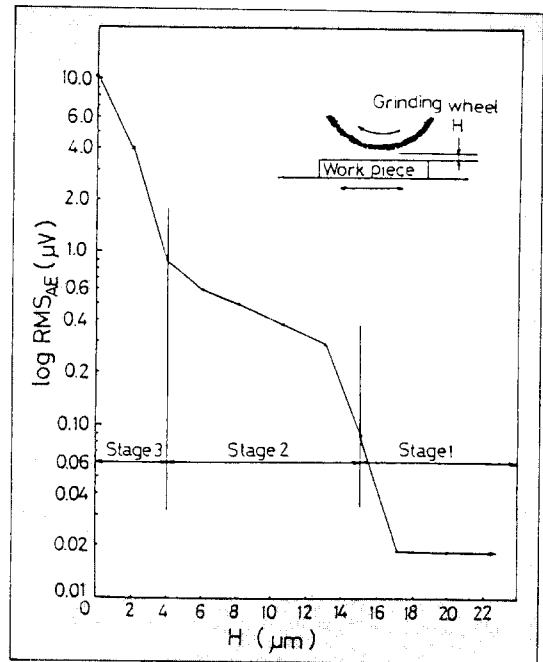


Fig. 10. Variation of Acoustic Emission according to grinding wheel-workpiece gap height

Fig. 10. 은 연삭숫돌과 그 工作物 사이에 연삭액을 注入하였을 때 檢出된 AE實効值값을 Semi-log 그래프로 나타낸 것으로 AE 신호진폭level은 높이의 변화에 대하여 다음과 같이 3단계로 구분할 수 있었다.

- 1 단계 ( $H > 15 \mu m$ ) : 전기적 · 기계적 Noise
- 2 단계 ( $4 \mu m < H \leq 15 \mu m$ ) : 연삭액과 연삭숫돌의 접촉

3 단계 ( $H \leq 4 \mu m$ ) : 연삭숫돌과 工作物의 접촉

그런데 여기서 연삭숫돌과 工作物의 간격이  $4 \mu m$ 일 때 AE信號가 檢出되는 것은 연삭숫돌粒子的不均一性和 숫돌의 振動 등에 기인되는 것으로 생각된다.

## 5. 結 論

평면연삭에 있어서 研削條件을 변경시켜가면서 實驗한 結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. AE發生源을  $\dot{W}_s, \dot{W}_f, \dot{W}_r$  로 나타낼 때  $\dot{W}_s$  와  $\dot{W}_f$  는 연삭깊이에 의하여,  $\dot{W}_r$  는 접촉폭에 의하여 주로 영향을 받으며 연삭깊이와 접촉 폭은 AE實効値電壓과 비례관계가 성립하고 있음을 알았다.

2. 現在 절삭工具의 수명검출에 적용되는 AF技法은 본 實驗結果 연삭숫돌에도 充分히 적용할 수 있다고 생각된다.

3. 연삭숫돌의 Sparkout와 초기접촉개시점 검출값이 AE법의 R.M.S치와 상관관계가 있음을 알 수 있었다.

## 參考文獻

1. 岩田一明：“工具破損檢出技術”精密機械 48 券 1 號, P. 90
2. 羽田野甫：“アコースティック・エミッションとその應用”精密機械 50 券 2 號, P. 101
3. “工具破損의 檢出技術”機械技術 1984 年 5 月號, P. 231
4. Kannatey-Asibu, Jr, E, Dornfeld, D. A：“Quantitative Relationship for Acoustic Emission form or thogonal metal cutting” ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 103, No 3., Aug, 1981, P. 330
5. D. Dornfeld, He Gao cai：“An Investigation of Grinding and wheel Loading usiNG Acoustic Emission” Transactions of the ASME Vol. 106, Feb, 1984, P. 28
6. 垣野義昭, 江田弘, 貴志活三, 山田卓郎：“アコースティック・エミッションを用いた砥石・工作物接觸開始點の檢出法”精密機械 88 券 3 號, P. 50
7. 三輪祐可, 稲崎一郎, 米律榮：“アコースティック・エミッションによる工具損傷のインフロセス檢出”日本機械學會論文集 47 券 424 號 P. 1680
8. 本間恭二：“研削砥石の破壊の關する研究—AE法による破壊過程の解析”精密機械 47 券 8 號, P. 14
9. 江田弘, 垣野義昭, 貴志浩三,：“アコースティック・エミツツヨソを用いた 研削き製の加工中檢出”センサ技術, 1984, Vol. 4, No 12, P. 18