

AE에 의한 평면연삭의 가공특성 감시 및 이상진단

임 영 호,* 권 동 호,** 정 인 근,*** 최 만 용,**** 임 순 재****

Detection of Abnormal Conditions and Monitoring of Surface Grinding Characteristics by Acoustic Emission

Young-Ho Lim,* Dong-Ho Kwon,** In-Kuen Joung,*** Man-Yong Choi**** and Soon-Jae Lim****

ABSTRACT

This paper aims at reviewing the possibility of application over normal or abnormal, detection used by AE, and the characteristics of grinding processes. In this study, when WA-vitrified & resinoid bond grinding wheels:36 kinds of grinding wheel and grinding depth were tuned at the surface grinding, the zone of AE signal generation is theoretically modelled and reviewed by grinding processes. The variation of grinding resistance (F_n , F_t) and AE signal is detected in-process by the use of AE measuring system. The tests are carried out in accordance with grain size and grade of grinding wheels, and work-pieces—STD11 and STD61. According to the experiment's results, the following can be expected; as grinding time passes by, the relation of grinding depth and quantity of AE signal, observing on AE signal and grinding burn suggest the characteristics of grinding processes and evaluation on the possibility of application of AE. Threshold level depends on grinding conditions, being applied to automatic control of grinding machine, and monitoring abnormal conditions.

Key words : Acoustic Emission(음향방출), Grinding burn(연삭소손), Root Mean Square Voltage(실효치전압), Grinding process(연삭과정), Threshold level(설정값), Zone of AE generation (AE 신호 발생원)

기호설명

V^* :소성변형체적

C :탄성계수

dW, :소성변형에 의한 에너지증분

AE_{rms} :AE실효치전압

* 숭실대학교
 ** 명지전문대학
 *** 숭실대학교 대학원
 **** 한국표준과학연구원

- dE/dt : AE신호의 에너지변화율
- \dot{W} : 에너지변화율
- F_n : 연삭저항의 법선성분
- \dot{W}_f : 스톨입자의 미끄럼면과 칩의 접촉영역
- F_t : 연삭저항의 접선성분
- \dot{W}_s : 스톨입자의 여유면과 공작물의 접촉영역
- ΔT : 평균시간
- \dot{W}_c : 전단영역
- Δt : 변형이 발생하는 시간간격
- ϵ : 변형역에 생기는 소성변형률
- V(t) : 신호합수
- d ϵ_i : 주변형률중분
- σ_i' : 주변차응력
- $\sigma(r, t)$: AE발생원으로부터의 거리 r에 있어서
시간 t에 대한 응력파의 크기
- ω : 주파수

1. 서 론

연삭가공은 스톨의 입자가 마멸, 파쇄, 탈락, 생성의 과정을 반복하면서 공작물을 가공하는 공정으로서 이러한 연삭과정(grinding process)은 연삭스톨의 선택, 드레싱조건, 연삭조건 등에 의해 영향을 받으며, 특히 연삭스톨의 성능은 연삭가공시간의 경과에 따라 변화한다. 이 때 요구되는 가공능률과 가공정밀도를 일정하게 유지하기 위해서는 연삭과정을 자동감시하고 이상상태를 진단하는 기술⁽¹⁾의 확립이 당연한 필수 과제라고 할 수 있다.

가공중(In-process)의 연삭스톨과 공작물의 접촉상태가 정상적으로 유지되고 있는가를 감시하고 이상이 있으면 그 신호를 받아 온라인(on-line)상태에서 피드백(feedback)하여 공작기계를 정지시킨다거나 가공조건을 적절히 변화시켜 정상적인 상태에서 가공을 진행시킬 필요가 있다.⁽²⁾

그런데 연삭가공상태를 지배하는 연삭스톨의 특성, 드레싱조건, 연삭조건 등이 연삭시간이 경과함에 따라 연삭성능에 큰 영향을 미치며, 특히 스톨입자의 분포상태 및 입자날끝의 마멸(glazing)이나 칩(chip)의 부착 등으로 인한 로우딩(loading)이 연삭특성을 좌우하는 요인이 된다.

또한 연삭가공에서 대표적인 이상상태라고 할 수 있는 것으로서 연삭버어닝(burning)과 연삭균열(grind-

ing crack)이 있는데 연삭버어닝은 공작물표면으로부터 내부에 Fe₂O₃, Fe₃O₄, FeO 등이 각 층상을 이루고 있으며, 그 주성분은 Fe₃O₄이다. 이 때 발생하는 연삭버어닝의 색조변화는 Fe₃O₄의 두께에 의해 좌우되며, 이 두께는 연삭열에 의한 가공층의 온도상승에 기인하는 것으로 알려져 있다.⁽³⁾ 이러한 연삭버어닝은 연삭균열의 원인이 되며 연삭균열은 연삭열 뿐만아니라 기계적응력 및 연삭조건에 의해 생성된다고 할 수 있다.⁽⁴⁾ 연삭가공 표면에 생성되는 균열은 연삭저항 및 연삭열에 의해 성장하고, 균열이 성장하면 가공물 내부의 결합으로 작용하여 기계부품으로 사용중에 각종 파괴나 장해를 일으키는 원인이 된다.

이상과 같은 이상상태의 감시기술로서 현재 사용되고 있는 것은

- (1) 진동기 부하전류의 변화를 이용하는 방법
- (2) 압전소자를 사용한 절삭저항의 변화를 이용하는 방법
- (3) 음압의 주파수분석을 이용하는 방법
- (4) 압전형가속도 pick-up을 이용하는 방법
- (5) 열기전력과 접촉전기저항을 이용하는 방법
- (6) 가공정밀도의 변화를 이용하는 방법 등이 있다.⁽⁵⁾

최근에는 공작물의 소성변형이나 연삭과정중에 발생하는 공구-공작물사이의 음향방출(Acoustic Emission)을 이용한 온라인감시기술에 관한 연구가 진행되고 있다.⁽⁶⁾

Dornfeld⁽⁷⁾는 평면연삭에 있어서의 로우딩현상과 AE신호특성사이의 관계를 보여 주었고, Eda^{(8), (9)}는 연삭과정중 연삭열에 의하여 발생하는 연삭균열과 버어닝 현상을 AE를 이용하여 검출하는 방법을 제시하였다.

그러나 연삭가공에 있어서 가공상태의 이상을 조기에 검출하고 가공상태를 정밀하게 진단할 수 있는 기술은 아직 확립되어 있지 않다.

따라서 본 논문에서는 AE계측장치를 이용하여 평면연삭에 있어서 연삭조건 및 연삭스톨(WA계 비트리파이드 및 레지노이드결합제연삭스톨: 36종류)의 제인가가 연삭저항 및 AE신호원에 미치는 영향을 규명하고, 연삭가공상태의 자동감시 및 자동이상진단시스템을 위한 AE의 적용가능성을 검토하였다.

2. 연삭과정에서의 AE신호 생성

Kannatey-Asibu⁽¹⁰⁾는 절삭가공에 있어서 AE신호의

에너지량을 AE발생원의 일량으로 해석하고, 에너지의 척도로서 AE교류파의 AE_{rms} 값을 다음과 같이 정의했다.

$$AE_{rms} = [(1/\Delta T) \int_0^{\Delta T} V^2(t) dt]^{1/2} \quad (1)$$

여기서

$V(t)$: 신호함수

ΔT : 평균시간

AE신호의 에너지변화를 dE/dt 는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$dE/dt \propto [AE_{rms}]^2 \quad (2)$$

그러나 실제의 실효치전압 AE_{rms} 는 교류전압계에서 측정된 total AErms에서 back-ground noise를 고려하여 다음식으로 측정된다.

$$[AE_{rms}]^2 = [RMS_T]^2 - [RMS_N]^2 \quad (3)$$

여기서

AE_{rms} : 실제신호의 실효치전압

RMS_N : back-ground noise에 의한 AErms

RMS_T : 교류전압계에서 측정된 total AErms

한편 단위체적당의 재료에 대하여 소성변형으로 인한 에너지증분 dW_1 은 다음과 같이 된다.

$$dW_1 = \sigma'_1 \cdot d\epsilon_1 = \sigma'_1 \cdot d\epsilon_1 + \sigma'_2 \cdot d\epsilon_2 + \sigma'_3 \cdot d\epsilon_3 \quad (4)$$

여기서

σ'_i : 주편차응력

$d\epsilon_i$: 주변형률증분

그러므로 에너지변화를 \dot{W} 는 다음과 같이 된다.

$$\dot{W} = \sigma' \cdot \dot{\epsilon} \cdot V^* \quad (5)$$

그리고 소성변형일중에서 AE발생에 소비되는 AE신호의 에너지비율이 항상 일정하다고 가정하면 식(2)와 식(5)로부터

$$dE/dt \propto [AE_{rms}]^2 = C \cdot \sigma' \cdot \dot{\epsilon} \cdot V^* \quad (6)$$

의 관계가 성립한다. 식(6)으로부터 AE에너지변화를 dE/dt 는 변형률 $\dot{\epsilon}$ 와 부하응력 σ 및 변형된 재료의 체적 V^* 에 의존하며, 연삭숫돌과 공작물이 미시적으로 접촉을 시작하면 이 변수들은 연삭가공이 진행됨에 따라 증대하므로 AE신호의 진폭이 크게 되는 것을 알 수 있다.

연삭과정에서 AE신호의 발생원을 생각하면 Fig. 1

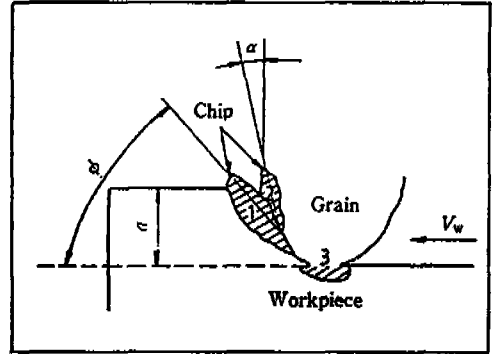


Fig. 1 Zones of AE generation in the grinding process

에 나타난 바와 같이

(1) 제 1 변형영역 : 전단영역(일의 변화율(\dot{W}_s))

(2) 제 2 변형영역 : 숫돌입자의 미끄럼면과 칩(chip)의 접촉영역(\dot{W}_f)

(3) 제 3 변형영역 : 숫돌입자의 여유면과 공작물의 접촉영역(\dot{W}_r)의 3가지 영역으로 분류할 수 있으며, 본 실험에서 얻어진 신호를 위의 (1), (2), (3)항의 소성변형 영역에서 발생한 AE신호라고 생각하면

$$AE_{rms} = \dot{W}_s + \dot{W}_f + \dot{W}_r \quad (7)$$

로 되고, AE에너지 변화를 dE/dt 는 식(6) 및 식(7)로부터

$$dE/dt \propto C \cdot \sigma' \cdot \dot{\epsilon} \cdot V^* = \dot{W}_s + \dot{W}_f + \dot{W}_r = f(\dot{W}_s + \dot{W}_f + \dot{W}_r) \quad (8)$$

이 되므로 연삭영역의 확대는 AE신호의 에너지를 증대하는 것이 됨을 알 수 있다.

그리고 Mallen는 연속전위론의 이론으로 응력파의 크기 $\sigma(r, t)$ 를 다음과 같이 해석적으로 구하였다.^{(6), (8)}

$$\sigma(r, t) \propto (-\epsilon \cdot V^* / r) \cdot \exp(-\omega^2 \cdot \Delta t^2) \quad (9)$$

여기서

$\sigma(r, t)$: AE 발생원으로부터의 거리 r 에 있어서 시각 t 에 대한 응력파의 크기

ω : 주파수

ϵ : 변형역에 생기는 소성변형률

V^* : 소성변형체적

Δt : 변형이 발생하는 시간간격

식(9)는 AE신호의 발생역에 있어서 변형이 크거나

Table 1 Kinds of grinding wheels

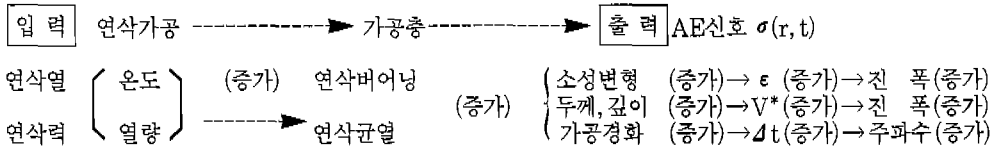
Abrasive grain	Grain size	Grade						Structure	Bond	Out dia. X thickness X Inside dia.	Shape
		J	K	L	M	N	O				
WA	46	J	K	L	M	N	O	8	V	180mm X 13mm X 31.75mm	No. 1A
	120	J	K	L	M	N	O				
	220	J	K	L	M	N	O				
	46	J	K	L	M	N	O	8	B		
	120	J	K	L	M	N	O				
	220	J	K	L	M	N	O				

Table 2 Chemical composition and hardness of testing materials

Testing materials	Chemical composition(Wt.%)								Annealed hardness HRA	Tempered hardness HRC
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V		
STD11	1.47	0.33	0.54	0.120	0.015	11.75	0.85	0.85	57.5	62
STD61	0.41	1.10	0.44	0.017	0.017	4.82	0.45	1.01	56.5	53

변형이 발생하는 시간 Δt 가 짧을수록 진폭의 큰 AE신호가 발생한다는 것을 의미한다.

이상의 관계식으로부터 연삭열 및 연삭력과 AE신호와의 관계를 나타내면 다음과 같이 된다.



3. 실험

3.1 연삭숫돌 및 시험편재료

(1) 연삭숫돌

본 실험에 사용된 연삭숫돌은 WA계 비트리파이드 및 레지노이드결합계연삭숫돌로서 그 종류는 Table 1과 같다.

(2) 시험편

본 실험에 사용된 시험편재료는 냉간금형용강재 STD11과 열간금형용강재 STD61을 선정하였고 시험편의 화학성분 및 경도는 Table 2와 같으며, Fig. 2는 시험편의 형상을 나타낸 것이다.

3.2 실험장치 및 실험방법

Fig. 3은 본 실험에 사용한 실험장치를 나타낸 것이며 Fig. 4는 AE계측시스템을 이용한 평면연삭 실험장치의 계통도이다.

평면연삭실험에 앞서 시험편의 가공부위를 별도의 연삭숫돌에 의하여 예비연삭한 후, Table 1과 같은 연삭

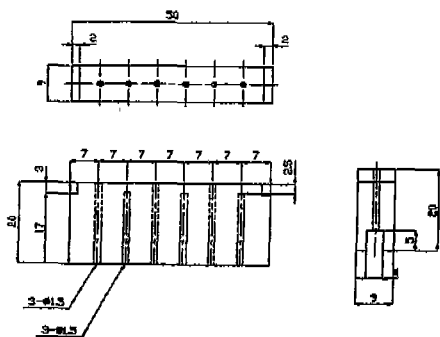


Fig. 2 Dimensions of specimens



Fig. 3 Experimental apparatus of grinding process by Acoustic Emission

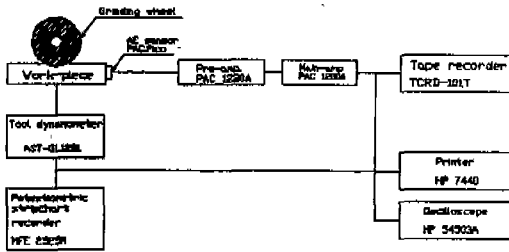


Fig. 4 Block diagram of experimental apparatus

숫돌을 사용하여 테이블의 이송속도를 0.1m/sec, 연삭속도를 1800 m/min로 일정하게 하고, 연삭깊이를 각각 10, 20, 30, 40, 50 μ m로 변화시켜 건식상향연삭실험을 하였다. 그리고 본 실험에서는 AE신호의 감도를 고려하여 센서를 시험편의 우측면 중앙에 부착하였다. Fig. 4에 나타낸 바와 같이 연삭가공에 나타나는 연삭저항은 공구동력계(AST-GL1281)를 거쳐 tape recorder(TCRD-101T) 및 potentiometric strip-chart recorder(MFE 2525M)에 기록하였다. AE측정은 고감도소형(ϕ 5mm)센서 (PAC. pico)로부터 출력된 것을 잡음제거 및 신호증폭을 위하여 pre-amp. (PAC1220A)와 main-amp. (PAC.1200A)를 거쳐 AE_{rms} 와 AE_{wave} 를 tape recorder(TCRD-101T)에 수록하고 oscilloscope(HP 54503A)를 통하여 관찰할 수 있도록 하였다. AE발생신호가 크기 때문에 단일신호검출에는 큰 문제가 없으나 공작물의 온도상승 등으로 센서의 접촉에 주의를 필요로 하였다. AE센서의 접촉은 electronic wax를 사용하였고 신호의 선택은 threshold level 스위를 이용하였다. main-amp. 부분의 증폭도가 크므로 이에 맞춘 신호구별도 주의를 요

하는 부분에 해당되었다. 또한 예비연삭실험중 연삭숫돌의 로우딩(loading) 및 글레이징(glazing)에 의한 영향이나 숫돌입자의 탈락 등에 의한 영향이 AE신호로 검출가능하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 연삭깊이에 따른 연삭저항 및 AE_{rms}

Fig. 5, Fig. 6 및 Fig. 7은 입도 #46, #220, 결합도 J, 0인 비트리파이드 및 레지노이드결합제연삭숫돌을 사용하여 열처리하지 않은 STD11, STD61재와 경화열처리한 STD11, STD61재에 대하여 연삭깊이를 각각 10, 20, 30, 40, 50 μ m로 하여 연삭가공했을 때의 연삭저항 F_n 및 AE_{rms} 를 나타낸 것이다. 연삭깊이가 증가함에 따라 연삭저항 F_n 및 AE_{rms} 는 증가하며, 열처리하지 않은 STD11, STD61재가 경화열처리된 STD11, STD61재보다, 그리고 비트리파이드결합제연삭숫돌이 레지노이드결합제연삭숫돌보다 F_n 및 AE_{rms} 가 큰 값으로 나타났다. 또한 동일한 조건의 경우라도 입도 #220의 연삭숫돌이 입도 #46의 연삭숫돌보다, 결합도 0의 연삭숫돌이 결합도 J의 연삭숫돌보다 AE_{rms} 가 큰 값으로 나타났다. 이는 연삭깊이가 증가하면 연삭력과 연삭열이 증대하여 가공층의 연삭버어닝, 연삭균열, 소성변형체적 및 가공경화층도 증대하므로 AE신호생성모델의 전단역 \dot{W}_s , 숫돌입자와 칩의 접촉영역 \dot{W}_f 및 숫돌입자와 공작물과의 접촉영역 \dot{W}_c 가 커져 큰 AE신호가 발생된 것으로 보인다. 즉, ϵ , V^* , Δt 가 증가하게 되므로 AE에너지변화를 dE/dt 가 크게 되어 주파수 ω 은 높게 되고, AE신호의 출력이 정성적으로 증대한 것이라고 할 수 있다. 또한 레지노이드결합제연삭숫돌이 비트리파이드결합제연삭숫돌보다 숫돌입자의 자생작용이 원활하게 진행되어 연삭저항 F_n 및 AE_{rms} 값이 작게 되고, 열처리하지 않은 STD11 및 STD61재가 경화열처리된 STD11 및 STD61재보다 연삭잔여량이 많아져 연삭저항 및 AE신호의 발생이 크게 나타난 것으로 보인다.

그리고 입도가 크고 결합도가 높은 연삭숫돌일수록 bond bridge의 결합력이 강화되어 숫돌입자의 자생작용이 원활하지 못하게 되므로 연삭저항 F_n 및 AE_{rms} 가 크게 나타난 것을 알 수 있다.

Fig. 5, Fig. 6 및 Fig. 7에서 연삭깊이 30 μ m 이후에 AE_{rms} 가 급격히 큰 값을 나타내고 있는 데, 이는 실

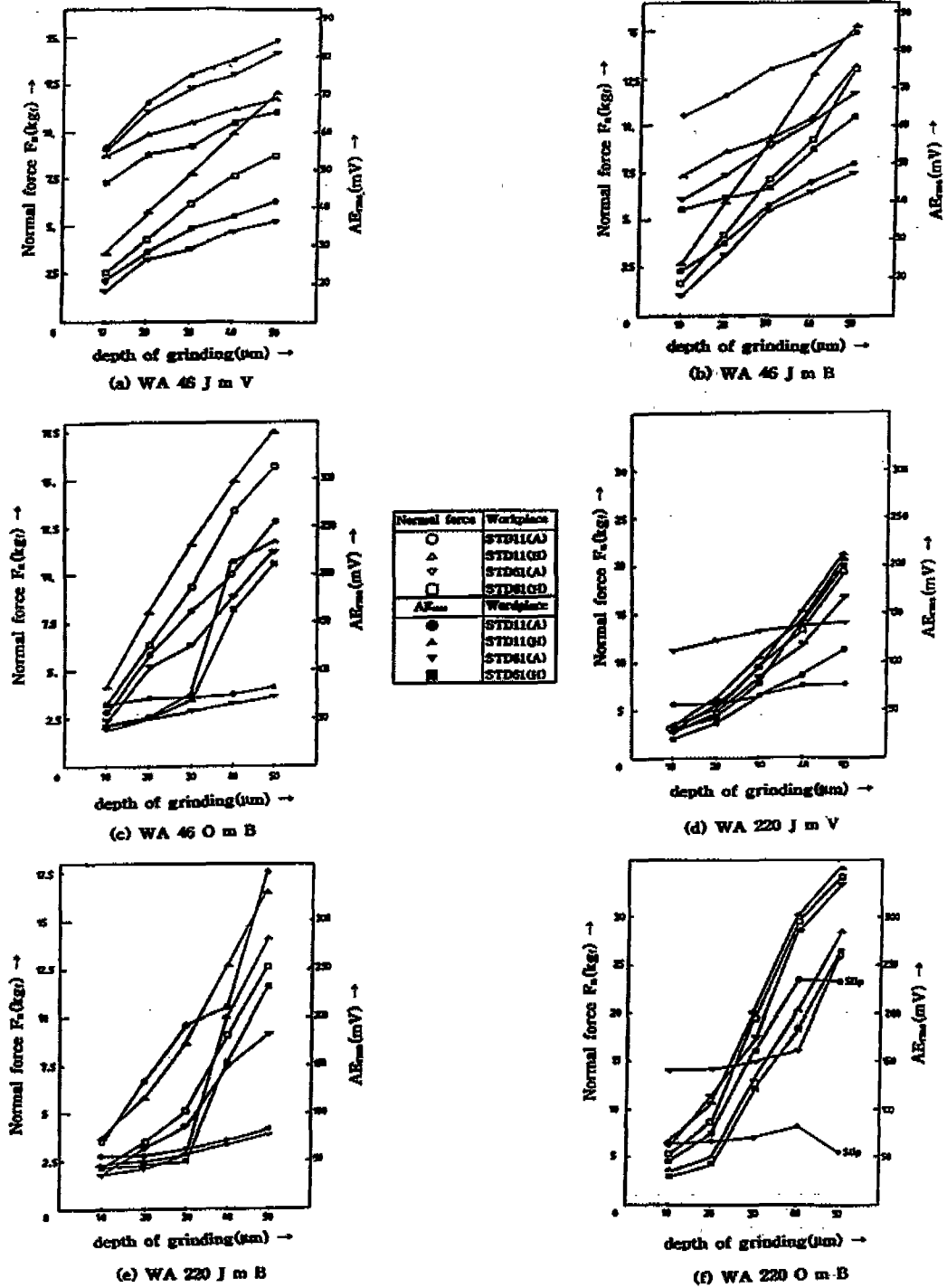


Fig. 5 Normal forces and release point AE_{rms} versus depth of grinding for annealed, hardened STD11 and STD61 by grinding wheels

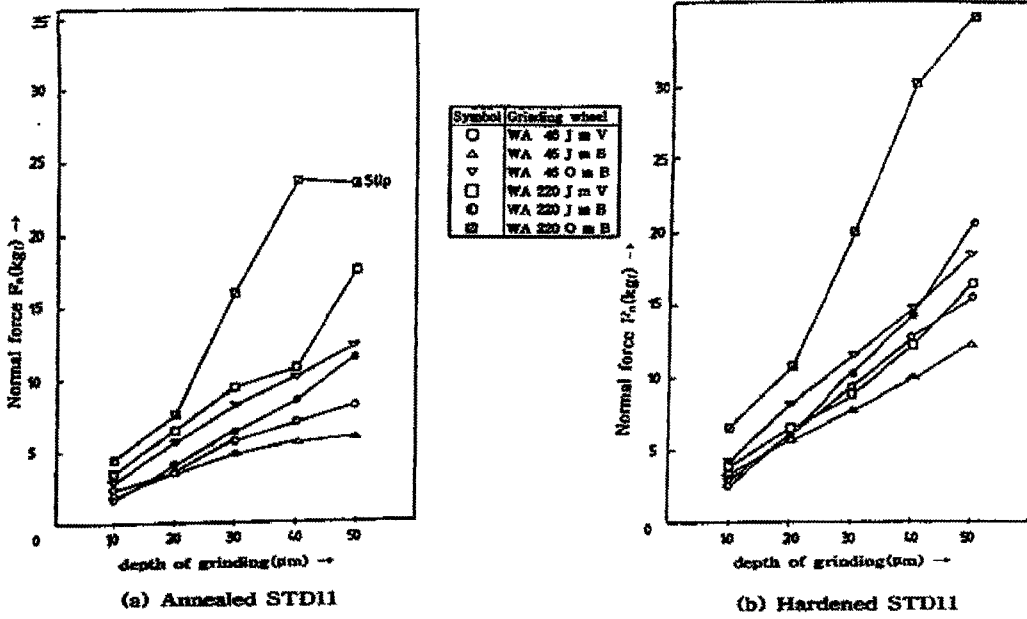


Fig. 6 Normal forces versus depth of grinding for grinding wheels

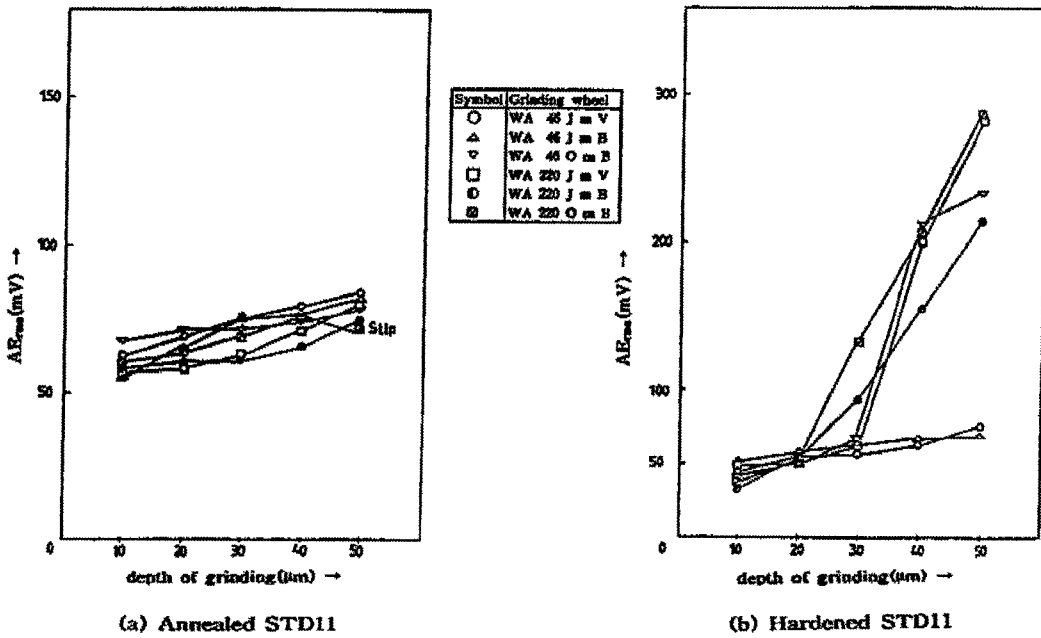


Fig. 7 Release poing AERms versus depth of grinding wheels

용적인 연삭조건에 있어서 드레싱(dressing) 직후의 정상적인 연삭과정에서는 연삭저항 F_n 및 AE신호의 출력이 정성적으로 점차 증가하지만, 연삭숫돌이 마모하여 드레싱을 필요로 하는 비정상적인 연삭조건에서는 연삭가공면층의 극심한 연삭버어닝 및 연삭균열로 인하여 급격히 큰 AE신호출력이 검출된 것이라고 할 수 있다.

그리고 Fig. 5(f), Fig. 6 및 Fig. 7에서 연삭깊이 $40\mu\text{m}$ 를 한계로 하여 연삭깊이 $50\mu\text{m}$ 에서는 연삭저항 F_n 의 변동은 거의 없지만 AERms의 값은 급격히 작은 값을 나타낸다. 이는 연삭과정중 가혹한 연삭조건으로 인하여 로우딩 및 글레이징이 생긴 연삭숫돌과 연삭열로 인하여 연화된 공작물과의 사이에 미끄러짐(slip)이 일어나 연삭가공이 비정상적으로 진행된 결과라고 생각된다. 또한 연삭저항값의 변동이 거의 나타나지 않아 연삭저항의 변화로는 판정하기 어렵지만, 급격히 변화되는 AE_{rms} 값으로부터 고감도의 센싱기능을 갖는 AE계측장치를 이용함으로써 온라인 상태에서의 공정감시 및 이상상태를 검출할 수 있음을 알 수 있다.

4.2 AE에 의한 연삭상태의 이상진단

연삭과정은 연삭숫돌-공작물의 접촉상태라고 할 수 있으며, 연삭가공이 진행됨에 따라 연삭숫돌에는 로우

딩 및 글레이징이 생기고 공작물은 연삭열에 의해 연삭버어닝과 연삭균열이 진전되어 비정상적인 가공상태에 이르게 된다. 이와 같은 이상상태로 인한 AE신호는 연삭과정중 검출되는 AE신호에 혼재되어 있기 때문에 적당한 필터링(filtering)을 하여 이상상태에 의한 AE신호만 검출할 필요가 있다. 그러나 이상상태에서 발생하는 AE신호는 불분명하여 판정하기 어려우므로 여기서는 연삭과정의 진행에 따른 AE신호의 변동량과 AE신호발생의 지속시간의 변화를 파악하여 연삭가공상태를 검토하였다.

Fig. 8 및 Fig. 9는 입도 #46, #220, 결합도 0인 레지노이드결합제 연삭숫돌을 사용하여 열처리하지 않은 STD11재에 대하여 연삭깊이를 10, 20, 30, 40, $50\mu\text{m}$ 로 하여 연삭가공했을 때, 가공시간의 경과에 따른 연삭저항 및 AE신호의 발생패턴을 나타낸 것인데 연삭깊이가 증가함에 따라 AE신호의 진폭 및 AE발생의 지속시간이 정성적으로 증가하고 있음을 볼 수 있다.

그리고 Fig. 8에서 AE에너지가 어느 임계치에 도달하기 전까지, 즉 연삭숫돌과 공작물이 접촉하기 전까지 (0~a구간)는 AE신호의 발생을 거의 볼 수 없고, 연삭숫돌과 공작물의 접촉시작점(b)에서는 AE신호가 급격히 큰 값을 나타냈다. b~c구간에서는 연삭가공에 따른

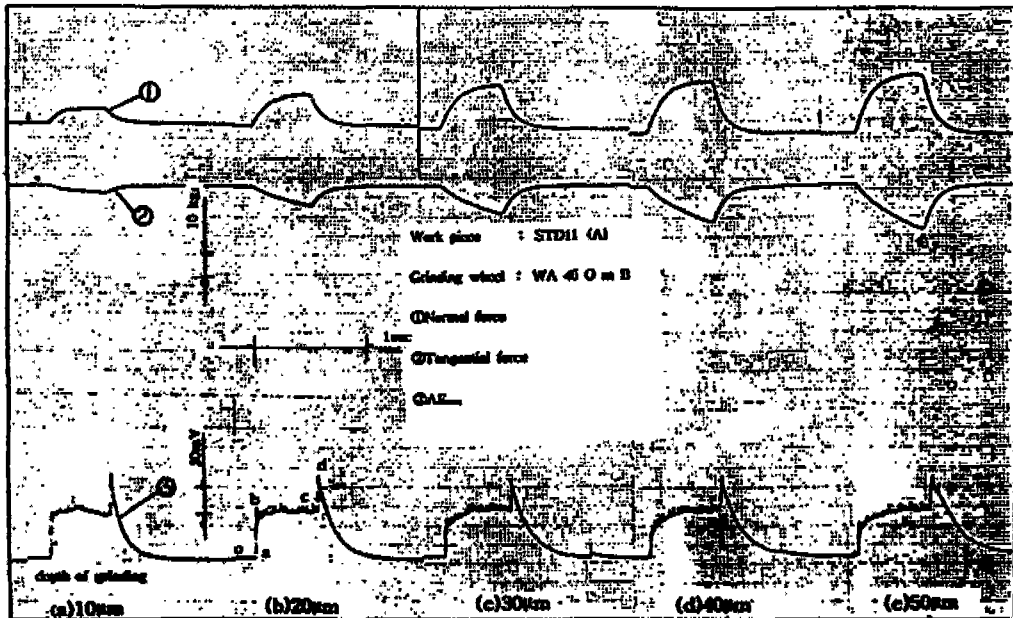


Fig. 8 AERms versus contact time of grinding wheel-workpiece

AE신호의 다소 불규칙적인 변동이 관찰되고, 이와 같은 AE신호의 미소한 불규칙 변동은 입도가 작은 연삭숫돌보다 입도가 큰 연삭숫돌을 사용하여 가공했을 때 큰 AE신호로 검출되었다. b~c구간에서 검출되는 AE신호의 미소한 변동량은 연삭가공중의 숫돌입자의 탈락 또는 미소균열의 전파에 수반되는 AE신호라고 생각된다. 또한 c~d구간에서의 급격히 큰 AE신호는 연삭숫돌이 공작물을 이탈할 때 연삭숫돌과 공작물사이의 비탄성변형이 급속히 변화하여 AE신호의 변동량이 크게 나타난 것이며, d점에서 연삭숫돌이 공작물을 이탈한 것을 알 수 있다.

Fig. 9(e)에서는 과도한 연삭숫돌-공작물의 접촉으로 인하여 연삭버어닝 및 연삭균열이 생기고, 공작물표면에 열적팽창을 일으키게 되어 AE신호발생의 지속시간이 길어지고, AE신호의 불규칙적인 변동이 나타난 것을 볼 수 있다. 이러한 AE신호의 발생패턴은 「연성재료가 연성분열형의 안정균열진전에 따른 소진폭의 AE로 검출되며, 거시적균열과파괴라기보다는 미시적파괴 또는 공작물표면에 생성되는 미소균열의 형성에 수반하는 소성변형이 직접 AE신호의 발생원으로 된다⁽⁹⁾」는 결과와 일치하는 것이다. 그리고 연삭숫돌-공작물의 과도한 접촉상태에서는 공작물 표면층에서 연삭균열의 생성이 급속히 진전되어 이 때 진폭이 큰 AE신호가 검출되며 AE신호발생의 지속시간도 길어지는 것을 볼 수 있다.

따라서 AE신호발생의 초기점은 연삭숫돌-공작물의

접촉시작점, 불규칙적인 소진폭의 AE신호가 검출되는 영역은 연삭가공상태, 그리고 급속히 큰 AE신호가 검출되는 부분은 연삭숫돌-공작물의 이탈상태임을 알 수 있으므로, AE신호발생의 지속시간 및 AE신호의 진폭을 파악함으로써 연삭가공상태의 이상유무를 감지할 수 있다고 본다.

4.3 연삭버어닝과 AE파형특성

연삭이 진행됨에 따라서 나타나는 연삭버어닝은 연삭저항의 양분력 F_n , F_t 및 $AERms$ 의 변동량으로부터 알 수 있다. 연삭버어닝은 공작물의 색조변화를 수반하는 데, 연삭버어닝의 색은 무색→담황색→담갈색→갈색→흑갈색→자색→청자색→청색→흑청색→흑색으로 변화한다⁽⁹⁾. 이러한 색조변화는 공작물에 남아 있는 칩의 누적, 공작물의 열팽창 및 연삭숫돌의 마찰마모축진 등에 의한 영향도 있지만 대부분은 연삭점에서의 열적격화에 의해 생기는 것으로 알려져 있다⁽⁹⁾.

그러나 연삭과정이 대단히 복잡한 조건으로 이루어져 있어 연삭버어닝을 명확히 파악하는 데는 어려움이 있으므로 열적으로 가혹한 연삭조건하에서의 AE신호파형의 진폭과 연삭버어닝의 시간적변화를 관찰하여 검토하였다. AE신호의 선택은 threshold level스위치를 사용하였으며 연삭기 및 외란에 의한 신호를 제거할 목적으로 100kHz-1MHz의 BPF(band pass filter)를 통하여 AE신호파형을 검출하였다.

이와 같은 방법으로 연삭시간의 경과에 따른 AE신호

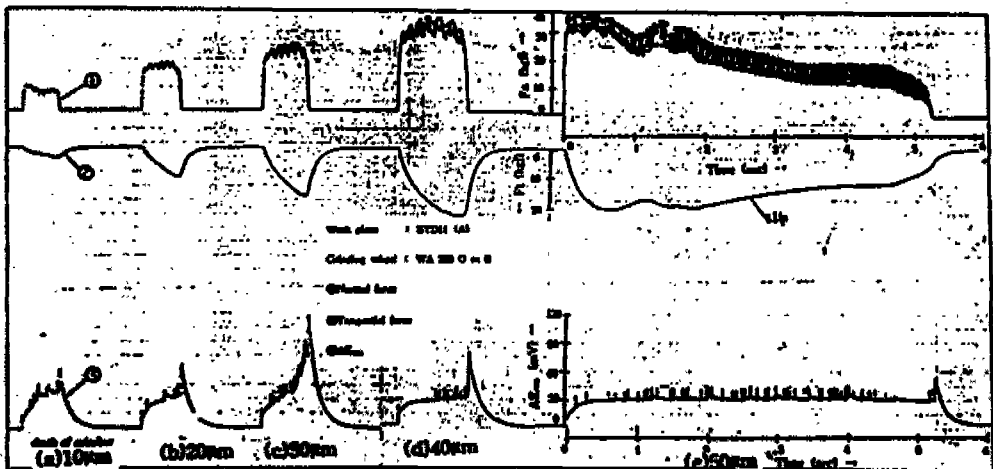


Fig. 9 AERms versus contact time of grinding wheel-workpiece

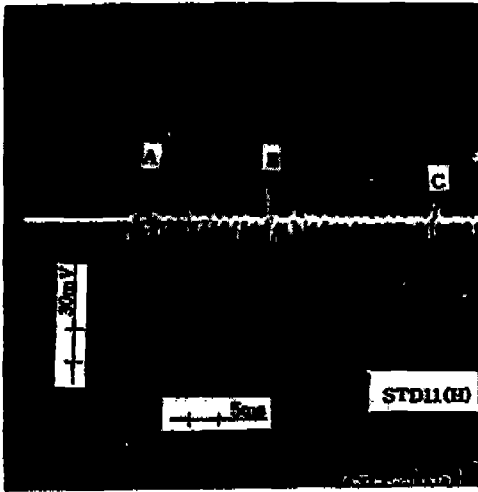


Fig. 10 AE signal of the grinding crack

파형을 오실로스코프로 관찰한 Fig. 10에서 미약하지만 다소 불규칙적인 AE신호파형을 볼 수 있는데, 이것은 드레싱 직후의 정상적인 연삭과정에서 나타나는 0.4MHz이하의 AE신호와 변동경향이 거의 같음을 알 수 있다. 그리고 A, B, C점에서의 급격한 AE신호진폭이 나타나는 시기는 연삭머어닝으로 인한 연삭균열이 생긴 시점으로 보이며, 연삭균열이 발생하면 0.6~0.8 MHz의 측정주파수대역에서 이러한 돌발형 AE펄스신호가 나타나고, 그 크기는 연삭균열의 크기에 대응하여 출력되는 것이라고 할 수 있다.

Fig. 11은 연삭머어닝으로 인한 연삭균열을 확인하기 위하여 가공된 공작물표면을 SEM(AKASHIDS-130C)으로 촬영한 것인데 백색의 알루미늄질 스톨입자가 용융된 것과 같은 모양을 볼 수 있다. 이는 가혹한 연삭조건으로 인하여 알루미늄질 스톨입자가 강제인 공작물표면에 융착된 것으로 보인다. 또한 가공면의 색조는 연삭과정의 후기에 있어서는 흑갈색에서 자색으로 변화되며, 산화가 진행됨에 따라 연삭머어닝으로 인한 연삭균열이 활발하게 진전되어 Fig. 10의 A, B, C점과 같이 AE신호의 급격한 진폭분포가 불규칙하게 나타난다고 할 수 있는데, 연삭머어닝의 발생경과에 따른 AE신호파형은 AE_{rms} 전압 및 주파수변화와 정성적으로 같은 경향을 나타낸다.

따라서 공작물표면의 색조변화와 AE신호파형의 관찰로부터 연삭머어닝 및 연삭균열과 같은 가공상태의 이상을 전달할 수 있을 것이다. 또한 적절한 측정주파수

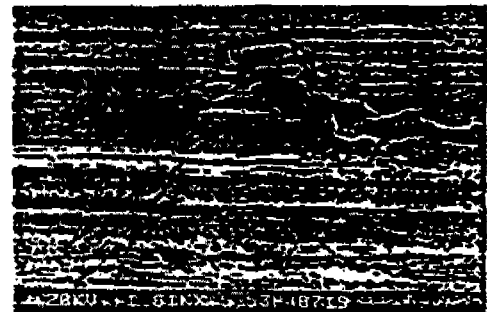
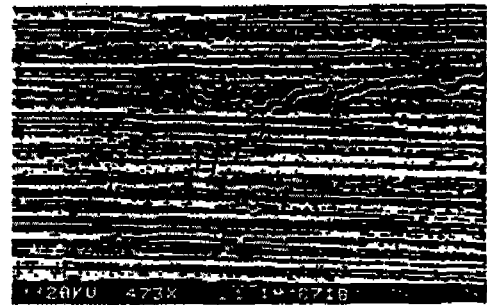
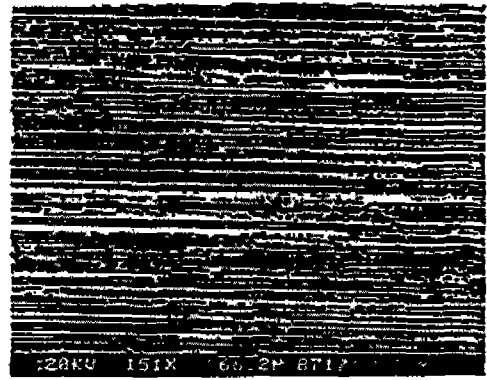


Fig. 11 Micro and macro grinding crack hardened STD11 by resinoid bond grinding wheel (WA 46 O m B)

대역(본 실험에서는 0.6~0.8MHz)의 BPF와 wave memory에 내장되어 있는 내부 trigger를 이용하여 threshold값을 설정하고, 그 값 이상을 전압에 해당되는 파형이 입력되면 trigger가 작동하여 그 신호가 기억되도록 함으로써 AE를 이용한 자동이상진단시스템이 가능할 것으로 판단된다.

5. 결 론

연삭가공상태의 특성과 가공상태의 감시 및 이상진단에 대한 AE의 적용가능성을 규명하기 위하여 열처리하지 않은 STD11, STD61재 및 경화열처리된 STD11, STD61재를 WA계 비트리파이드 및 레지노이드결합제 연삭숫돌을 사용하여 평면연삭시험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 탄성이 낮고 기공률이 높은 연삭숫돌일수록 연삭저항 및 AE_{rms} 값이 크게 나타났다.

(2) 동일한 연삭조건인 경우라도 입도가 크고 결합도가 높은 연삭숫돌일수록 AE_{rms} 신호가 큰 값으로 나타났으며, 공작물의 경도가 낮을수록 AE_{rms} 값이 크게 검출되었다.

(3) 연삭저항의 변화로는 판단이 어려운 연삭숫돌의 로우딩, 글레이징이나 숫돌입자의 탈락 등에 의한 영향이 AE로 검출 가능하였다.

(4) AE발생패턴으로부터 연삭숫돌-공작물의 접촉시작점, 가공상태 및 연삭숫돌-공작물의 이탈점 등을 정확히 파악할 수 있으며 연삭숫돌-공작물의 이탈점에서의 AE_{rms} 와 연삭저항(F_n , F_t)과는 잘 대응하였다.

(5) AE신호파형 및 공작물표면의 현미경(SEM) 관찰로부터 연삭버어닝현상에 대한 AE를 이용한 In-process계측의 가능성을 기대할 수 있다.

(6) 연삭조건에 따른 threshold값을 설정함으로써 이상상태의 감시 및 연삭기의 자동제어 등으로의 활용이 기대된다.

참 고 문 헌

1. 江田 弘, 貴志浩三, “研削き裂起源に対するマルテンサイト晶の衝突裂とひすみの存在意義-マルテンサイト鋼の研削の生成機構(第1報)-”, 精密機械, 第43卷, 第12號, pp.30-36, 1977.
2. 江田 弘, 貴志浩三, 中島正辛, 榎野義昭, 勝原彰彦, “AEを用いた研削き裂のインプロセス検出”, 精密機械, 第50卷, 第8號, pp.82-87, 1983.
3. 江田 弘, 貴志浩三, 白井信行, 榎野彰彦, 勝原彰彦, “アコースティックエミッションを用いた研削焼けのインプロセス検出”, 精密機械, 第49卷, 第9號, pp.103-108, 1983.
4. Elijah Kannatey-Asibu, Jr. and D. A. Dornfeld, “Quantitative Relationships for Acoustic Emission from Orthogonal Metal Cutting”, Trans. ASME, Ser. B, 103, 3, 330, 1981.
5. 日本機械學會編, “機械加工計測技術”, 朝倉書店, pp.33-39, 1986.
6. 中島利勝, “研削の研究と手法”, 精密工學會誌, 第6卷, 第1號, pp.9-12, 1994.
7. D.Dornfeld and He Gao Cai, “An Investigation of Grinding and Wheel Loading Using Acoustic Emission”, Trans. ASME, J. Engg. Ind., Vol.106, pp.28-33, 1984
8. 江田 弘, 榎野義昭, 貴志浩三, “切削 °研削き裂の進展とAEによるき裂検出”, 精密機械, 第50卷, 第10號, pp.51-58, 1984.
9. 江田 弘, 貴志浩三, 榎野義昭, 勝原彰彦, 山田卓郎, “AEを用いた 砥石-工作物のタッチセンサ”, センサ技術, 第3卷, 第11號, pp.54-60, 1983.”