

연삭 숫돌 상태 감지 진단에 관한 연구

A Study on the Monitoring Technology of Prediction for
Grinding Wheel Condition

이정현*, 강재훈, 김선호, 김원일***, 이윤경***, 왕덕현***

* : 경남대학교 대학원

** : 한국기계연구원 자동화연구부

*** : 경남대학교 기계공학과

ABSTRACT

Recently, manufacturing work has been transformed to small scale production form with various items to act up to user's expectation from mass production with a little items required in the past. Then FMS using NC type mother machinaries has been applied actively also in domestic manufacturing line to meet thus tendency, but there are many machining troubles occurred in work process not be settled yet. Nowdays high efficiency has been required no less than high precision in grinding work for the improvement of productivity.

In this study, to represent more advanced FMS can be adapted to thus situation In-process type monitoring method using AE and Current sensors is suggested to investigate the machining condition in grinding process. As results from this experimental study, it is recognized well that grinding conditions and dressing point of in time can be estimated effectively using monitoring method suggested. Furthermore, surface shape of grinding wheel on voluntary point of in time can be predicted indirectly through the observation and comparison of AE signal waveform obtained as performance of certain dressing work.

1. 서 론

유연성있는 생산 시스템을 갖추기 위하여 NC 공작기계를 활용하지만, 높은 가공 재현성을 얻을 수 있다는 장점 이외에, 공작물 재질의 불균일성, 공구 마멸 및 파손 등의 돌발 사태에 대하여 적절히 대처할 수 없다는 문제점이 따르게 된다.

따라서 가공 작업이나 공구의 비정상 상태에 대한 감시 및 대책에 관한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 가공 저항, 절삭 동력 및 가공 음 등을 가공 공정중에 연속적으로 측정하기 위하여 다양한 센서를 활용한 감지 진단 기법들이 적용되고 있다.

최근에 있어서는 공작물의 다큐질 가공 기법에 적용되는 연삭 가공에 있어서도 표면 품위의 향상 뿐만 아니라 생산성 극대화를 위한 가공 능률 향상에 관한 대책이 요구된다.

고품위의 연삭 가공면을 얻는 한편, 연삭 능률을 항상 시키기 위한 대책의 일환으로서 작업중의 재드레싱 시점을 적절히 설정하는 방안을 들 수 있다.

그러나 국내의 대부분 작업 현장에서는 일반적으로 작업자의 경험적 지식에 의존하여 나름대로 재드레싱 시기를 결정하고 있는 실정이다.

본 연구에서는 AE(Acoustic Emission) 센서 및 Current 센서를 사용하여 연삭 공정중의 상태를 연속적으로 감시함으로써 연삭 숫돌 마멸 등의 거동을 파악하여 재드레싱 시기를 적절히 설정하는 한편, 연삭 가공면의 품위를 고찰하고, AE 센서 신호의 비교에 의하여 간접적으로 연삭

숫돌 상태 변화를 예측할 수 있는 방안을 제시함으로
연삭 숫돌의 감지 진단 기법을 정립하고자 하였다.

2. 연삭 상태의 모니터링

2.1 AE 센서의 검출 신호 처리 방법

AE 센서에 의하여 검출된 연삭음의 과형은 전기적 신호로 변환되지만, 초기에 검출된 신호는 일반적으로 μV , mV 정도의 매우 미약한 신호로 있으므로, 적절한 신호 처리를 위해서는 수천 또는 수만 배의 증폭 과정이 요구된다. 증폭 과정 이후의 AE 신호는 일반적으로 dB로 표시하며 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$dB = 20 \log(V_0/V_i) \dots \dots \dots \text{식 (1)}$$

여기서, V_i 와 V_0 는 각각 증폭 전후의 AE 신호 크기를 나타낸다.

연삭 가공에 있어서의 연삭 숫돌 마멸이나 마찰 과정에 있어서는 연속형의 AE 신호가 발생한다.

실효 전압치는 이러한 신호들을 효율적으로 이용할 수 있는 인자가 되며, 다음의 식(2)로 산정할 수 있다. 즉, 시간의 변화(t)를 기준으로 한 AE 신호의 과형을 $x(t)$ 로 가정하여, 실효 전압치를 나타낸 것이다.

$$RMS = \left\{ \int_{-\infty}^{\infty} x^2(t) dt \right\}^{1/2} \dots \dots \dots \text{식 (2)}$$

2.2 Current 센서의 검출 신호 처리 방법

자기에 응답하는 방식의 Current 센서는 근접 스위치나 모터 제어용으로 많이 사용되고 있으며, 연삭 동력의

변화를 판별하기 위하여 연삭반의 스판들 구동용 모터의 전류를 측정하였다.

홀 소자는 고체의 훌 효과를 이용한 자기 센서의 일종으로써, 출력 전압이 자계에 직접 비례한다는 특성을 지닌다.

홀 전압과 제어 전류의 관계식을 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_H = K \cdot I_c \cdot B \quad \dots \dots \dots \text{식 (3)}$$

K : 감도(mV/mA·KG)

I_c : 제어 전류(mA)

B : 자계(KG)

V_H : 전위차(mV)

식 (3)으로 부터 알 수 있듯이 홀 전압은 감도 K와 제어 전류 I_c , 자속 밀도 B에 의하여 결정된다.

3. 가공 실험

3.1 실험 장치 및 시스템 구성

본 실험에서 사용한 연삭 실험 시스템의 개략도 및 사진을 각각 Fig. 1과 Photo 1에 나타내었다.

연삭반은 범용의 횡축 평면 연삭반(Model type YGS-50A, KOREA)을 사용하였으며, 주축 동력은 1.5kW 이다.

AE(S9204, DUNEGAN/ENDEVCO, USA) 센서를 사용하여 연삭 가공에 있어서의 가공음을 측정하는 한편, Current(Hall Type) 센서를 사용하여 연삭 가공시의 전류를 측정하여 간접적으로 소요 동력을 예측하였다.

연삭 가공후의 표면 거칠기는 3차원 비접촉 표면 측정기(NANOSURF 488, FRANCE)를 사용하여 측정하였다.

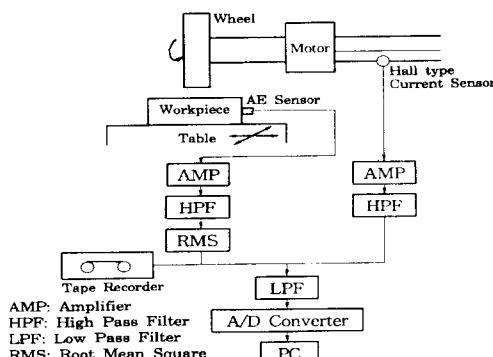


Fig. 1 Diagram of Grinding Experiment System

AE 센서는 신호 검출의 최적화를 위한 예비 실험을 통하여 공작물 측면에 마그네트 베이스를 이용하여 부착하는 방법이 가장 적절하다고 판명되었다. 검출 신호는 내장형의 증폭기를 통하여 충분히 증폭한 후, 고주파 및 저주파 필터링을 한 후 RMS 값을 취하여 Tape Recorder에 기록하였다.

연삭 동력의 변화를 파악하기 위하여 홀 타입의 전류 센서를 연삭 숫돌의 주축 구동용 모터에 연결하여 부착한

으로써 검출 신호를 받았으며, 고주파 필터링을 한 후 RMS 값을 취하여 Tape Recorder에 기록하였다.

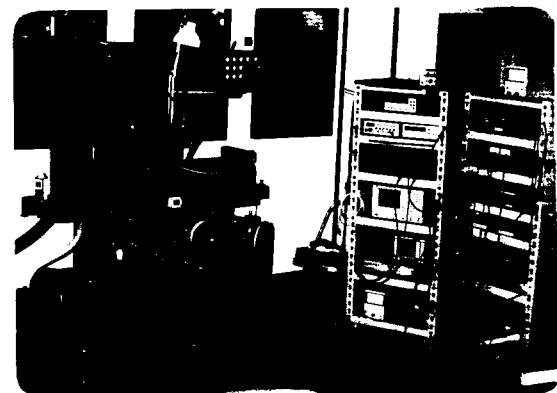


Photo. 1 Photograph of Grinding Experiment System

본 실험에서는 외경 180mm, 폭 19mm의 1A1형 WA60K7V 연삭 숫돌과 116(L)×80(W)×60(H)의 크기를 지니는 SM45C의 일반강을 각각 연삭 공구와 공작물로써 사용하였다.

공작물의 기계적 특성치는 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Mechanical properties of Workpiece(SM45C)

구 분	Tensile strength (kg/mm ²)	Yield point (kg/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (Hb)
SM45C	69	41	18	198

3.2 실험 방법

연삭 숫돌의 진원도와 가공면 상태를 생성하기 위하여 수행한 드레싱 공정에 있어서는 2,030m/min의 연삭숫돌 주속도와 12m/min의 테이블 이송 속도로써 20μm의 절삭 깊이량을 가하여 5회 실시하였다.

절삭 깊이량을 5,10,20,40,80,120,160,200,240,280 μm로 증대하는 트래버스 컷팅형 연삭 가공을 수행함으로써, 연삭 숫돌 가공면 상태의 거동을 파악하고자 하였다.

연삭 숫돌 가공면의 마멸 진전에 따른 형상 변화를 관찰하고자 각 경우에 대하여 20μm의 드레싱 절삭 깊이량으로서 1회씩 실시하였다.

총 제거 누적 깊이량의 변화 따른 AE 검출 신호 및 Current 검출 신호의 차이와 가공 수행 직후에 있어서 재 드레싱을 수행할 때의 AE 검출 신호의 변화, 가공면의 표면 거칠기, 가공면 상태를 촬영함으로써 종합적으로 관찰, 비교하여 적절한 드레싱 시기를 설정하고 연삭 숫돌 가공면의 형상을 간접적으로 예측하고자 하였다.

Table 2에 실험 조건을 나타낸다.

Table 2 Experimental Conditions

Grinding Machine	Vertical type Surface Grinding machine Model type YGS - 50A
Motor Power of Grinding Spindle	1.5kW
Workpiece	SM45C
Grinding Wheel	WA60K7V Size ; 180×33×19
Grinding Cutting Type	Down & Up Cutting
Principal Grinding Speed	2030m/min (2590rpm)
Table Speed	12m/min
Depth of Cut	5μm, 10μm
Cross feed rate	10mm/pass
Dressing	Dresser ; Single Point type Dia. dresser Depth of cut : 20μm Travers Cutting Type Soluble type Coolant (Water:Coolant=40:1)

3.3 실험 결과 및 고찰

드레싱을 수행한 후에 10μm/pass의 절삭 깊이량, 10mm/pass의 크로스 퍼드량을 가하며 드레버스 연삭 방식으로 공작물의 총 제거 누적량을 증대해 가는 실험을 수행한 경우에 있어서, AE 검출 신호의 변화 과정을 구하여 Fig. 2에 나타내었다.

Fig. 2로 부터 연삭 슬롯과 공작물간의 간섭이 처음 발생하는 초기 연삭 구간에서는 AE 검출 신호가 급증하는 경향을 알 수 있다.

이러한 결과는 드레싱 직후의 불안정하게 지지되어 있는 일부의 슬롯 입자들이 간섭 현상에 의하여 탈락되어하기 때문이라고 생각한다.

그후에 점차적으로 완만하게 상승하는 AE 검출 신호는 약 130mm³/mm의 총 제거 누적량에 도달하여 급증하였다가 다시 약간 ↓(II)↑(III) 나타낸다.

이러한 결과로 부터 연삭 슬롯의 마멸이 약간씩 증가하면서 부분적으로 슬롯 입자가 탈락되고 자생 절인이 이루어지고 있음을 알 수 있다.

약 280mm³/mm의 총 제거 누적량이 이루어진 시점에서 AE 검출 신호가 급증하다가 다시 저하되는 현상은 슬롯 가공면 전체에 있어서 마멸이 상당히 이루어지는 한편, 침 포켓에 과다하게 메워져 있던 침들로 인하여 치평 작용보다는 과다하게 발생되는 미끄럼 작용으로 인하여 정상 연삭이 이루어지지 않다가 자생 절인 과정이 이루어져 연삭 슬롯 가공면 전체에 걸쳐서 새로운 절삭 날꼴이 돌출되기 때문이라고 생각한다.

Fig. 2에 표시한 전체적인 연삭 과정중에서 A~H의 각 총 제거 누적량에 대한 연삭 상태를 파악하고자, AE 및 Current 검출 신호의 파형을 비교하여 Fig. 3, 4에 나타내었다.

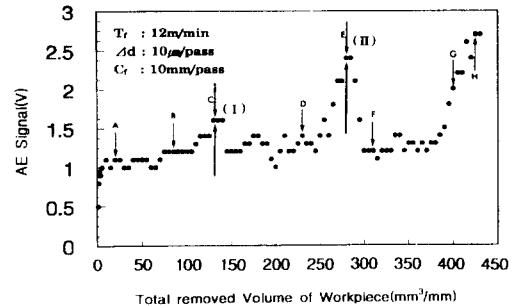


Fig. 2 Variation of AE Signal According to the Total removed Volume of Workpiece.

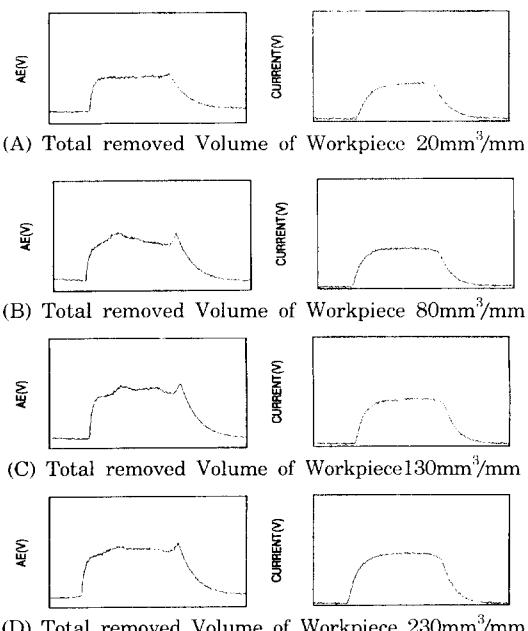


Fig. 3 Comparison of AE & Current Signal according to the Total Removed Volume of Workpiece(A, B, C, D)

초기 드레싱을 실시한 후 연삭 가공을 약간 수행한 경우에 있어서는 Fig. 3의 (A)와 같이 AE 및 Current 검출 신호가 모두 안정된 파형을 유지하는 한편, 파형의 기복도 거의 나타나지 않음으로써 연삭 슬롯의 가공면이 드레싱 직후의 상태와 거의 차이가 없어서 매우 원활한 절삭 작용이 이루어짐을 알 수 있다.

총 제거 누적량의 점차적인 증가에 따라서 Fig. 3의 (B)와 같이 AE 및 Current 검출 신호가 가지는 한편, AE 검출 신호의 파형상 절삭 깊이량이 가해지는 구역에 있어서 기복이 형성되고 최대 검출 신호가 크게 나타남으로써, 연삭 슬롯의 가공면 상태에서 부분적인 연삭 막힘 현상이 초래되어져 (A) 상태와 비교하여 정상 연삭 상태가 유지되지 않는 한편, 절삭 작용이 원활하지 못하여 Current 검출 신호가 커짐을 알 수 있다.

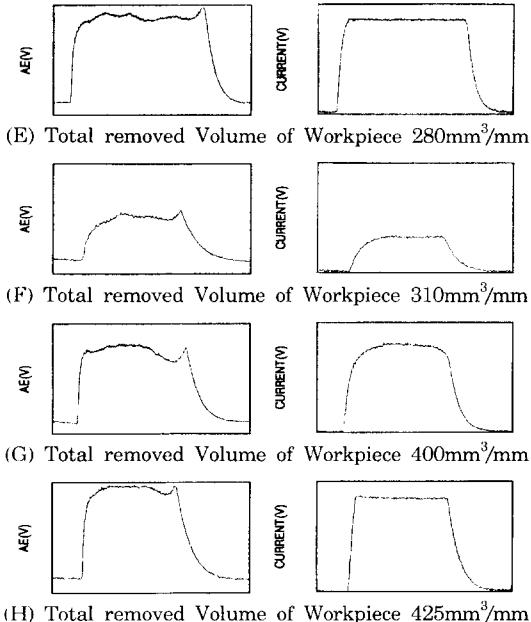


Fig. 4 Comparison of AE & Current Signal according to the Total Removed Volume(E, F, G, H)

Fig. 3의 (C)에서는 연삭 눈막힘 현상이 심화되는 한편, 연삭 솟돌 입자들이 마멸이 초래되어져 AE 및 Current 검출 신호가 (B)에 비하여 상대적으로 커지고, AE 검출 신호의 파형상에 기복이 두드러지게 형성됨으로써 절삭 사용이 충분히 이루어지지 못함을 알 수 있다.

이 후에 있어서 편마모 현상이 집중되어짐으로써, 연삭 솟돌 입자들의 부분적인 털락 및 새로운 절삭 날끌이 돌 속 작용에 의한 1차적인 자생 절인 현상이 발생하여 Fig. 3의 (D)와 같이 AE 및 Current 검출 신호가 약간 작아지고, AE 검출 신호의 파형이 (A)에서와 같이 완만하게 나타남으로써 절삭 작용이 다소 잘 이루어짐을 알 수 있다.

Fig. 4의 (E)에서는 침 포켓이 부족한 상태에서 연삭 눈막힘 현상이 쉽게 극대화 되고, 전반적인 연삭 솟돌 입자들이 마멸 상태가 심화되어 AE 및 Current 검출 신호가 극대치가 됨으로써, 절삭 작용이 거의 이루어지지 않는 한편, 마찰력의 발생이 증대되어 연삭 놀음 현상이 뚜렷이 발생되고 있음을 알 수 있다.

이 후에 있어서 전반적인 연삭 솟돌의 가공면에 자생 절인 현상이 고루 발생하여 새로운 절삭 날끌의 정상적인 절삭 작용에 의하여 연삭 가공이 원활하게 이루어져 Fig. 4의 (F)와 같이 마치 드레싱 직후의 (A)와 같은 AE와 Current 검출 신호의 크기가 나타남을 알 수 있다.

총 제거 누적량의 계속적인 증대에 따라서 다시 Fig. 4의 (G)와 (H)같이 AE와 Current 검출 신호가 다시 커짐도 확인할 수 있다.

드레싱 공정은 연삭 솟돌 가공면 상의 결합제 층을 제거하여 연삭 솟돌 입자들이 적당하게 돌출되도록 하는 한

편, 절삭 날끌이 잘 형성되도록 하는 작업으로써, 평탄한 가공면을 지니는 연삭 솟돌의 경우라고 하더라도 드레싱 작업이 적절히 수행되지 않으면 양측 모서리 부위의 직각도가 이루어지거나, 혹은 정상적인 가공을 수행하기 곤란하다. 즉, 드레싱 공정시의 절삭 깊이량의 변화에 따라서 절삭 깊이가 가해지는 초기와 완료 부위에 있어서의 탄성 변형과 회복의 정도가 크게 달라지며, 연삭 솟돌 결합도 등의 사양에 의하여, 경우에 따라서는 양측 모서리가 무너져 심한 형상 결함을 초래할 수도 있다.

연삭 가공이 진전됨에 따라서 점차적으로 총 절삭 제거 누적량이 증대할 경우에 임의의 시점에 있어서의 연삭 솟돌 가공면 상태를 연속적(In-process type)으로 파악하기 위하여, 드레싱 공정을 적용했을 때 발생하는 AE 검출 신호의 파형을 비교하는 간접적인 측정 방식을 모색하였다.

Fig. 5, 6, 7은 총 절삭 제거 누적 깊이량이 $20\sim240\mu\text{m}$ 일때의 드레싱 공정에 따른 AE 검출 신호를 비교하여 나타내었다.

Fig. 5의 (A)로 부터 연삭 가공을 약간 수행했을 경우에는 연삭 솟돌 가공면이 초기 드레싱을 수행했을 경우와 비교하여 거의 차이가 없는 정상적인 상태를 유지하고 있음을 알 수 있으며, 파형상의 요철 형상도 두드러지게 나타나 연삭 솟돌 입자의 돌출 상태나 정상 날끌이 잘 이루어져 있음도 확인할 수 있다.

총 절삭 깊이량이 점차적으로 증대함에 따라 연삭 솟돌 가공면의 양측 모서리 부위에 있어서 편마모 현상이 나타나게 되어 가운데 부위가 불록하게 되는 현상으로 서서히 변화되고 있음을 Fig. 5의 (B)에 나타난 AE 검출 신호 파형으로 부터 알 수 있다.

연삭 솟돌 입자의 절삭 날끌이 마멸되면서 침 포켓 부위가 작아지게 되어서 연삭 눈막힘 현상이 발생되며, 따라서 침 포켓이 메워져 있는 부위와 정상적인 부위에 있어서의 절삭 소요 에너지의 차이가 발생하여 AE 검출 신호 파형상의 기복이 형성되고 요철 부위의 정도가 상대적으로 작아짐도 역시 Fig. 5의 (B)를 통하여 확인할 수 있다.

연삭 눈막힘 현상이 두드러지게 나타나고 연삭 솟돌 입자의 절삭 날끌 마멸 현상이 심화되면서 상대적으로 취약한 연삭 솟돌 가공면 상의 부위에 있어서 자생 절인 효과가 생성되면서 Fig. 5의 (A), (B)와 같은 AE 검출 신호 파형으로 형상이 반복적으로 이루어짐을 관찰할 수 있다.

부분적인 자생 절인 현상이 이루어지다가 연삭 솟돌 가공면 상의 형상이 다시 초기 드레싱 실시 후와 같은 거의 편평한 상태로 이루어지지만, 날카로운 솟돌 입자의 절삭 날끌은 형성되지 못하고 부분적으로 비정상적인 상태를 유지하게 됨을 Fig. 7의 (A), (B)의 AE 검출 신호 파형으로서 확인할 수 있다.

$5\mu\text{m}/\text{pass}$ 의 절삭 깊이량으로 $80, 200\mu\text{m}$ 의 총 절삭 제거 누적량이 되도록 가공을 수행한 후에 각각 드레싱을 한 경우에 있어서 나타난 AE 검출 신호 파형을 Fig. 8의 (A), (B)에 나타내었다.

Fig. 8의 (A)와 Fig. 5의 (B)를 비교하면 절삭 깊이량을 작게 가하는 경우에 총 절삭 제거 깊이량이 동일해도 상

대적으로 연삭 슷돌의 형상 변화가 거의 나타나지 않고 절삭 날끌의 마멸만이 다소 진행된 상태임을 알 수 있다.

또한, Fig. 8의 (B)로부터 200 μm 의 총 절삭 제거 깊이량이 되었을 때 10 $\mu\text{m}/\text{pass}$ 의 절삭 깊이량으로 160 μm 의 총 절삭 제거 깊이량이 되도록 가공한 Fig. 6의 (A)에서의 AE 검출 신호 파형과 유사하게 연삭 슷돌의 편마멸 현상이 나타남을 알 수 있다.

이러한 결과로 부터 동일한 연삭 슷돌과 가공 조건을 이용해서 가공을 수행하더라도 절삭 깊이량의 변화가 연삭 슷돌의 마멸 현상에 큰 영향을 줄 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

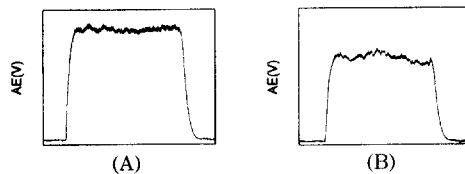


Fig. 5 Total Removed Depth 20 μm , 80 μm after Dressing(Depth of cut 10 μm)

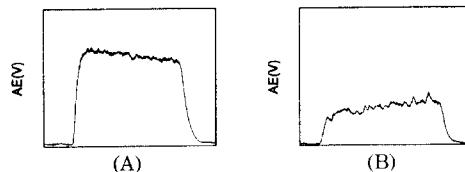


Fig. 6 Total Removed Depth 120 μm , 160 μm after Dressing(Depth of cut 10 μm)

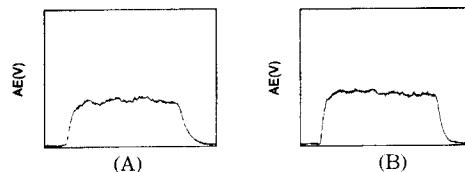


Fig. 7 Total Removed Depth 200 μm , 240 μm after Dressing(Depth of Cut 10 μm)

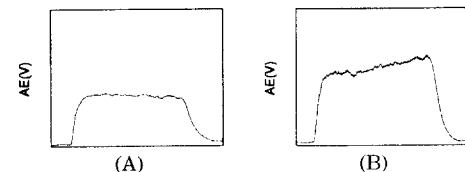


Fig. 8 Total Removed Depth 80 μm , 200 μm after Dressing(Depth of cut 5 μm)

Fig. 9에는 총 절삭 제거 깊이량에 따른 가공면의 표면 거칠기 값 Ra를 비교하여 나타내었다.

Fig. 9로 부터 표면 거칠기 값 역시 총 절삭 제거 깊이량이 증가할 수록 높아지고, 절삭 깊이량을 적게 가하는 경우에 있어서 상대적으로 낮은 값이 나타남을 알 수 있다.

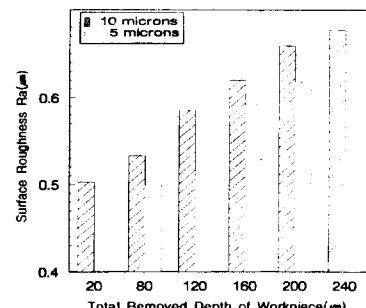


Fig. 9 Variety of Total Removed Depth by Ra

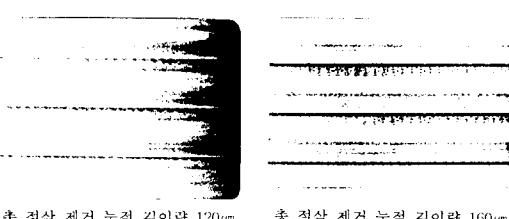
10, 5 $\mu\text{m}/\text{pass}$ 의 절삭 깊이량을 각각 가하며 연삭 가공을 수행하는 경우에 있어서 총 절삭 제거 깊이량의 증대에 따른 공작물의 표면 상태를 촬영하여 Photo. 2, 3에 나타내었다.

Photo. 2, 3으로 부터 총 절삭 제거 깊이량이 증가할 수록 연삭 놀음 및 채터 진동 무늬의 발생이 점차 두드러지게 나타남으로써 가공면의 표면 상태가 악화됨을 확인할 수 있다.

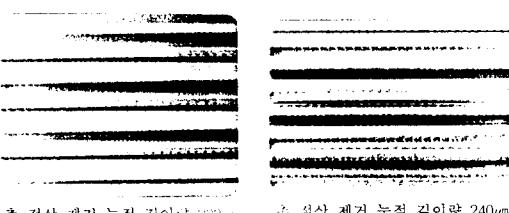
Photo. 3로 부터 상대적으로 절삭 제거 깊이량을 적게 가하는 경우에 있어서 가공면의 표면 상태가 양호함을 알 수 있다.



총 절삭 제거 누적 깊이량 20μm
총 절삭 제거 누적 깊이량 80μm



총 절삭 제거 누적 깊이량 120μm
총 절삭 제거 누적 깊이량 160μm



총 절삭 제거 누적 깊이량 200μm
총 절삭 제거 누적 깊이량 240μm

Photo. 2 Workpiece Surface Photograph of Each Total Removed Depth after(Depth of cut 10 μm)

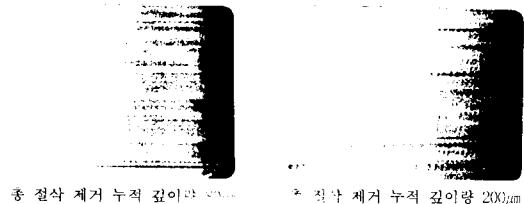


Photo. 3 Workpiece Surface Photograph of Each Total Removed Depth after(Depth of cut 5μm)

4. 결 론

본 연구를 수행함으로써 얻은 주요한 결과들을 나타내면 다음과 같다.

1. AE 및 Current 센서의 검출 신호로써 가공 공정중의 연삭 솟돌 상태의 변화를 간접적으로 예측할 수 있으며, “초기 마멸 \Rightarrow 정상 연삭 \Rightarrow 마멸 급증” 상태의 연삭 거동 유형과 연삭 솟돌의 자생질인 현상이 나타남을 알 수 있다.
2. $10\mu\text{V}/\text{pass}$ 의 절삭 깊이량을 가하는 트레버스 방식의 연삭 가공에 있어서 약 $80\mu\text{m}$ 의 총 절삭 제거 깊이량이 되는 시점에서 연삭 솟돌의 마멸 현상이 두드러지게 나타남을 알 수 있다.
3. AE 및 Current 센서를 이용한 연속 감시 방법에 의하여 가공 공정중의 연삭 상태를 효율적으로 진단할 수 있으며, 재드레싱 시기를 적절히 설정할 수 있다.
4. AE 센서의 검출 신호를 관찰, 비교함으로써 초기 드레싱 작업에 있어서 생산성을 고려하는 한편, 연삭 솟돌 가공면의 형상 결함을 억제하기 위해서는 절삭 깊이량을 $10\mu\text{m}/\text{pass}$ 로 가하는 경우가 가장 바람직함을 확인할 수 있다.
5. 가공 공정중에 $20\mu\text{m}/\text{pass}$ 의 절삭 깊이량을 가하는 드레싱 작업을 수행하여 얻은 AE 센서의 검출 신호 파형을 관찰, 비교함으로써 임의의 시점에서의 연삭 솟돌 가공면 형상을 간접적으로 예측할 수 있다.
6. 동일한 연삭 솟돌과 가공 조건을 이용하여 가공을 수행하더라도 절삭 깊이량의 변화가 연삭 솟돌의 마멸 현상의 발생에 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. 謝榮折, 稲崎一郎, “AEを利用した日直しおよび研削プロセスの監視”, 日本機械學會論文集, 1984, Vol. 51, No. 468
2. S. Matsui, K. Syoji, "On the Mechanism of Diamond Dressing", JSPE, Vol. 49, No. 9, 1983, p. 1229
3. R. Honda, "Effects of Dressing Conditions on Periodicity of Ground Surface Roughness", JSPE, Vol. 50, No. 2, 1984, p. 371
4. 小野浩二, “研削仕上”, 横書店, 東京, 1962, p.1
5. 佐藤健兒, “切削理論(1) 磨粒と砥石による加工”, 謹文堂新光社, 東京, 1956, p. 76

6. 機械振興協會技術研究所, “加工技術データファイル”, 東京, 1984, p. 91
7. 大河出版社, “高能率研削”, 1980, p. 113
8. S. Kawamura, M. Mitsuhashi, "Studies on the Fundamental of Grinding Burn(3rd Report)", JSPE, Vol. 49, No. 6, 1981, p.1134
9. Hiroshi EDA, Kozo KISHI, Nobuyuki USUI, Yoshiaki KAKINO, Akihiko FUJIWARA, "In-Process Detection of Grinding Burn by Means of Utilizing Acoustic Emission", JSPE, 1983, Vol. 49, No. 9
10. D. Dornfeld, He Gao Gai, "An Investigation of Grinding and Wheel Loading Using Acoustic Emission" ASME, 1984, Vol. 106
11. K. Sugihara, I. Inasaki S. Yonetsu, "Stability Limit of Regenerative Chatter in Cylindrical Plunge Grinding", JSPE, Vol. 46, No. 3, 1980, p. 201
12. Masaki WADA, Makio MIZUNO, Tadasi SASADA, "Study on Friction and Wear Utilizing Acoustic Emission", JSPE, 1990, Vol. 56, No. 8
13. Kö nig. W, Mey. H. P., "An In Grinding and Dressing, Accuracy and Process Reliabilith", Proc. 4th Int. Grinding Conf. Technical Paper MR90-526, SME, Detroit, Michigan, 1990
14. I. Inasaki, K. Okamura, "Monitoring of Dressing and Grinding Process with Acoustic Emission Signal", CIRP, 1985, Vol. 34, No. 1