韓國精密工學會 '97年度 秋季學術大會論文集 pp.259~264

AE 신호 분석에 의한 구성인선의 감지
Detection of B.U.E. by AE signal analysis

오 민 석(창원대학교 기계공학과 대학원), 원 종 식(창원대학교 기계공학과 대학원),
정 윤 교(창원대학교)
Min-Seok Oh(Chang-Won Univ.), Jong-Sik Won(Chang-Won Univ.), Youn-Gyo Jung(Chang-Won Univ.)

ABSTRACT

Recently, in order to achieve high flexibility, monitoring and control strategies of a new type have been developed. This paper investigates the fesability of using acoustic emission signal analysis for the detection of built-up edge during machining. Results for machining SM45C steel show that the presence of a built-up edge can significantly affect the generation of acoustic emission in metal cutting. When the cutting speed comes to the conditions conducive to development of built-up edge, it is shown that the slope of curve-fitted AErms signal undergoes a change. The fesability of utilizing AErms in built-up edge sensing is sugested.

Key Words : Cutting speed(절삭속도), Cutting force(절삭력), Built-up edge(B.U.E. : 구성인선), Signal of AE RMS Voltage(AE_{rms} : 실효치 전압), Surface roughness(표면거칠기), Threshold of cutting speed(V_t : 임계절삭속도), Threshold point(P_t : 임계점),

1. 서 론

산업이 발전함에 따라 생산시스템은 그 효율을 높이기 위하여 자동화, 무인화를 지향하고 있으며, 이에 따라 최근의 생산시스템은 종래에 숙련된 기계운전자들의 감각에 의존하여 판단했던 절삭현상 즉, 공구파손, 공구마모, 구성인선, 가공품의 치수, 표면품질, 공작기계의 운전상태 및 각종 문제점을 각종 센서에 의하여 감시하는 기법의 도입을 필요로 하고 있으며 이와 관련한 많은 연구[1~4]가 활발히 진행되어 왔다.

전술한 여러 가지 절삭현상들중에서 특히 구성인선(Built-up edge)의 발생은 가공물의 표면을 거칠게 하는[5~6] 중요한 현상이므로 자동화, 무인화 절삭가공 시스템에서 가공 중 구성인선의 발생여부를 감지할 필요가 있다. 이와 관련하여 INASAKI[7]는 절삭저항값의 크기와 변동폭의 분석에 의한 구성인선 감지법을 제안하였고, D.V.Hutton & Qinghuan[8]는 구성인선의 발생이 AE_{rms}값을 증대시킨다고 제안하여 AE_{rms}에 의한 구성인선의 감지 가능성을 제시한 바 있다.

그러나, INASAKI[7]의 절삭저항 분석에 의한 구성인선의 감지 방법은 첫째, Force Sensor를 장착함에 따른 가공시스템의 강성 저하, 둘째, Sensor의 가격이 현재로선 고가인 경제적인 측면을 고려할 때 생산현장에서 실용화하기에는 다소의 문제가 있다고 하겠다. 한편 AE Sensor는 일반적으로 공구의 샹크에 부착하여 사용함으로 절삭시스템의 강성을 거의 감소시키지 않으면서 크기가 작아서 취급이 용이한 장점이 있으므로 최근 이를 이용한 절삭현상의 In-process Monitoring에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다. AE와 구성인선과의 관계는 D.V.Hutton & Qinghuan[8] 에 의하여 밝혀진 바 있었다. 그러나 구체적인 구성인선 감지 방법에 대한 연구는 아직 발표된 바가 없다.

따라서, 본연구에서는 AE 신호을 분석하여 구성인선을 감지할 수 있는 가능성을 찾기 위하여 AErms, 절삭저항, 표면거칠기, 가공면의 형상, 공구인선의 관찰 등을 비교 검토하였으며 AE신호 분석에 의한 구성인선의 In-Process Monitoring에 사용가능한 기초적인 데이터를 축적하기 위하여 본 연구를 수행하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

본 실험에서는 주축모타의 소비동력이 7.5kW인 CNC선반을 사용하였다. 공작물은 외경97.5mm, 내경25mm인 SM45C를 사용하였으며, 압전소자형 공구동력계(Tool-dynamometer)로서 절삭력(주분력:F_c, 배분력:F_t, 이송분력:F_f)을 측정하는 동시에 AE 센서로서는 AE_{rms}를 측정하였다. AE 실험장치는 크게 피삭재와 AE 센서를 중심으로 하는 입력부, Pre-Amp.(40dB)를 통과후 Band Pass Filter를 통과시켜 증폭하는 증폭부, 그리고 신호처리부로 구성된다. 신호처리부는 AE 전용 software인 Mistras 프로그램을 사용하였다. 공구 홀더는 대한중석의 WTENN2525M16을, Insert Tip은 TNMG 160404 P20(초경)를 채택하였다. 가공후 Tip의 선단과 가공표면의 관찰은 실물 현미경으로 관찰하고, 공작물의 표면거칠기는 접촉식 표면거칠기로 측정하였다 (Fig.1 참조).

본 실험의 실험장치는 Table 1과 같다. 실험방법은 Table 2와 같은 실험조건으로 CNC 선반의 주축회전수는 일정하게 유지시키고 절삭방향은 바이트를 외경에서 내경 방향으로 이송시키는 정면절삭방식을 채택하였으며, 절삭유는 사용하지 않았다. AE 신호는 고주파이므로 Sampling rate를 2MHz로 충분히 크게 하였고, 절삭력은 Sampling rate를 100Hz로 하여 측정하였다.

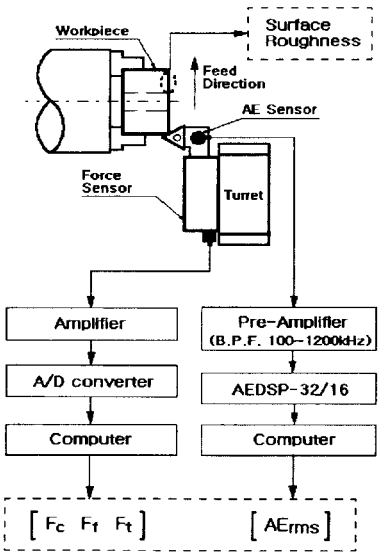


Fig.1 Experimental setup

Table 1. Experimental equipments

Instrument	Specification
CNC Lathe	Hi-ECO 10 (Hwacheon Co.)
Workpiece	SM45C(O.D.=97.5mm, I.D.=25mm)
Tool Holder	WTENN2525M16 (Korea Tungsten Co.)
Insert Tip	TNMG160404-P20 (Korloy Inc.)
AE Sensor	WD (PAC.)
Pre-Amplifier	1220A (PAC.)
AE Main	AEDSP-32/16 (PAC.)
Tool-Dynamometer	Piezo Type 9250B (Kistler Co.)
Charge Amplifier	5019A (Kistler Co.)
A/D Converter	PCL-812 (Advantech Co., Ltd.)
Surface Roughness Tester	SV-624 (Mitutoyo)
Object Microscope	KSZ-1A (Samwon Scientific Ind, Co.)

Table 2. Experimental condition

Item	Conditions
Feed Direction	Outer diameter → Inner diameter.
Cutting Speed(m/min)	180~46
Feed Rate(mm/rev)	0.10, 0.15, 0.20, 0.25, 0.30
Depth of Cut(mm)	0.15, 0.20, 0.25, 0.30
Coolant	Dry
Sampling Rate	AE : 2MHz Cutting Force : 100Hz

3. 구성인선과 AE_{rms}와의 관계

Fig. 2는 절삭속도의 변화에 대한 AE_{rms}의 변양상을 실험적으로 확인한 그림이다. 이 실험에서는 구성인선이 발생하지 않도록 상면경사각을 30° 로 연마(diamond 숫돌 사용)한 초경바이트(P20)를 사용하였고, 절삭속도는 367.5m/min에서 94.2m/min로 감소하도록 하여 정면절삭을 하였다. 그림에서 나타나듯이 구성인선이 발생하지 않을 경우 AE_{rms}는 절삭속도가 감소함에 따라 거의 선형적으로 감소되는 것이 확인되었으며 이러한 경향은 이미 여러 연구자들[7~8]의 연구결과에서도 알 수 있다.

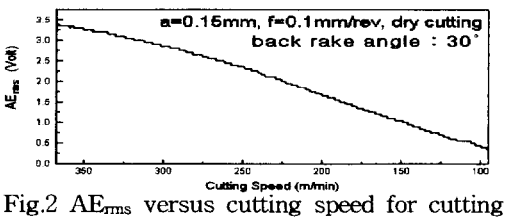


Fig.2 AE_{rms} versus cutting speed for cutting SM45C.

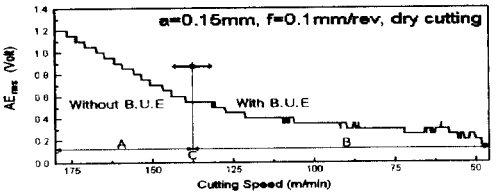


Fig.3 AE_{rms} versus cutting speed for cutting SM45C.

Fig.3은 초경바이트(TNMG160404 P20)로 SM45C를 절삭깊이 a=0.15mm, 이송 f=0.10mm의 조건으로 절삭속도를 180m/min에서 46m/min로 감소하도록 정면절삭한 경우의 AE_{rms}를 나타낸다. 그림에서 보듯이 AE_{rms}는 구간 A에서 일정한 기울기로 감소하고 C점 근방을 경계로 하여 기울기가 완만해 지는 것을 알 수 있다.

이에 대하여 D.V.Hutton과 Qinghuan Yu[8]는 구성인선이 발생함에 따라 바이트의 실제경사각이 Fig.4의 α에서 α_a로 증가됨에 따라 전단각의 변화하게 됨과 동시에, 구성인선의 높이 b부분이 실제 절삭날 역할을 하게되고 공작물과 공구의 재질이 동일해 짐에 의한 마찰조건의 변화로 인하여 AE_{rms}값이 증가 된다고 했는데 Fig.3의 C점에서부터 AE_{rms}의 감소 추세가 완만해지는 이유는 D.V.Hutton과 Qinghuan Yu[8]가 주장한 구성인선의 발생에 따른 AE_{rms}의 증가요인이 절삭속도의 감소에 따른 AE_{rms}의 감소를 상쇄시키기 때문이라고 보이며, 그 상쇄효과가 C점 근방에서부터 AE_{rms}거동의 변화로 나타난다고 사료된다. 따라서 구성인선의 발생은 AErms의 변화 추세를 변경시킨다는 사실을 확인할 수 있었다.

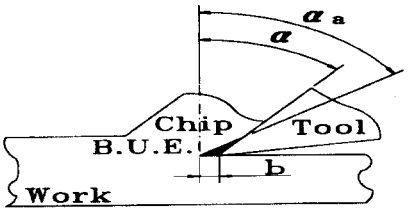


Fig.4 Chip tool interface with built-up edge.

4. 실험결과 및 고찰

(1) AE_{rms}신호 분석에 의한 임계절삭속도 결정

Fig.2의 결과에서 보는 바와 같이 절삭속도의 감소에 따른 AE_{rms}의 변화 추세는 C점 근방에서부터 감소추세가 완만해지며, 따라서 이 점 근방에서 구성인선이 발생되어 지는 시작점이라고 생각되어 진다.

그러나, 그 지점은 아직 모호하므로 수학적 해석에 의하여 그 정확한 위치를 정의할 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 Fig.5에서 보는 바와 같이 측정된 AE_{rms}의 변화곡선(①)을 Curve fitting한 곡선(②) 2계도함수의 곡선(③)의 최대값을 나타내는 C점이 ②곡선의 기울기의 변화가 가장 심한 곳이며 바로 이 점이 구성인선 발생의 시점(임계절삭속도 V_t)이라고 결정할 수 있다. 이후 모든 절삭조건에서 수행한 실험의 결과는 전술한 방법에 의하여 임계절삭속도를 결정하였다.

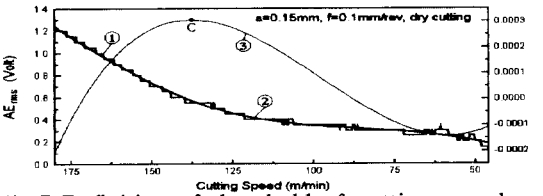


Fig.5 Definition of threshold of cutting speed.

(2) 임계절삭속도 결정 법에 대한 신뢰성 검토

본 절에서는 앞 절에서 기술한 임계절삭속도 V_t의 신뢰성을 검토하기 위하여 AE_{rms}의 측정과 병행하여, 절삭저항의 변화, 가공면 표면거칠기의 변화 및 공구인선에서의 구성인선의 유무 등을 비교 검토하였다.

Fig.6의 (A)는 절삭속도의 변화에 대한 AE_{rms}의 변화 (B)는 절삭속도의 변화에 대한 절삭저항의 3분력(F_c, F_t, F_f)의 변화, (C)는 각 절삭속도에 대응하는 가공면의 위치의 변화에 대한 표면조도의 변화, (D), (E)는 임계절삭속도를 경계로 한 고절삭속도 영역과 저절삭속도 영역에서의 가공면의 형상과 공구인선의 관찰사진을 나타내고 있다. (A), (B) 및 (C)를 비교하여 보면, 결정된 임계절삭속도 Vt보다 약 15-20m/min정도 낮은 절삭속도에서 절삭저항은 점차 감소되며, 표면거칠기는 거칠어짐을 알 수 있다. 이러한 사실은 절삭저항 및 표면조도의 측정에 사용되어진 Sensor보다는 AE Sensor의 민감성이 탁월하기 때문으로 생각된다. 또한 (D)에도도 나타나듯이 가공면의 거칠기가 나빠짐을 감지할 수 있는

위치도 V_t보다 15-20m/min 정도 낮은 절삭속도의 지점인 것이 위의 사실을 뒷받침하고 있다.

따라서 AE_{rms}에서 결정된 임계절삭속도 지점에서는 구성인선이 발생을 하되 절삭저항이나 가공물의 표면거칠기에는 별다른 영향을 미칠만큼 심각한 현상은 아니며 어느 정도의 절삭속도(15-20m/min)가 감소된 후에 구성인선의 발생이 직접적으로 가공면에 영향을 미친다고 할 수 있다 그림(E)는 구성인선 발생영역 및 미 발생영역에서의 공구인선을 관찰한 사진으로서 구성인선의 존재 유무를 확인할 수 있었다.

Fig. 7은 이송을 0.1mm/rev로 하였을 때 절입깊이를 0.15, 0.20, 0.25, 0.30mm로 변화시켰을 때 전술한 임계절삭속도 결정방법에 의하여 구성인선의 발생 및 미발생영역을 각각 도시한 그림이다. 그림에서 보는 바와 같이 Fig. 6과 동일한 양상을 나타내는 결과를 얻을 수 있었으며 이로한 사실로부터 임계절삭속도의 결정에 대한 신뢰성을 확인할 수 있었다.

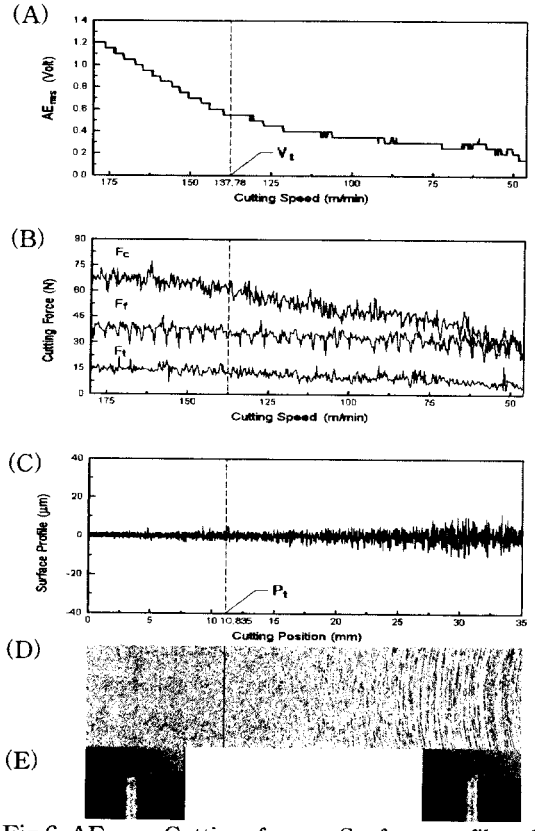


Fig.6 AErms, Cutting forces, Surface profile, photo of cut Surface and Tool edge during cutting with B.U.E. formation; SM45C; a=0.15mm; f=0.10mm.

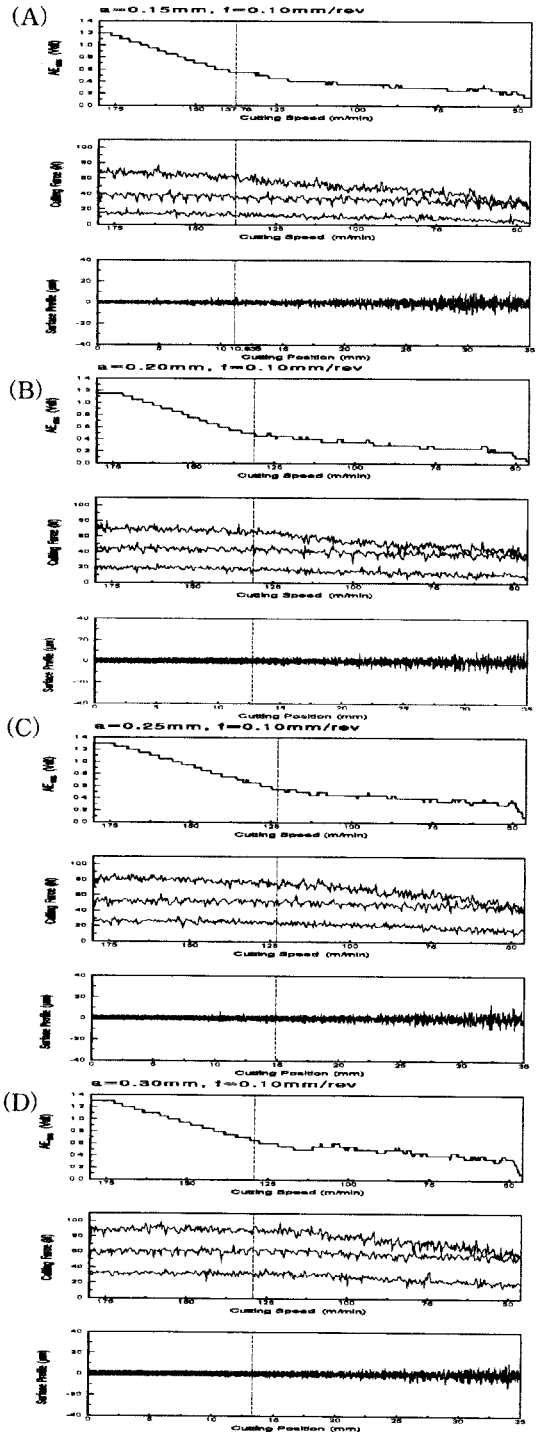
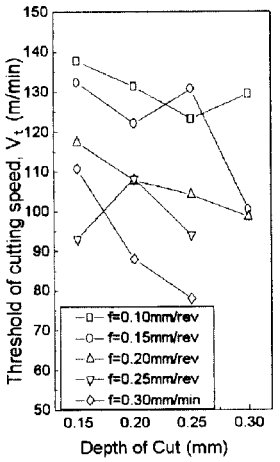


Fig.7 AErms, Cutting forces and Surface profile during cutting with B.U.E formation.

5. 절삭조건과 임계절삭속도와의 관계

본 절에서는 전술한 방법으로 결정한 임계절삭속도와 절삭조건(절입깊이 및 이송)과의 관계를 고찰하였다.



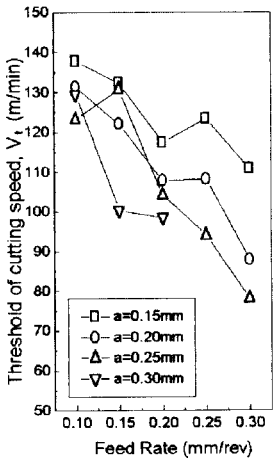


Fig.8 Threshold of cutting speed for Depth of Cut

Fig.9 Threshold of cutting speed for Feed Rate

Fig.8은 절삭깊이와 임계절삭속도의 관계를 나타낸다. 그림에서 이송을 0.10mm/rev로 절삭한 경우의 임계절삭속도는 절삭깊이가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었고, 이러한 양상은 다른 조건(f=0.15, 0.20, 0.25, 0.30mm/rev)에서도 동일하였다. 이는 절삭깊이가 증가할수록 구성인선의 발생이 어려워짐을 뜻한다. Fig.8는 이송과 임계절삭속도의 관계를 나타낸다. 그림에서 절삭깊이를 0.15mm로 절삭한 경우의 임계절삭속도는 이송의 증가에 따라 감소하였으며, 절삭깊이 a=0.15, 0.20, 0.25, 0.30mm의 경우에서도 동일한 양상을 나타내었다.

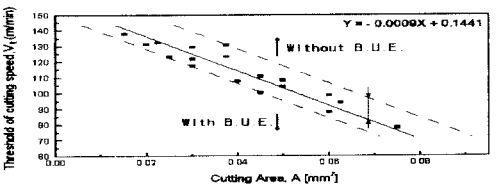


Fig.10 Relationship between cutting area and threshold of cutting speed.

이상의 결과를 종합적으로 고찰하기 위하여 Fig.10에서는 절삭면적(이송×절입깊이)과 임계절삭속도와의 관계를 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 절삭면적의 증가에 따라 임계절삭속도는 어느 정도 산포를 가지면서 선형적으로 감소되어 짐을 할 수 있다 산포의 정도가 아무리 심하여도 그림에서 나타나는 바와 같이 약 15m/min정도의 절삭속도 범위이며 이 값은 실제 구성인선이 발생하였다 하더라도 전술한 가공면의 형상에 직접적으로 영향을 미칠 수 있는 범위는 아니며 따라서 본 그림에서 fitting 되어진 점선의 상부에서의 절삭속도에서는 가공변의 품질에 영향을 주지 않는 안정된 절삭영역이라고 신뢰할 수 있다

이러한 결과를 토대로 하여 구성인성을 In-Process 감지할 수 있는 자료로서 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

6. 결 론

본 연구에서는 AErms를 분석하여 구성인선의 감지방법을 찾고자 하였으며 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. AErms를 측정함에 의하여 구성인선을 감지할 수 있는 가능성을 확인하였다.
2. 구성인선이 가공면의 품질을 악화시키지 않는 안정한 절삭영역을 설정할 수 있었다.
3. AErms에 의한 구성인선의 감지방법은 절삭력 또는 표면거칠기 감지에 의한 구성인선감지 방법에 의하여 더욱 민감하고 안정된 임계절삭속도를 결정할 수 있는 방법임을 알 수 있었다.
4. 절삭깊이와 이송의 증가는 임계절삭속도를 감소시킨다.

참 고 문 헌

1. I. INASAKI "Inprocess Detection of Cutting Tool Breakage with Acoustic Emission Signals," Faculty
2. M. S. Law and D. A. Dornfeld "In-Precess Tool Fracture Detection" Journal of Engineering Materials and Technology, Vol. 106 pp. 111-118, April 1984.
3. Ichiro INASAKI, Shuhei AIDA AND Shinichiro FUKUOKA "Monitoring System for Cutting Tool Failure Using an Acoustic Emission Sensor" ISME International Journal, Vol. 30. No 261,1987.

4. Thomas Blum, Ippei SUZUKI and Ichiro INASAKI, "Development of Condition Monitoting System for Cutting Tools Using an Acoustic Emission Sensor" Bull. Japan Soc. of Prec. Engg. Vol. 22, No 4, Dec. 1988.
5. K. Nakayama and M.C.Shaw, " Relationship between Cutting forces, Temperatures, Built-up edge and Surface roughness," CIRP. Vol. 14, 1996.
6. 中山一雄, "構成刃先の研究," 精密機械, Vol. 22, 1956.
7. I. INASAKI and Sawai SUKVITTAYAWONG "Monitoring and Optimization of Turning Process "
8. D. V. Hutton and Qinghuan Yu "On the Effects of a Built-Up Edge on Acoustic Emission in Metal Cutting" ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 112 pp184-189, May 1990.
9. E. Kannatey-Asibu, Jr. and D. A. Dornfeld : Quantitative Relationships for Acoustic Emission from Crthogonal Metal Cutting, Trans. ASME, Ser. B, 103, pp. 330-340, 1981.
10. Y, MIwa et al : In-Process Detection of Tool Breakage by Acoustic Emission, Bull. of JSME, Ser. C, 47, 424, 1680-1689, 1981.