

티타늄 합금의 슬롯가공에서 엔드밀 공구마멸 감시

Tool wear monitoring of end mill in slot machining of titanium alloy

하건호*, 구세진(부산대 원), 강명창(부산대 기계기술연구소),

김정석(부산대 ERC/NSDM), 하재홍, 양순철(삼성항공)

Gun-ho Ha*, Sei-jin Ku(Pusan Univ.), Myeong-chang Kang(RIMT, Pusan Univ.),

Jeong-suk Kim,(ERC/NSDM, Pusan Univ.), Jae-hong Ha, Soon-chul Yang(Samsung aerospace)

Abstract

A acoustic emission(AE) sensor has been used to monitor tool wear during milling process. The relation between tool wear and AE RMS(Root mean Square) signal was investigated experimentally. A available monitoring index for monitoring tool wear was newly extracted from AE RMS. And on-line monitoring program was developed. The proposed monitoring system has verified experimentally by roughing end milling titanium alloy with TiN coated HSS tool.

Key Words : Acoustic Emission(음향방출), RMS Signal(평균자승신호), Monitoring index(감시 변수), Monitoring system(감시 시스템), Titanium alloy(티타늄 합금)

1. 서 론

최근 많은 생산 시스템의 자동화에 있어 기계의 상태진단 및 감시는 설비의 중요도 및 특수성을 고려할 때 매우 중요한 비중을 차지하게 되며, 생산작업을 최적화할 수 있는 적당한 감시기술의 필요성과 그에 대한 관심은 날로 증가하고 있는 실정이다.⁽¹⁾

현재 생산현장에서는 티타늄 합금 등의 난삭성 재질을 고속도강을 이용하여 가공하고 있으나, 소재의 난삭성과 고가인 점에 기인하여 추천되는 절삭조건보다 낮은 수준의 절삭조건을 선택하여 생산성에 많은 지장을 초래하고 있는 실정이다.

따라서, 공구수명을 인프로세스(In-process) 감시하여 작업의 안정성과 공정관리가 효과적으로 이루어진다면, 생산량 증가를 위한 절삭조건 선정·가공능률의 향상이 이루어 질 것으로 보인다.⁽²⁾

본 연구에서는 TiN 코팅된 황삭용 고속도강(HSS)으로 티타늄합금의 항공기 부품(outer ring)을 밀링가공하는데 있어 AE(Acoustic Emission)센서를 사용하여 공구마멸 감시를 하였다.

2. 실험 장치 및 방법

본 실험은 Hrc36의 티타늄 합금(Ti6.0Al-4.0V)을 TiN 코팅한 고속도강으로 아웃링이라는 항공기 부품의 황삭가공에서 행해졌다. 그 공구사양은 Table 1와 같다. 실험장치도는 Fig. 1에 보여진다.

Table 1 Specification of cutting tool

Diameter	25mm
Cutter Teeth	4
Helix Angle	30°
Manufacturer	Hitachi

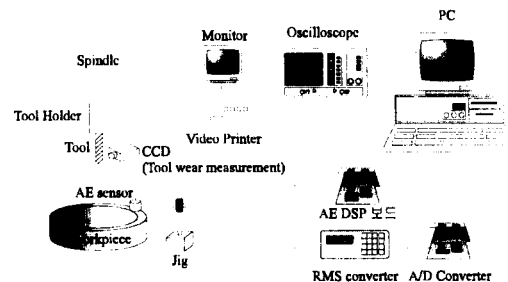


Fig. 1 Experimental Set-up for the Data Acquisition

AE RMS 신호 획득을 위하여 AD536AJD 칩을 이용하여 RMS 변환기를 제작하였으며, 런아웃(run-out)의 영향을 최소화하기 위하여 공구가 장착된 상태에서 CCD를 이용하여 공구마멸을 측정하였다.

실험조건은 Table 2에 보여지는 것과 같고 습식 절삭을 행하였다.

Table 2 Cutting condition

Cuttig speed	18.0 [m/min]
Feed	20~40 [mm/min]
Rdial depth	8 [mm]
Axial depth	44 [mm]

3. AE 신호 획득

3.1 최적의 AE 센서 선정

Fig. 2은 AE 신호의 지배주파수의 영역을 나타내는 그림이다. 150~250kHz대역이 지배주파수 영역임을 알 수 있다. 따라서 본 실험에서는 150~250 kHz에서 공진주파수를 가지는 앰프내장형 I30I 센서를 사용하여 실험을 하였다.

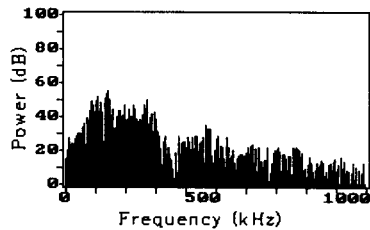


Fig. 2 Power spectrum of AE signal

3.2 4축밀링공정에서 신호획득법 고안

아웃리링 가공과 같이 회전하는 공작물에서 AE 신호발생원로부터 센서의 일정거리 유지와 안정적인 실험을 위해 새로운 센서의 부착방법이 필요하다. 그 해결방법으로 센서를 공작물의 윗면에 부착하면 가공 특성을 잘 반영하는 신호의 획득이 가능함을 알 수 있었고, 회전하고 있는 공작물 윗면에 센서를 슬라이딩시키면서 잔류하고 있는 절삭유가 접촉체의 역할을 수행하여 신호의 획득이 가능함을 알 수 있었다.

따라서 지그를 제작하여 공작물의 윗면에 슬라이딩이 일어나도록 고안하였다. Fig. 3는 제작한 지그에 부착된 센서가 신호를 획득하는 형태를 나타낸 사진이다.

실험은 생산라인에서 가공 중일 때 이루어졌다. 슬롯의 황삭가공시 AE RMS신호를 획득한다. 슬롯

1, 6, 11, 16, 21의 가공이 끝난 후 공구를 장착한 상태로 공구의 각 부위별로 마멸을 측정한다.

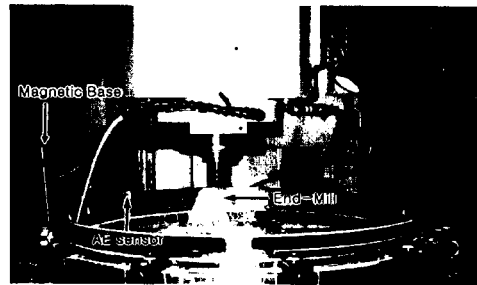


Fig. 3 AE signal acquisition system by sliding method

4. 실험결과 및 감시 알고리즘

4.1 공구마멸과 AE RMS 신호

4.1.1 공구마멸 진전형태

황삭공구의 수명은 가공후의 잔량과 밀접한 관계가 있다. 황삭은 정삭에 무리가 되는 절삭량을 줄이는 것이 목적이다. 그래서 황삭공구의 수명은 제거해야할 절삭량을 제거하지 못하여 정삭가공에 많은 무리를 주어 표면조도와 형상정도에 영향을 미치는 시점이라 할 수 있다. 황삭공구수명은 여유면 마멸(flank wear)의 평균값이 0.3mm 이상이 될 때로 결정하였다. 황삭공구의 마멸형태는 Fig. 4와 같다. 여유면 마멸과 공작물 가공수량과의 관계는 Fig. 5와 같다. 1차 실험에 사용한 공구는 7번째 공작물을 가공하기 전에 공구를 교체하여야 하며, 2차 실험(재현성을 검토 위한 실험)의 공구는 6번째 공작물을 가공하기 이전에 교체하여야 한다.

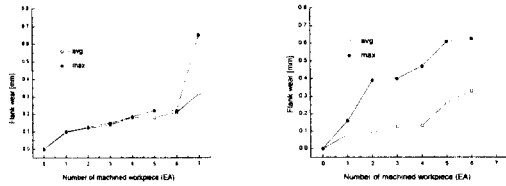


(a) 1st workpiece (b) 7th workpiece

Fig. 4 Shape of flank wear

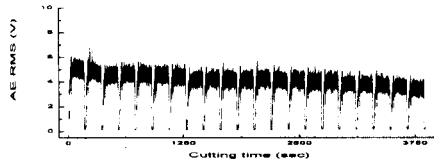
4.1.2 AE RMS 신호

아웃리링 가공공정 중에 획득된 AE RMS신호는 Fig. 6에 보여진다. (a)는 공작물 한 개를 가공하는 동안의 신호인데 한 개의 공작물에는 21개의 슬롯이 있다. (b)는 (a) 중에서 슬롯 한 개에 해당하는 신호이고, (c)는 (b) 중에서 2초 동안의 신호이다. (c)에 보여지는 것처럼 AE RMS 신호가 단속절삭을 잘 나타낸다.

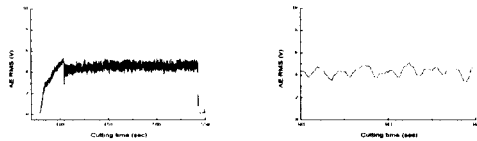


(a) 1st test (b) 2nd test

Fig. 5 Relation between flank wear and number of machined workpiece



(a) in machining one workpiece



(b) in machining one slot (c) in machining slot during 2 sec

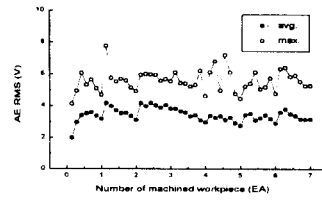
Fig. 6 AE RMS signal in rough cutting of slot

4.1.3 AE RMS 레벨값과 공작물 가공수량과의 관계

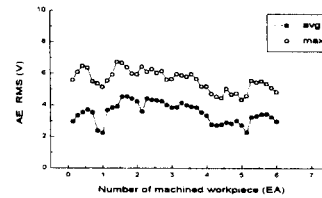
이상적인 마멸이 진행될 때는 AE RMS의 레벨값이 마멸의 증가에 따라 증가한다. 본 실험에서의 AE RMS 레벨값과 공작물 가공수량과의 관계는 Fig. 7에 나타내었다. AE RMS 신호는 가공시 발생하는 미소한 절삭열, 신호전달의 매체인 공작물의 부피의 감소 그리고 공구마멸에 따른 절삭량의 감소 등에 의해 그 레벨값이 변하는 것으로 보인다. 그래서 AE RMS신호의 동적 변동성분을 분석해야 한다.

4.2 공구수명 감시 알고리즘 개발

AE RMS 신호를 이동평균법(Time moving average method)을 통하여 고주파의 잡음을 제거한다. 이동평균법이란 주기 T동안 신호의 평균값을 취하고 한 데이터 포인트를 옮겨 다시 주기 T동안 신호의 평균값을 취하는 것이다. 이동평균한 신호가 가공특성을 그대로 유지하도록 적절한 주기 T를 결정하였다.



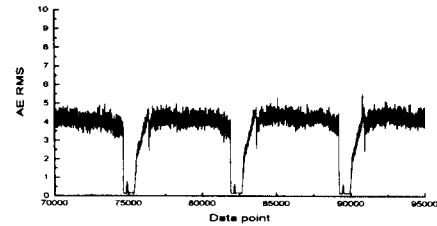
(a) 1st test



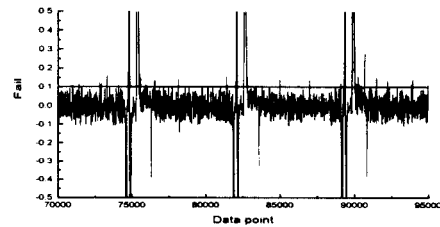
(b) 2nd test

Fig. 7 Relationship between RMS value and number of machined workpiece

그리고 공구상태를 감시하기 위해 Fail이라는 유용한 변수를 추출한다. 식 (1)에 보는 바와 같이 한 주기에서 각각의 피크값의 평균값(P_a)을 구한다. 그리고 식 (2)와 같이 n번째 구간의 피크값에서 평균값을 빼고 그 값을 다시 평균값으로 나눈 값을 Fail이라 한다. 이렇게 구한 Fail은 가공 중의 이상상태를 잘 반영한다.



(a) AE RMS



(b) Fail index

Fig. 8 Characteristics of AE RMS signal and Fail index

$$P_a = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^T P_i \quad (1)$$

$$\text{Fail} = \frac{P_n - P_a}{P_a} \quad (2)$$

AE RMS 신호와 변환된 Fail 변수는 Fig. 8에 보여지는 것과 같다.

본 연구에서 실험분석을 통하여, slot 3개를 가공하는 동안 Fail 값이 0.1이상일 경우의 Count를 감시 변수로 취한다. Fig. 9를 보면 Count값이 slot의 가공수량에 따라 증가하고 또한 공작물의 가공수량에 따라 증가하는 것을 알 수 있다.

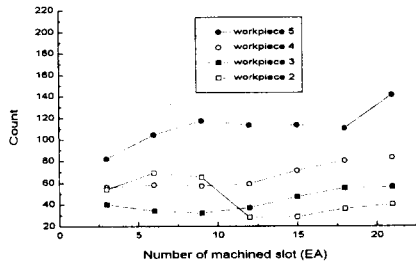


Fig. 9 Relation between Count value and number of machined slot

공구수명에 도달할 때까지 Count 값을 공작물 가공수량에 따라 나타내면 Fig. 10과 같다. 여기서 실험을 통해 공구수명에 해당하는 Count의 threshold를 결정해 준다. 그렇게 결정한 threshold는 140이다. 황삭공구의 수명과 감시변수와의 관계를 살펴보자. 황삭공구의 수명은 1차 실험에서는 7번째 공작물 가공 이전이고, 2차 실험에서는 6번째 공작물 가공 이전이었다.

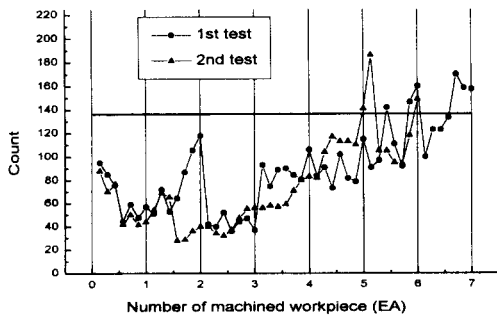


Fig. 10 Relation between Count value and number of machined workpiece

그림을 보면 1차 실험에서, 6번째 공작물을 가공할 때 Count 값이 정해놓은 threshold를 넘으므로 공구의 수명이전에 공구를 교체할 수 있다. 2차 실험에서, 5번째 공작물을 가공할 때 Count 값이 정해놓은 threshold를 넘으므로 공구의 수명이전에 공구를 교체할 수 있다.

5. 공구수명 감시 알고리즘

이러한 실험 결과를 바탕으로 PC에서 공구수명을 감시할 수 있는 프로그램을 작성하였다. 그 순서도는 Fig. 11에 보여진다.

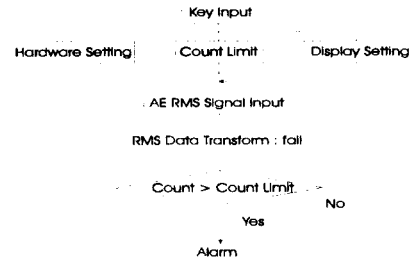


Fig. 11 Flow-chart of tool wear monitoring program

6. 결론

- 회전하는 공구와 공작물에서 케이블의 영향을 해결하기 위하여 절삭유를 이용한 슬라이딩 방식의 센서부착법을 고안하였다.
- 주파수 분석을 하여 최적의 I30I 공진형 센서를 선정하였다.
- 공구수명 감시에 유용한 변수를 AE RMS 신호로부터 추출하였다.
- 실시간으로 공구수명을 감시하는 프로그램을 개발하였다.

참고 문헌

- J. Roget, "Use of Acoustic Emission for In-process Monitoring of Tool during Turning and Milling", Progress in Acoustic Emission III, The Japanese Society for NDI, 94-101, 1986
- Iwata, K. and Moriwaki, T., "An Application of Acoustic Emission Measurement to In-process Sensing of Tool Wear", Annals of CIRP, Vol. 25, No. 1, 1977