

금형강에 미세 그루브 가공시 가공조건에 따른 음향 방출 신호 분석

곽철훈*(인하대 대학원 기계공학과), 김남훈(부산대 대학원 정밀기계공학과),
이은상(인하대 기계공학부)

Acoustic emission signals according to the machining conditions of micro-grooving on mold steel.

C. H. Kwak(Mecha. Eng. Dept., Inha Univ.), N. H. Kim(Mecha. Eng. Dept., Pusan Univ.),
E. S. Lee(School of Mecha. Eng., Inha Univ.)

ABSTRACT

Research during the past several years has established the effectiveness of acoustic emission (AE)-based sensing methodologies for machine condition analysis and process. AE has been proposed and evaluated for a variety of sensing tasks as well as for use as a technique for quantitative studies of manufacturing process. STD11 has been known as difficult-to-cut materials. For this study, the micro-grooving machine was developed. The experiments were performed using diamond blade and CBN blade for machining STD11. Evaluating the machining conditions, frequency spectrum analysis of acoustic emission (AE) signals according to each conditions were applied.

Key Words : AE (Acoustic Emission, 음향방출), Difficult-to-cut Materials (난삭재)

1. 서론

음향방출(AE)기법은 재료의 특성평가 방법으로서 재료의 변형이나 파괴시에 발생하는 AE 신호를 분석하여 결함검출 및 파괴기구 규명과 같은 재료의 물성평가 뿐만 아니라 비파괴 평가수단으로써 구조물의 현상태를 진단하고 안정성을 평가하는데 주로 이용되고 있다.⁽¹⁾

현재의 미세 그루브 가공 기술의 대부분은 뛰어난 치수 정밀도를 제공하는 화학적인 에칭방법에 기초를 두고 있으나, 몇가지 단점을 가지고 있다. 예를 들어, 포토리소그라피 공정이나 LIGA 공정은 많은 투자비와 공정시간을 요구하고 있다. 미세 그루브 가공의 또 다른 방법으로 단결정 다이아몬드 가공의 경우 단결정 바이트는 내충격성이 약하므로 경취성 재료 가공에는 부적합하다.⁽²⁾

본 연구에서는, 금형강(STD11)에 블레이드로 미세 그루브 가공시 각각의 가공조건에 해당하는 AE 신호를 분석하여 가공조건들을 평가하고자 한다.

STD11 은 냉간 공구강의 주류를 차지하여 광범위하게 사용되고 있는 범용강이라고 할 수 있다. 또한, 탄소와 크롬의 함유량이 많아 경도가 높고 내마모성이 우수하지만, 피삭성은 좋지 않다.

Dornfeld 등은 연삭공정의 제어를 위하여 AE 센서의 사용을 제안하였으며, AE 신호가 공작물 제거량, 연삭 슷들의 드레싱, 마멸상태, 직경 감소량과 같은 연삭 파라미터들과 밀접한 연관이 있다고 밝혔다.⁽³⁾

미세 그루브 가공은 연삭과 유사한 메커니즘을 가지고 있으므로, 본 연구에서도 그루브 가공시의 가공조건들을 평가하기 위한 방법으로 AE 기법을 적용하였다.

공구로는 다이아몬드 블레이드와 CBN 블레이드가 사용되었으며 블레이드의 회전속도와 이송속도, 가공깊이에 따른 AE 신호를 검출하여 주파수 분석을 통하여 얻은 결과와 공작물을 현미경으로 표면의 형상을 관찰하여 얻은 결과를 비교함으로써 절삭공정의 안정성을 검토하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

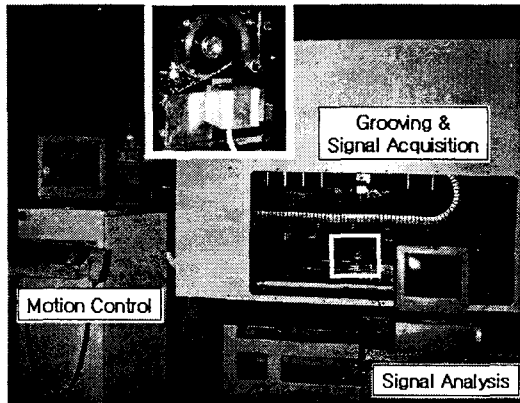


Fig. 1 Photograph of micro-grooving system and experimental setup.

미세 그루브의 가공을 위하여 개발된 미세가공 시스템의 사진을 Fig. 1에 나타내었다. 본 실험을 위하여 3축 제어 미세 그루브 가공장치를 개발하였다. 가공기의 구조는 가공 공작물의 대형화와 진동문제를 고려하여 테이블을 고정하고 공구를 이송하는 방법을 적용하였으며, x, y, z 방향의 3축은 초정밀 LM 가이드를 채용하여 정밀 래핑 가공된 석정반 위에 고정하였다.

그루브 가공에 쓰인 공구는 미세지립의 다이아몬드 블레이드와 CBN 블레이드이고, 고속 에어스핀들에 장착하여 최대 60000 rpm으로 회전이 가능하다. 공작물의 재료는 일반적으로 난삭재로 알려져 있는 STD11이고, 각각의 가공조건에 따른 AE 신호를 검출하기 위하여 공작물의 측면에 넓은 주파수 범위에서도 균일한 감도를 가지고 있는 광대역 AE 센서를 부착하였다.

신호의 증폭과 필터링을 위하여 프리앰프(1220A(PAC))와 메인앰프(AE1A(PAC))를 사용하여 52dB의 증폭과 100~1200kHz의 band-pass 필터링을 실시하였고, 12비트의 분해능을 갖는 A/D 변환기(Gagescope CS1012)를 사용하여 AE 센서에서 얻어지는 신호를 5MHz의 샘플링 속도로 디지털화하였다.

2.2 실험방법

미세 그루브 가공실험을 위한 실험조건을 Table.1에 나타내었다. 가공 시스템에 장착된 에어스핀들은 최대 60000 rpm까지 회전이 가능하지만 블레이드로 STD11에 그루브 가공시 스펀들의 진동

특성 및 런아웃을 고려하여 25000~40000 rpm으로 회전시켰다.

Table. 1 Experimental conditions

Machining parameters	
Workpiece Hardness	STD11 (HRC 58)
Cutting Tool	52φ Diamond blade CBN blade
Spindle revolution speed	25000~40000 rpm
Operation	Down cutting
Tool feed rate	0.4~0.8 mm/s
Depth of groove	100~300 μm
Amplification of signal	52dB
Sampling rate (A/D)	5MHz

공구의 이송속도는 약 0.6mm/s로 가공하였을 때 공구의 파손이나 큰 절삭저항없이 가공이 가능하므로 0.4~0.8mm/s로 변수를 선택하였고, 그루브의 깊이는 100~300 μm로서 각각의 가공조건으로 가공하였을 때 나타나는 가공정도 및 버의 발생을 관찰하고 AE 신호를 검출하여 금형상에 미세 그루브 가공시 가공특성을 평가하였다.

3. 실험결과

3.1 가공정도 및 버의 현미경 관찰

다이아몬드 블레이드로 STD11을 가공하였을 때, 스펀들의 회전속도가 40000 rpm이외의 모든 회전속도의 가공조건에서 버의 발생으로 인하여 가공상태가 불량하였다. 일반적으로 다이아몬드 공구는 산화개시 온도가 약 630°C로 되어 있고, 고속으로 회전하는 블레이드는 절삭온도가 그 이상으로 상승하기 때문에 Fe, Co, Ni, 그 이외의 C를 고용하는 물질에 대하여 확산반응이 생긴다.⁽⁴⁾ Fig. 2는 다이아몬드 블레이드로 가공하였을 때의 가공결과를 현미경으로 관찰한 것이다.

CBN은 다이아몬드 공구와 함께 초고압성 공구 또는 초고압합성 경질재료이다. CBN은 아이아몬드 다음으로 고경도이고, 세라믹스보다 훨씬 높은 항절력(인성)이 있다. 고온경도나 고온화학 안정성의 면에서도 다른 절삭공구에 비하여 매우 우수하여 주로 철계의 고경도 재료 또는 철계의 소결합금의 절삭에 적합한 재료이다.⁽⁴⁾ Fig. 3은 CBN 블레이드로 가공했을 때의 결과를 나타낸 것이다.

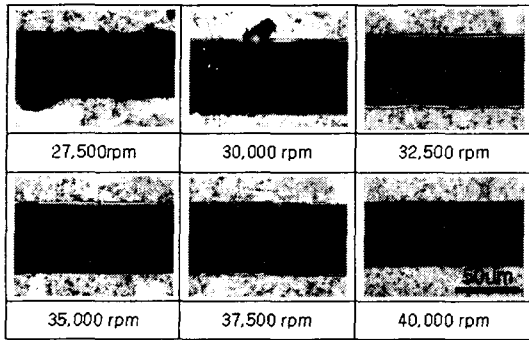


Fig. 2 Micrographs of Groove. (in case of Diamond blade, Feed rate : 0.6mm/s, Depth of groove : 150 μ m)

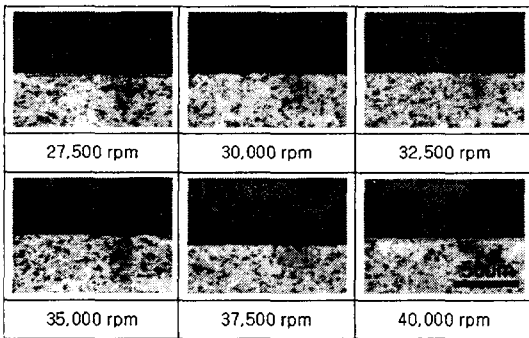


Fig. 3 Micrographs of Groove. (Tool : CBN blade, Feed rate : 0.6mm/s, Depth of groove : 150 μ m)

Fig. 3 에서 알 수 있듯이, CBN 으로 가공하였을 때 는 다이아몬드로 가공하였을 때보다 버의 발생과 가공상태가 더 양호하다.

각각의 가공조건에 따라 실험한 결과, CBN 블레이드로 가공하였을 때, 30000 rpm ~ 35000 rpm 의 스피들 회전속도, 0.5 ~ 0.6 mm/s 의 공구 이송속도, 200 μ m 이하의 가공깊이에서 양호한 가공결과가 도출되었다.

3.2 AE 신호의 주파수 분석을 통한 가공특성 평가

각각의 가공조건에 따른 AE 신호를 위에서 언급한 것과 같은 조건으로 디지털화하여 주파수 특성을 살펴보았다. Fig. 4 는 CBN 으로 가공하였을 때 스피들의 회전속도에 따른 주파수 영역의 특성을 나타낸 것이다.

정상적으로 그루브 가공이 진행되고 있을 때, 스피들의 회전속도에 관계없이 100 ~ 200kHz 와 400 ~ 600kHz 사이의 주파수대역에서 높은 진폭을 가지고 있다.

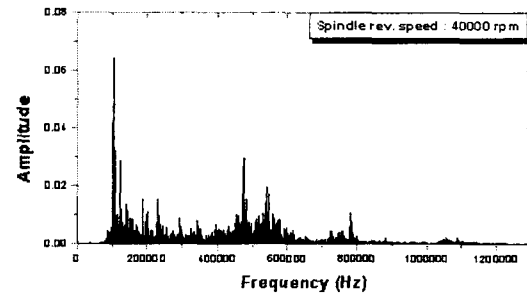
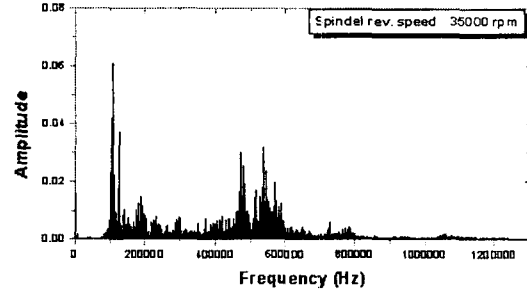
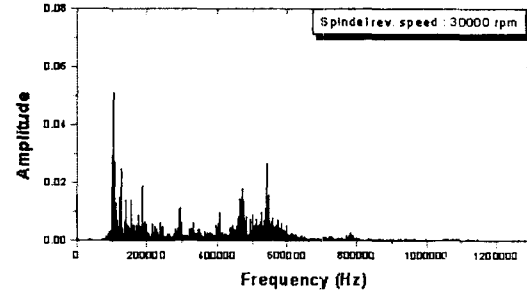
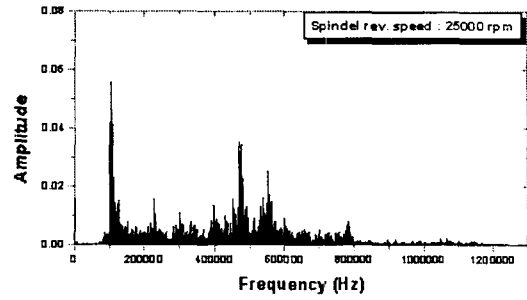


Fig. 4 Frequency spectrum of AE signals according to the machining conditions (Tool : CBN blade, Feed rate : 0.6mm/s, Depth of groove : 150 μ m)

만약 가공이 정상적으로 진행되지 않고 블레이드의 파손이나 공작물의 파괴등이 일어날 시에는 Fig. 4 에서 나타낸 주파수 특성과 다른 형태의 주파수 특성을 나타낼 것으로 예상된다.

이 점은 추후에 추가적인 실험을 통하여 블레이드로 STD11 에 미세 그루브 가공시, AE 신호의 주파수특성을 분석함으로써 가공상태를 실시간으로

모니터링할 수 있는 가능성을 보여주고 있다. 일례로, 다이아몬드 블레이드로 가공하였을 때, 공작물 및 공구의 파손시 AE 신호의 주파수 특성과 현미경 관찰 사진을 Fig. 5에 나타내었다.

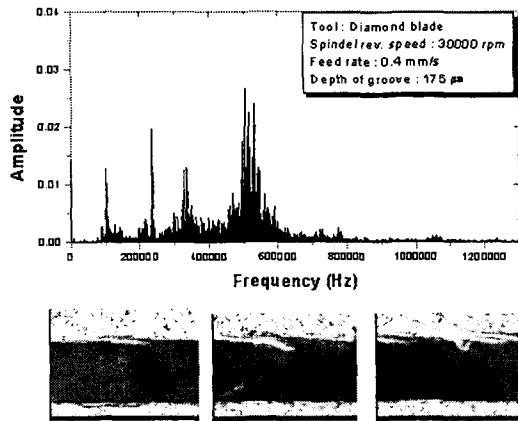


Fig. 5 Frequency spectrum of AE signals and micrographs on abnormal machining process. (Tool : Diamond blade, Spindle rev. speed : 30000 rpm, Feed rate : 0.4mm/s, Depth of groove : 175 μ m)

Fig. 5에서 현미경 사진은 가공시 그루브 경계 주변에 심한 크랙 진전과 가공시 공구의 파손이 발생했을 때의 가공결과이다. 또한, Fig. 5에서와 같은 비정상적인 가공이 진행되고 있을 때에는 주파수 특성도 Fig. 4와 다른 형태를 보이고 있다. 전체적인 신호의 진폭의 크기는 Fig. 4의 경우보다 1/2 정도로 작지만, 주파수 특성은 약 230kHz, 320kHz에서 큰 진폭의 신호가 검출되었고, 약 500kHz 전후의 주파수 대역에서는 다른 주파수 대역과 비교하였을 때 상대적으로 큰 진폭의 현상을 보여주고 있다.

4. 결론

본 연구에서는 난삭재로 알려져 있는 냉간금형용 고합금 공구강인 STD11을 두께 약 50 μ m인 블레이드로 미세 그루브를 가공함에 있어서, 각각의 가공조건에 따른 AE 신호를 검출하여 주파수 분석과 가공결과의 현미경 관찰을 통하여 그 가공특성을 평가하였다.

CBN 블레이드로 30000~35000 rpm의 스피들 회전속도와 200 μ m이하의 가공깊이, 0.6mm/s 이하의 공구 이송속도의 가공조건일 때, 버의 크기 및 공작물의 크랙 발생여부를 현미경으로 관찰함으로써, 적합한 가공조건임을 입증할 수 있었다. 또, 각각의

가공조건에서 AE 신호를 검출하여 주파수 분석을 한 결과, 정상적인 그루브 가공이 진행되고 있을 때에는 가공조건과 관계없이 모두 100 ~ 200kHz와 400 ~ 600kHz의 주파수 대역에서 큰 진폭을 가지는 현상이 나타났지만, 공구나 공작물의 파손 및 크랙의 발생시에는 정상적으로 가공이 진행되었을 때와 비교하여 다른 형태를 보이고 있다.

이로써, AE 신호의 주파수 분석을 통하여 가공시의 이상상태를 모니터링 할 수 있는 가능성을 보여주었다.

참고문헌

1. Xiaoli Li, "A brief review : acoustic emission method for tool wear monitoring during turning", International journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 42, pp. 157-165, 2002.
2. H.S.Lim, J.H.Ahn, "A study on the cutting conditions of self-induced chattering in micro shaping with diamond tool", Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 15, No. 3, pp. 141-149, 1998.
3. D. Dornfeld, H.G.Cai, "An investigation of grinding of wheel loading using acoustic emission", Trans. ASME, Vol.106, pp. 28-33, 1984.
4. 狩野勝吉, "난삭재의 절삭가공기술", (주)기술정보, pp. 49-58, 1989.
5. S. Ebbrell, N.H.Woolley, Y.D.Trifimas, D.R.Allanson, W.B.Rowe, "The effects of cutting fluid application methods on the grinding process", International Journal of Machine Tools&Manufacture, Vol. 40, pp. 209-223, 2000.
6. Slavko Dolinsek, Janez Kopac, "Acoustic emission signals for tool wear identification", Wear, pp. 295-303, 1999.