

마이크로 엔드밀링에 의한 미세격벽 가공시 AE 신호를 이용한 공구상태 감시 Tool Condition Monitoring using AE Signal for Micro Barrier Fabrication by Micro End milling

**강익수¹, 김정석², 안중환²

*I. S. Kang(iskang@pusan.ac.kr)¹, J. S. Kim², J. H. Ahn³

¹ 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소, ² 부산대학교 기계공학부/정밀정형 및 금형가공연구소

Key words : Micro End Milling, AE Signal, Monitoring

1. 서론

최근에 IT, 디스플레이 산업과 같은 첨단 핵심 산업의 부품들이 고성능 및 고기능화를 통한 고부가가치화를 위해 대면적화, 구조의 미세화 및 고정밀화의 경향을 보이고 있다. 이와 같이 차세대 고기능 LCD 도광판, 초경량 디스플레이, 플렉시블 디스플레이 등의 신제품 개발이 진행되고 있는 첨단 IT, 디스플레이 산업에서의 대면적 미세형상 가공기술 수요가 증가할 것으로 예상되며, 이외에도 향후 BT나 NT 분야에서의 수요가 증대될 것으로 보고 있다. 지금까지 미세형상의 제조는 특수가공법에 의한 제조공정이 주를 이루고 있지만[1,2], 미세부품의 치수가 큰 경우에는 가공하기가 어렵고, 평면에서 적층과 제거를 반복하여 제조하기 때문에 공정이 복잡하며, 3차원 입체 형상부품의 제조에는 한계가 있다. 또한 PMMA와 같은 폴리머 재료나 단결정 실리콘과 같이 광반응 및 에칭이 잘되는 소재를 기반으로 하기 때문에 가공물 소재의 제한이 많고, 소재제거율(Material removal rate)이 매우 낮아 가공에 많은 시간이 소요된다. 따라서 이와 같은 제약을 극복하기 위한 방법으로 마이크로 공구에 의한 미세형상의 기계적인 가공법이 각광을 받고 있다.[3,4] 본 논문에서는 마이크로 엔드밀링에 의한 미세격벽 가공을 수행하였고, 대면적 가공시 AE 신호를 이용한 공구상태 감시에 관해 논의하였다.

2. 미세격벽 가공 실험

미세격벽의 제작은 400×400mm 면적의 Al6061 공작물 상에 직경이 200μm인 마이크로 엔드밀 공구를 이용하여 가공이 수행되었다. 최대 회전수가 80,000rpm인 에어터빈 스피들을 고속 머시닝센터에 부착하여 실험을 수행하였으며, 가공이 이루어지는 동안 공구상태에 따른 AE 신호의 특성을 분석하기 위해 공작물에 AE 센서를 부착하였다. 범용 절삭에서는 절삭력이 수십에서 수백 N의 크기에 달하지만, 마이크로 절삭에서는 수 N 이하로 절삭력이 아주 작게 나타난다. 미세한 절삭조건의 현상과약을 위해서는 주파수 범위가 넓고, S/N가 높은 센서가 요구된다. 이러한 요구조건에 부합되며, 설치의 용이성으로 인해 AE 센서는 마이크로 가공에서 특정 평가에 효과적으로 적용되고 있다.[5] 실험에 사용된 AE 센서는 PAC사의 Pico-type 센서로 광대역에서 안정적인 응답성을 갖는다. Fig. 1은 실험장치의 사진을 보여주고 있으며, Table 1에 실험에 사용된 장비의 사양을 나타내었다. 가공조건은 스피들 회전수가 70,000rpm이고, 이송속도는 210mm/min이다. 본 실험에 사용된 공구의 날끝반경(Tool edge radius)이 약 1.0μm이기 때문에 날당이송을 1.0μm 이상이고, 초기 공구파손이 발생하지 않는 조건을 선택하였다. AE 신호는 가공 중 0.2초 동안 50,000개의 데이터가 획득되었다. Table 2에는 실험조건을 나타내었다.

Table 1 Specification of experimental setup

Machining center	MAKINO V-55
Air-turbine spindle	BIG BBT40 (Max. 80,000rpm)
Pre-amplifier	PAC 1220A
AE sensor	PAC Pico (250-750kHz)
Oscilloscope	Lecroy 9330A
SEM	HITACHI S3500N
CCD camera	Neocom(x400)

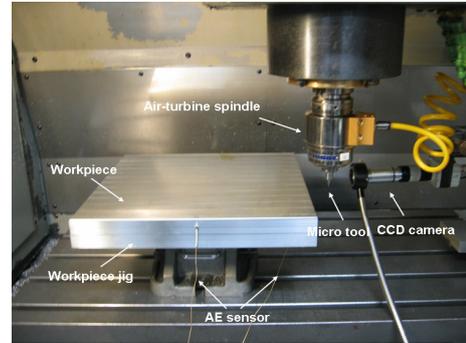


Fig. 1 Experimental setup

Table 2 Experimental condition

Spindle speed	70,000rpm
Feedrate	210mm/min
Depth of cut	20μm
Tool	φ200μm WC Flat end mill
Workpiece	Al6061 (400×400mm)
Cutting fluid	Dry

3. 실험결과 및 고찰

예비실험 결과 공구파손은 약 40m의 절삭거리에서 발생하였다. 따라서 본 실험에서는 절삭거리를 40m 이하로 제한하여 실험을 수행하였다. Fig. 2는 절삭거리 증가에 따른 AE 원신호(Raw signal)의 변화를 보여주고 있다. AE 신호는 일정한 진폭의 연속형 신호로 나타나고 있으며, 공구날당 신호도 나타나고 있다. 가공초기 AE 신호의 진폭은 약 0.02V 수준이었지만, 절삭거리가 약 32m로 증가하면서 신호의 진폭 레벨은 약 0.05V까지 증가하는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 결과는 공구마멸에 따른 절삭 에너지 증가가 AE 신호의 변화를 가져온 것으로 보여진다.

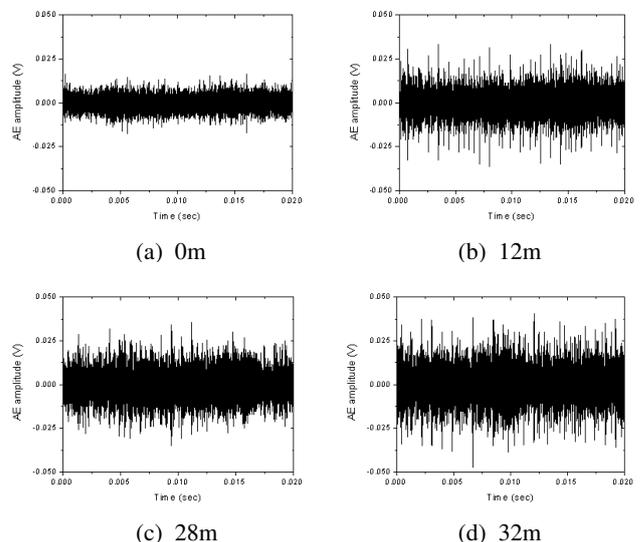


Fig. 2 Variation of AE raw signal according to cutting length

AE 원신호 뿐만 아니라 AE 신호의 주파수 특성을 분석한 결과 400~600kHz 주파수 대역에서 특징적인 변화를 보이는 것으로 나타났다. Fig. 3은 특정 주파수 대역의 변화를 보여주고 있다. Fig. 2의 원신호 특성과 유사하게 400~600kHz 대역 신호의 진폭이 절삭거리에 따라 증가하는 경향을 보이고 있다. 이와 같은 결과로부터 AE 원신호 및 400~600kHz 대역의 신호가 공구상태 감시를 위해 유효한 파라미터임을 알 수 있었다.

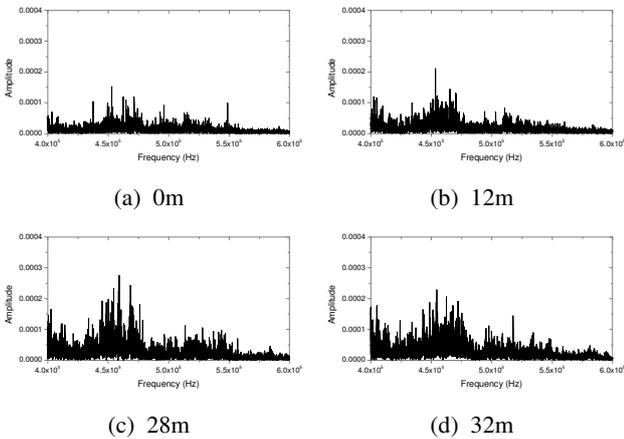


Fig. 3 Amplitude variation in 400-600kHz frequency domain according to cutting length

AE 원신호와 주파수 신호의 정량적인 분석을 위해 원신호와 400-600kHz 대역의 진폭을 RMS 값으로 변환하여 Fig. 4에 나타내었다. 시간과 주파수 도메인에서 보여진 신호특성과 유사하게 절삭거리에 따라 RMS 값이 점진적으로 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한, 원신호와 주파수 신호의 RMS 값의 증가 추세는 거의 유사하게 나타났다. 이는 절삭거리에 따른 원신호와 주파수 신호의 변화 특성은 일치한다고 볼 수 있다.

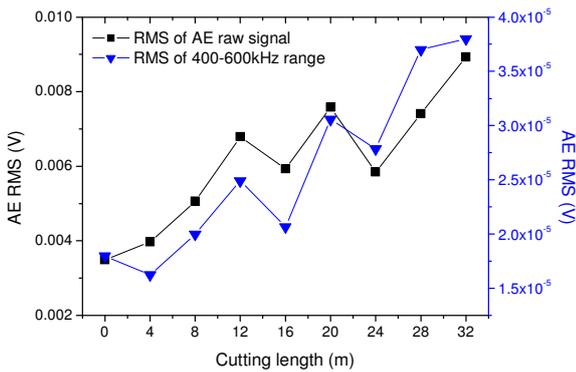
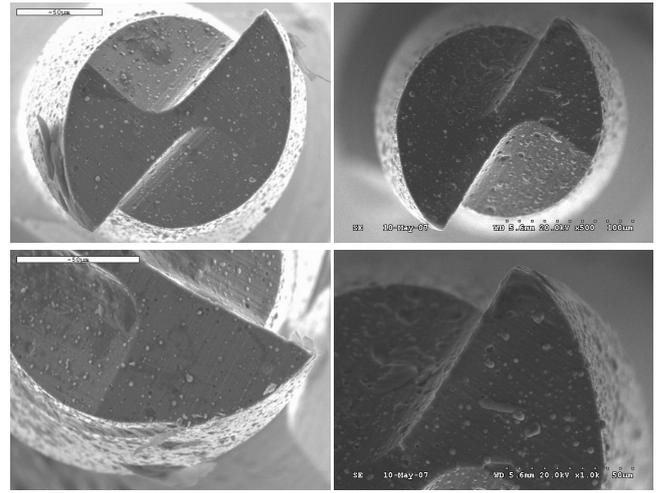


Fig. 4 Variation of AE RMS according to cutting length

마이크로 공구는 범용 공구와 달리 직경이 수백 μm 에서 수십 μm 의 크기이기 때문에 직접적인 공구마멸 측정이 어렵다. Fig. 5는 가공하기 전 공구와 32m 가공 후 공구상태의 SEM 사진을 보여주고 있다. 범용 가공에서처럼 공구마멸이 확연히 나타나지 않고, 공구날이 미세하게 마멸되는 것을 볼 수 있다. 특히, 대면적 가공에서는 가공품의 정밀도와 품질의 향상을 위해서 적절한 공구교체 시기의 판단이 매우 중요하다. 따라서, 제시된 AE 신호의 유효 파라미터를 이용하여 공구상태를 감시해 낼 수 있다고 판단된다.



(a) New tool (0m) (b) Worn tool (32m)

Fig. 5 SEM image of new and worn tool

4. 결론

대면적 미세격벽 가공시 공구상태 감시를 위해 AE 신호의 특성을 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 절삭거리가 증가함에 따라 AE 원신호와 400~600kHz 대역의 주파수 신호가 변화함을 파악하였다. 공구마멸이 진행됨에 따라 원신호와 주파수 신호의 진폭이 증가하였으며, 정량적인 분석을 위한 RMS 값의 변화도 일치하는 결과를 얻었다. 이러한 결과로부터 대면적 마이크로 가공시 공구상태 감시를 위해 AE 원신호와 주파수 신호 진폭의 RMS 값 레벨감시가 유효함을 알 수 있다.

후기

본 연구는 2006년도 산업자원부의 핵심연구개발사업의 일환인 '마이크로가공 공정감시 및 진단/보정 기술 개발' 과제로 한국과학기술원의 연구비 지원에 의해 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Alting, L., Kimura, F., Hansen, H. N. and Bissacco, G., "Micro Engineering," Annals of CIRP Keynote, 52, 2, pp. 635-658, 2003.
2. Masuzawa, T., "State of the Art of Micromachining," Annals of CIRP Keynote, 49, 2, pp. 473-488, 2000.
3. Chae, J., Park, S. S. and Freiheit, T., "Investigation of Micro-cutting Operation," International Journal of Machine Tools & Manufacture, 46, pp. 313-332, 2006.
4. Dornfeld, D. A., Min, S. and Takeuchi, Y., "Recent Advances in Mechanical Micro-machining," Annals of CIRP, 55, 2, pp. 745-768, 2006.
5. Lee, D. E., Hwang, I., Valentre, C. M. O., Oliveira, J. F. G. and Dornfeld, D. A., "Precision Manufacturing Process Monitoring with Acoustic Emission," International Journal of Machine Tools and Manufacture, 46, pp. 176-188, 2006.