

미세가공을 위한 마이크로 공구동력계 개발

권동희*, 황인옥, 강명창(부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구소),
김전하(㈜LeBe 산업), 김정석, 안중환(부산대학교 기계공학부)

Development of the Micro Tool Dynamometer for Micro Machining

D. H. Kwon(ERC/NSDM, PNU), I. O. Hwang(ERC/NSDM, PNU), M. C. Kang(ERC/NSDM, PNU),
J. H. Kim(LeBe Industrial co., LTD), J. S. Kim, J. H. Ahn(School of Mech. Eng., PNU)

ABSTRACT

This paper presents an investigation on the characteristics for new micro tool dynamometer by using the ultrahigh-speed air turbine spindle. Recently, the ultrahigh-speed micro flat endmilling has been investigated actively due to request of accuracy improvement and productivity of die and mould manufacturing. To perform efficient ultrahigh-speed micro flat endmilling, evaluation of ultrahigh-speed machinability must be studied preferentially and it can be identified by investigation of cutting force. The cutting forces in ultrahigh-speed micro flat endmilling can be measured by micro tool dynamometer. But general dynamometer has low natural frequency and so is improper for measuring very high frequency cutting forces in ultrahigh-speed micro flat endmilling. In this study, the micro tool dynamometer which has very high natural frequency is newly designed.

Key Words : Ultrahigh-speed air turbine spindle (초고속 에어터빈 스피들), Micro tool dynamometer (마이크로 공구동력계)
Cutting force (절삭력)

1. 서론

최근 미세가공용 공작기계와 마이크로 공구 그리고 CAD/CAM 시스템의 발전과 더불어 미세형상을 갖는 금형이나 항공기 부품 등의 가공이 널리 행해지고 있고 이에 따라 마이크로 엔드밀 공구의 사용이 보편화되고 있는 실정이다.¹ 실제 현장에서는 마이크로 엔드밀링 가공시 발생하는 트러블을 작업자의 경험에 의해 해결하고 있어 자원의 낭비 뿐만 아니라 많은 경제적 손실을 초래하고 있다. 이런 이유로 인해 공구의 상태를 감시하고 실시간이나 작업간에 문제를 해결하기 위한 많은 연구들이 행해지고 있으며 이와 아울러 초정밀, 초미세를 요하는 마이크로 엔드밀링 가공에 대한 평가시스템이 요구되어지고 있다.²

본 실험에서는 고속 머시닝센터의 주축에 부착이 가능한 초고속 에어터빈 스피들(Ultrahigh-speed air turbine spindle)을 사용하여 마이크로 엔드밀링을 수행하였으며, 한편 초고속 에어터빈 스피들에서는 스피들 회전수가 높기 때문에 기존의 낮은 고유진동수의 공구동력계로는 절삭력 신호를 획득하기 어려운 매우 높은 고주파의 절삭력 신호가 발생하게 되어, 이에 적합한 공구동력계를 필요로 한다. 따라서 본 연구에서는 마이크로 엔드밀 가공시 절삭력의 측정을 위해 고주파수 응답특성을 가지는 3축 마이크로 공구동력계(Micro tool dynamometer)를 개

발하였고, 또한 자체 개발한 마이크로 공구동력계를 이용하여 고주파수 영역에서 안정된 응답특성을 확보하며 신뢰성 있는 절삭력을 획득하였다. 뿐만 아니라 날당 절삭력 신호와 한 회전당 절삭시간의 동적성분을 잘 반영하고 시간 지연이 없는 좋은 응답성을 갖는다. 따라서 자체 개발한 마이크로 공구동력계의 특성에 관해서 평가를 하였다.

2. 마이크로 공구동력계의 시스템 특성

마이크로 가공의 평가시스템으로 절삭력 측정 시스템이 가장 많이 사용되어지고 있다. 절삭력은 엔드밀링 가공의 절삭성을 평가하는 가장 중요한 인자 중의 하나인데 이 절삭력 신호에는 피크치, 날당 절삭력, 한 회전당 절삭시간, 런아웃 등을 나타내는 정적인 절삭력 성분과 공구수명, 표면거칠기 등에 영향을 미치는 진동성분 등을 나타내는 동적인 절삭력 성분으로 크게 나눌 수 있다.

현재 사용되고 있는 공구동력계는 자체 고유진동수가 낮아 초고속 스피들에 의한 마이크로 엔드밀링의 절삭력을 측정하고 평가하기에는 부적합하다. 또한 스피들 회전속도가 높아서 기존의 낮은 고유진동수의 공구동력계로는 획득하기 어려운 매우 높은 고주파의 절삭력 신호가 발생하게 되어있어 적합한 공구동력계가 필요로 한다. Fig. 1은 새로 개발한 마이크로 공구동력계의 시스템 구성에 대해서 나타내었다.

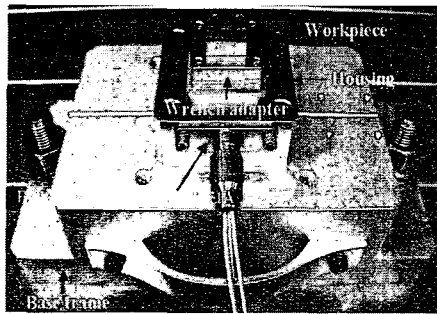


Fig. 1 System formation of micro tool dynamometer

시스템의 캘리브레이션(Calibration)은 X, Y, Z 3 축 방향으로 힘을 단계적으로 가압하면서 기준 센서인 로드셀이 나타내는 가압력과 실제 공구동력계에 장착되어 있는 압전형 힘 센서(Force sensor)를 통해 출력되어지는 절삭력 신호를 비교하여 각 축 방향에 대한 민감도를 조정하였으며, 그에 따른 압전형 힘 센서의 민감도는 X(Feed)축 방향 -7.84 pC/N , Y(Radial)축 방향 -7.90 pC/N , Z(Axial)축 방향 -3.78 pC/N 로 지정하였다. 또한 공작기계, 센서, 베이스의 절연 문제 때문에 노이즈(Noise)가 심각하게 발생하고 있다. 따라서 새로 개발한 마이크로 공구동력계는 이런 문제를 해결하고자 모든 시스템 구성요소 부분에 표면 무전해 니켈도금을 하여 노이즈를 대폭 감소시켰다.

3. 마이크로 공구동력계의 절삭력 평가 실험

실험방법과 실험을 위한 가공조건으로는 초고속 에어터빈 스피들에 직경 $100 \mu\text{m}$ 인 2 날 초경 평 엔드밀을 장착하였고, 가공소재의 재질은 6:4 황동을 사용하였다. 실험은 스피들의 속도별 절삭력 신호 특성을 알아보기 위해 BIG社의 스피들 속도 $40,000\text{--}80,000\text{rpm}$ 과 NSK社의 $80,000\text{--}160,000\text{rpm}$ 으로 각각 $10,000\text{rpm}$ 씩 계속 증가시켰다. 날당 이송은 $25 \mu\text{m/tooth}$ 로 고정하고, 절삭깊이는 $20 \mu\text{m}$ 로 고정하였다. Fig. 2는 실험장치의 개략도이다.

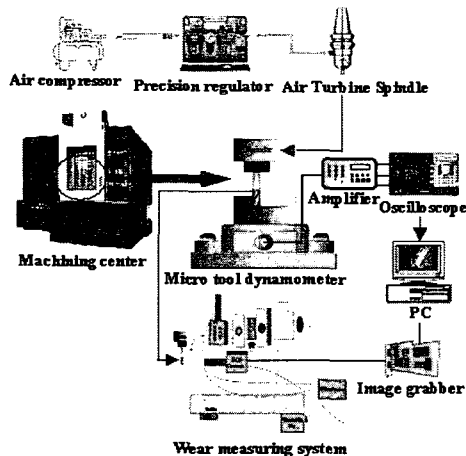
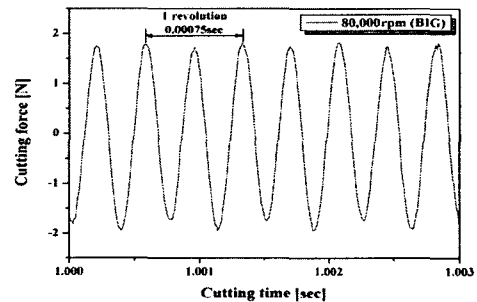
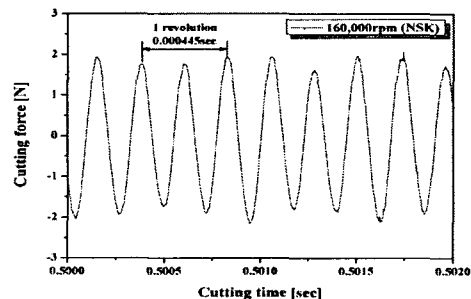


Fig. 2 Schematic diagram of cutting and measuring system

실험은 건식절삭으로 행해졌고, 절삭시 힘 센서를 통해 전달되는 전하량은 전하증폭기를 통해 증폭되어 4채널의 디지털 오실로스코프를 통해서 데이터를 획득하고 분석하였다. 실험은 가공조건에 따라 10회씩 실험 후 매회 실험결과를 분석해 본 결과 경향은 거의 유사하게 나타났다. Fig. 3은 스피들 회전속도에 따른 절삭력 신호특성에 대해서 나타내었다.



(a) 80,000rpm (BIG社)



(b) 160,000rpm (NSK社)

Fig. 3 Signal characteristics according to spindle speeds

각 스피들 회전속도에 따라서 $160,000\text{rpm}$ 을 제외한 모든 스피들 속도에서 날당 절삭력 신호와 한 회전당 절삭시간의 동적성분을 잘 반영하고 시간지연이 없는 좋은 응답성을 갖고 있다는 것을 확인하였다.

4. 결론

미세가공에서 신뢰할 수 있는 절삭력을 획득하기 위해 새롭게 마이크로 엔드밀 공구의 절삭력 측정시스템을 개발하였고, 그 신뢰성을 직접 마이크로 가공을 통해 확인하였다.

후기

본 연구는 2006년도 산업자원부의 핵심연구개발 사업의 일환으로 한국과학기술원의 연구비 지원에 의해 수행된 것으로 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Benavides, G L, Yang, P, and Adams, D. P, "Micro/Meso Mechanical," NSF workshop, Northwestern University, May 2000.
2. Kwon, D. H., "A Study on the Characteristics of Micro Machining by using Ultrahigh-Speed Air Turbine Spindle," M. S. Dissertation, Pusan National University, 2006.