

정밀가공 시 임피던스 측정을 통한 시편 초기위치 설정 Workpiece Leveling and Initial Positioning by Measurement of Impedance in Micro-machining

*이호철¹, #김기대¹, 정기용¹

*H. C. Lee¹, #G. D. Kim(gidkim@cu.ac.kr)¹, K. W. Jung¹

¹대구가톨릭대학교 기계자동차공학부

Key words : Workpiece leveling, Impedance, Micro-machining

1. 서론

부품의 초소형화 및 고집적화 추세에 따라 초정밀 가공기술이 요구되고 있으며 이를 실현시키기 위해 다양한 기술이 개발되고 있다. 미세가공을 위해 가공 시편을 새롭게 장착하였을 경우 시편의 수평을 정확하게 맞추어야 하고, 또한 공구를 새롭게 교환하였을 경우 시편에 대한 공구의 초기위치를 정확하게 설정하는 절차가 필요하다. 시편의 수평을 맞추기 위해 Fig. 1과 같은 접촉식 센서를 사용하면 가공시편에 미세한 소성변형이 발생하는데 이는 초정밀가공에는 큰 문제가 될 수 있다. 또한 가공시편에 대한 공구의 초기위치를 정확히 알기 위해서는 공구를 가공시편에 순차적으로 접근하면서 공구가 직접 시편에 닿아 가공될 때까지 가공해야하기 때문에 가공시편의 손상은 불가피하다. 본 연구에서는 수 마이크로미터 수준의 초정밀가공을 위한 시편을 고정할 때 공구와 공작물 구조에 변화를 주지 않고 임피던스를 측정함으로써 시편의 수평상태 및 공구의 초기 위치를 정확히 확인할 수 있는 간편한 방법을 제시하고자 한다.

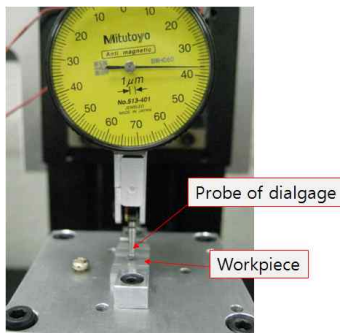


Fig. 1 Adjustment of workpiece leveling using dial-gage

2. 실험장치 구성

Fig. 2 는 절삭공구 및 시편과 접촉되어 있는 테이블에 전선을 연결하여 공구와 시편 사이의 임피던스를 측정하기 위한 장치를 보여주고 있다.

공구와 가공시편을 포함하는 전체 시스템을 전기적인 관점에서 RLC 회로로 모델링해보면 유도(inductance) 성분은 무시할 수 있으므로 Fig. 3 과 같이 R 과 C 만으로 모델링할 수 있다. 따라서 공구와 시편을 포함하는 전체 시스템의 임피던스 $Z(\omega)$ 을 구하면 Eq. (1) 과 같이 표현된다.

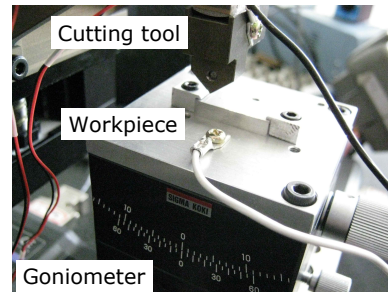


Fig. 2 Experimental setup for measuring impedance between cutting tool and workpiece

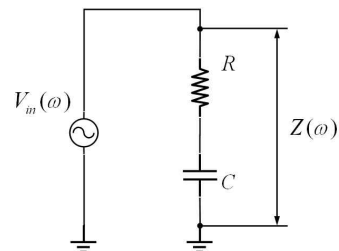


Fig. 3 Simplified electric circuit modeling for cutting tool and workpiece

$$Z(\omega) = R + jX_C = R + j\frac{1}{\omega C} \quad (1)$$

여기서 R 성분은 주로 시편 및 공구 그리고 전원 공급을 위해서 사용된 전선 등의 전기저항 성분을 나타내며 고정값이며, 용량(capacitance) 성분 C 는 주로 시편과 공구 사이에 존재하는 공극(air gap)에 의한 용량 성분이다. 배선과정에서 발생하는 각종 기생(parasitic) 성분들의 영향은 상대적으로 작기 때문에 무시하였다.

2개의 평행한 도체 판의 경우라면 용량 성분 C 는 Eq. (2) 와 같이 도체 판 사이에 존재하는 물질의 상대유전율(relative permittivity) k 과 도체 판 사이의 거리 d 및 도체 판의 면적 A 의 함수이다.

$$C = \frac{Ak\epsilon_0}{d} \quad (2)$$

여기서 ϵ_0 는 진공상태에서의 유전율을 나타내며 값은 $8.85 \times 10^{-12} \text{coul}^2/\text{Nm}^2$ 다. 본 연구에서는 d 는 시편과 공구 사이의 거리에 해당하며 A 는 공구의 팁 끝의 유효(effective) 표면적에 해당한다. 결국 전체 시스템의 임피던스는 Eq. (3) 과 같이 표현된다.

$$Z(\omega) = R + j\frac{d}{\omega Ak\epsilon_0} \quad (3)$$

이 식은 비록 공구의 팁이 매우 작고 ($A \ll 1$) 상대유전율이 작다고 ($k \approx 1$) 해도 임피던스를 계속하는 주파수가 충분히 높게 ($\omega \gg 1$) 확보된다면 시편과 공구 팁 사이의 거리가 작은 범위 ($d \ll 1$) 내에서는 임피던스 $Z(\omega)$ 를 측정해서 시편과 공구 사이의 거리 d 를 예측할 수 있다는 것을 보여준다.

3. 실험 결과

직육면체 형태($6 \times 9 \times 2.8 \text{mm}^3$)의 알루미늄을 제작하여 절삭공구 인서트 대신에 결합하고 알루미늄 시편과의 거리를 $10 \mu\text{m}$ 부터 $1 \mu\text{m}$ 간격으로 접근 시켜가면서 다양한 입력주파수 영역에서 팁과 시편사이의 임피던스를 측정하였다. Fig. 4는 알루미늄 팁과 시편 사이의 거리가 $10 \mu\text{m}$ 일 때 측정된 임피던스 값을 기준으로 하여 거리가 가까워짐에 따라 임피던스가 감소하는 비율을 보여주고 있다. 예측할 수 있듯이 시편과 팁 사이의 거리가 가까워짐에 따라 모든 주파수 영역에서 전체적으로 임피던스가 감소하고 있으며, 특히 500kHz 주파수에서

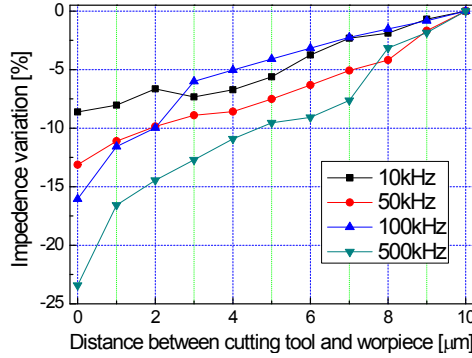


Fig. 4 Impedance variation according to the distance between aluminum tip and workpiece (reference distance= $10 \mu\text{m}$)

임피던스 감소율(민감도)이 큰 것으로 나타났다. 공구와 시편 재료를 변화시켜가면서 가장 민감도가 큰 특정한 주파수 영역을 찾아낸다면 임피던스를 측정하여 공구와 시편사이의 거리를 간접적으로 계산할 수 있음을 확인하였다.

4. 결론

시편과 공구 사이를 전선으로 연결하여 임피던스를 간편한 방법으로 측정함으로써 둘 사이의 거리를 정확하게 예측할 수 있는 방법을 제시하였다. 이를 통해 시편에 어떠한 손상을 가하지 않고 가공 전 시편을 정확하게 수평으로 셋팅하고 공구의 초기 위치를 정확하게 파악할 수 있어 시편을 정밀가공할 수 있다.

후기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2011-0004098).

참고문헌

- Malshe, A.P. et al., "Tip-based nanomanufacturing by electrical, chemical, mechanical and thermal processes," CIRP Annals - Manufacturing Technology, 59, 628-651, 2010.