

PZT 액츄에이터를 이용한 마이크로 구 어레이 타공 연구

A study on indentation of micro spherical array using PZT actuator

*이강원¹, #제태진², 유영은³, 최두선⁴, 황경현⁵

*K. W. Lee,¹ #T. J. Je (tj@kimm.re.kr)², Y. E. Yoo³, D. S. Choi⁴, K. H. W⁵

¹ 한국기계연구원 나노공정장비 연구센터

Key words : micro pattern process, spherical indenter, PZT actuator, indentation force

1. 서론

인덴테이션 기법은 다양한 구동기와 메커니즘을 적용하여 각종 재료의 박판이나 미세 구조물에 대한 기계적인 물성 평가를 위한 방법으로서 적용되어 연구되고 있다. 본 연구에서는 PZT 액츄에이터를 이용한 인덴테이션 기법으로 구형 압자를 제작하여 미세 패터닝을 위한 방법으로 적용하여 구형 어레이를 형성하기 위한 실험을 수행하였다.

2. 실험장치 구성

기존 미세 가공기 시스템을 이용하였으며 이 시스템은 서브미크론의 정밀도를 가지는 X-Y 스테이지와 Z축은 고 정밀 서브모터로 구성되었다. 아래 Fig. 2.1과 같이 PZT 액츄에이터는 실린더형 하우징에 장착하고 Z축에 부착하였다. 소재를 고정하는 지그를 제작하고 공구동력계 위에 부착하여 인덴테이션 압입에 의한 가공력을 실시간으로 측정할 수 있게 하였다.

공구(압자)는 콜렛을 이용하여 장착하고 PZT 액츄에이터와 볼트 체결을 하였다.

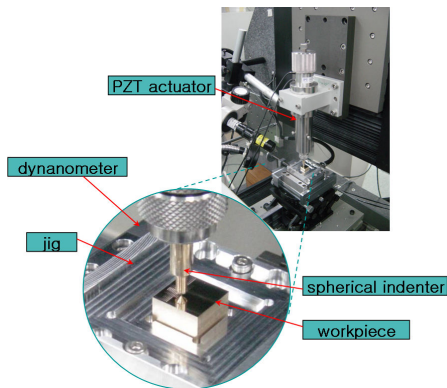


Fig. 2.1 Schematic of experimental setup

PZT 액츄에이터는 함수발생기에 의한 초기 신호를 증폭기를 거쳐서 100배 증폭시켜 입력함으로써 구동이 된다. 액츄에이터 상부에 스트레인 게이지 타입의 변위 센서가 부착되어 함께 구동된다. PZT 액츄에이터는 최대 입력 1000V에 180um의 발생 변위를 가지며 push force는 4500N, pull force는 500N 이며 분해능은 3.6nm이다.

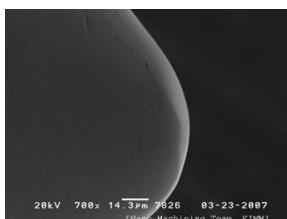


Fig. 2.2 Spherical indenter (tool)

Fig. 2.2는 제작한 구형 공구사진으로 90°로 간격으로 광학현미경과 SEM으로 관찰하였으며 표면상태가 그리 좋지 않고 완전한

curvature를 이루지 못한 것을 볼 수 있었다.

소재는 기계 가공성이 뛰어나 Micro 가공에서 많이 사용되고 있는 15(square)mm의 6:4황동을 이용하였다.

3. 가공 실험 및 결과

3.1 One shot 방식에 의한 인덴테이션 가공 실험

Continuous 인덴테이션 가공실험을 위한 선행 실험으로서 스테이지 이송이 없는 정적인 상태에서 PZT actuator를 구동하여 입력 신호에 대한 구형 압자와 소재의 압입에 의해서 형성되는 압흔 형태, 압흔 직경, 압입력등을 알아보기 위한 것이다. Table 3.1은 실험 조건을 나타낸 것이다.

Table 3.1 Experimental conditions on One shot indentation

Item	Value
frequency (Hz)	1, 10
wave type	sine, pulse
duty(%)	30, 40, 50, 60, 70
displacement(um)	90
Z axis offset(um)	25~85 (5씩 증가)
depth (um)	5~65 (5씩 증가)

가공 방식은 함수발생기로 초기 신호를 결정하여 PZT를 구동하여 출력 스위치 on-off로 burst 방식을 이용하여 3초 동안에 신호를 한번 출력하는 방식으로 하였으며 압입 깊이는 발생변위 90um를 기준으로 Z축 오프셋으로 조절하였다.

결과를 보면 Fig. 3.1과 같이 압입 깊이를 증가함에 따라 압흔 직경이 커지고 압흔 경계 주변에 탄성 및 소성에 의한 변형을 볼 수 있다. 앞서 공구 측정 결과에서와 같이 완전한 curvature를 이루고 있지 않아 Fig. 3.1(a)에서와 같이 압흔이 정원형태가 아님을 볼 수 있다.

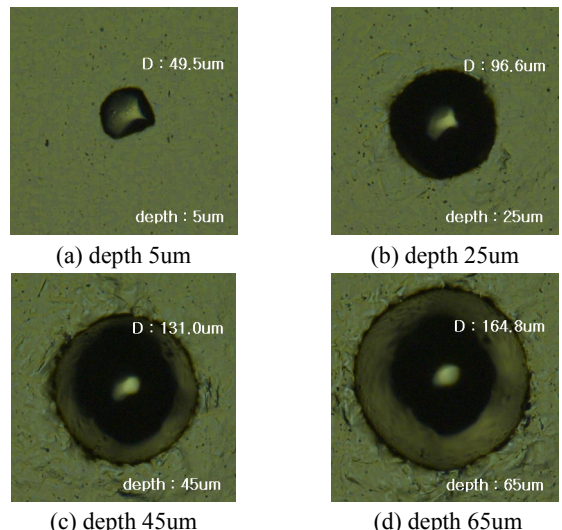


Fig. 3.1 Photographs of indented surface on 10Hz, pulse wave, duty 50% using continuous indentation

3.2 Continuous shot 방식에 의한 인텐테이션 가공 실험

앞서 수행하였던 one shot 방식에 의한 인텐테이션 가공 결과를 바탕으로 스테이지를 이송하면서 PZT 액추에이터를 구동하여 구형 패턴 array형성을 위한 실험을 수행하였으며 여기서 패턴 간의 피치는 압입 깊이 25um를 기준으로 100um로 하였고 이송속도는 60, 120, 180mm/min으로 하였으며 패턴 피치를 고려하여 위의 각 이송속도에 대해서 주파수는 10, 20, 30Hz로 결정되었다. 그 외의 실험 조건은 Table 3.1과 동일하다.

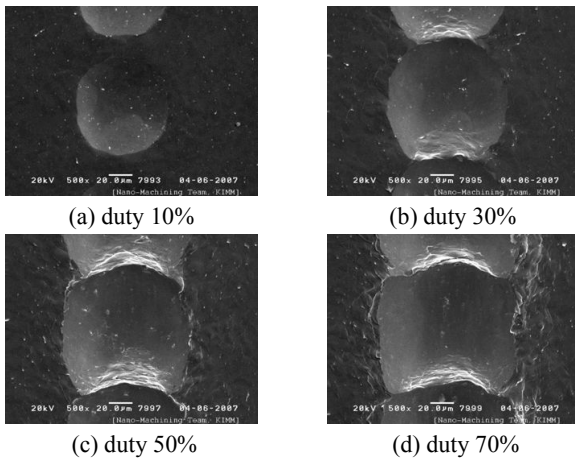


Fig. 3.2 Photographs of indented surface on 10Hz, pulse wave, 60mm/min using continuous indentation

Fig. 3.2는 이송속도 60mm/min, 주파수 10Hz에서 duty값 변화에 따른 연속 인텐테이션 가공 면 사진을 나타낸 것이다.

앞서 one shot 방식에 의한 인텐테이션 가공에 의한 결과와는 달리 압흔의 형태가 정원이 아니라 타원 형태를 보인다. 이는 연속 인텐테이션 가공의 경우 인텐테이션과 함께 스크래치 가공이 이루어짐을 알 수 있다. 가공 지속시간과 밀접한 관련이 있는 duty값이 증가 할수록 스크래치 가공영역이 늘어남에 따라 일정 피치에 의해서 패턴과 패턴이 겹쳐져 간섭을 받는 것을 볼 수 있다.

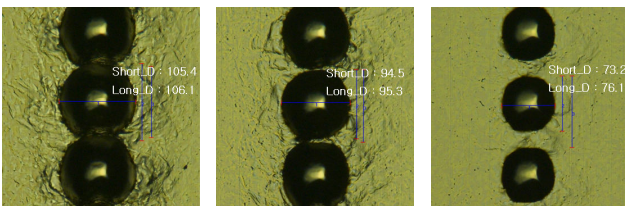


Fig. 3.3 Photographs of indented surface for each frequency using continuous indentation method

위 Fig. 3.3은 continuous indentation 방식을 이용하여 duty30%에서 가공 속도에 따른 가공면 사진으로 압흔 직경 크기에 차이를 보인다. 이는 PZT 액추에이터의 동특성이 좋지 않아 주파수를 증가시킴에 따라 제어 변위 보다 작게 변위가 발생하기 때문이다.

Fig. 3.4는 Continuous shot 방식에 의한 인텐테이션 가공 시 가공속도에 따른 압입 가공력을 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 가공속도를 높임에 따라 압입력이 감소하는 것을 볼 수 있는데 위에서 설명했듯이 제어 변위보다 작게 변위가 발생하기 때문이다. 또한 거의 대부분의 duty값에서 Peak 값으로부터 조금씩 감소하는 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 이는 아래 Fig. 3.5에서 나타낸 것과 같이 가공방향 즉 Y축 가공력이 압입 지속시간 동안에 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 인텐테이션 시 스크래치

가공도 같이 일어나면서 Z축의 압입력이 스크래치 가공에 의한 Y축 가공력으로 전환되는 것이라고 판단된다.

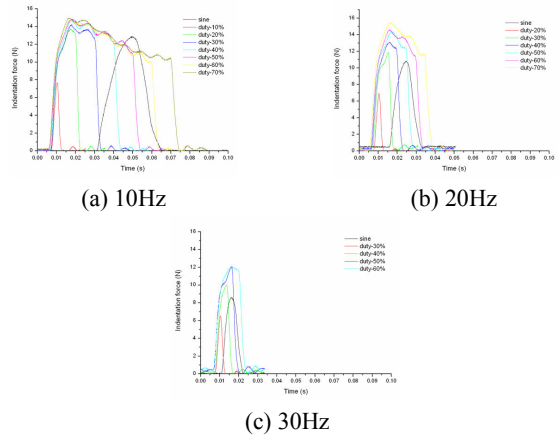


Fig. 3.4 Comparison of indenting force for changing indentation velocity on continuous indentation

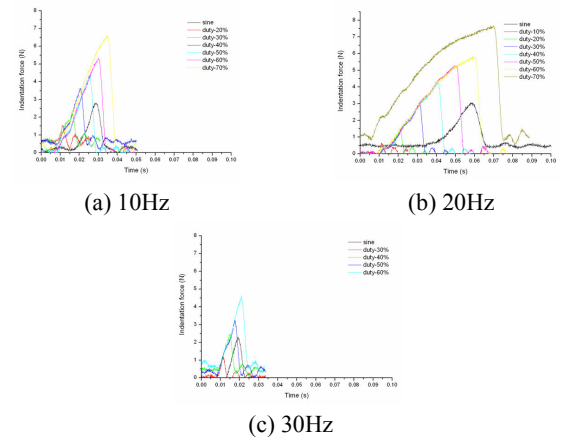


Fig. 3.5 Machining force of Y axis on continuous indentation

4. 결론

연속 인텐테이션 가공에서 스테이지의 이송에 의해서 인텐테이션과 함께 스크래치 가공이 같이 이루어짐을 가공면 사진과 압입력 분석을 통하여 알 수 있었다.

그런 결과로 duty값에 따라 패턴간의 간섭도 발생하는 것을 볼 수 있었다. 스크래치 가공의 최소화를 위해서는 입력신호의 duty값의 최소화와 연관이 있다고 판단이 되나 선정된 PZT는 일정 값 이상의 주파수와 duty 값 이하에서는 제어 변위데로 변위가 발생되지 않는 한계점이 있음을 알았다.

후기

본 연구는 산업자원부가 지원하고 있는 차세대 신기술 개발 사업 중 한국기계연구원이 주관하고 있는 고기능 초정밀 광열유체 마이크로 부품 기술개발 사업의 세부과제로서 수행중이며 이에 관계자 여러분께 감사의 말씀을 올립니다.

참고문헌

1. H, Habbab., B, G. Mellor., S, Syngellakis., "Post-yield characterisation of metals with significant pile-up through spherical indentations," Acta Materialia 54, pp. 1965-1973, 2006.
2. Kim, Sung. Hoon., Lee, Baik. Woo., Choi, Yeol., Kwon, Dongil., "Quantitative determination of contact depth during spherical indentation of metallic materials - A FEM study." Materials Science and Engineering A 415, pp59-65, 2006.