

다이아몬드 터닝의 절삭력 측정용 tool holder를 이용한 미세절삭력 특성 연구

정상화(조선대), 김상석*(조선대 대학원), 도철진, 홍권희, 김건희(기초과학지원연구소)

Measurement of Cutting Force in Diamond Turning Process

S. H. Jeong(Chosun Univ.), S. S. Kim*(Graduate School, Chosun Univ.,)

C. J. Do, K. H. Hong, G. H. Kim(Korea Basic Science Institute)

ABSTRACT

A tool holder system has been designed and built to measure cutting forces in diamond turning. This system design includes a 3-component piezo-electric transducer. Initial experiments with tool holder system included verification of its predicted dynamic characteristics as well as a detailed study of cutting parameters. In this research, tool holder system is modeled by considering the element dividing, material properties, and boundary conditions using MSC/PATRAN. Mode and frequency analysis of structure is simulated by MSC/NASTRAN, for the purpose of developing the effective design. In addition, tool holder system is verified by vibration test using accelerometer. Many cutting experiments have been conducted on 6061-T6 aluminum. Tests have involved investigation of velocity effects, and the effects of depth and feedrate on tool force. Cutting velocity has been determined to have negligible effects between 4 and 21m/s⁽⁶⁾. Forces generally increase with increasing depth of cut. Increasing feedrate does not necessarily lead to higher forces. Results suggest that a simple model may not be sufficient to describe the forces produced in the diamond turning process.

Key words : Tool Holder System, Piezo-electric Transducer, Diamond Turning Process, MSC/PATRAN, MSC/NASTRAN

1. 서론

다이아몬드 터닝머신은 단결정 다이아몬드 공구를 사용하여 초정밀 부품을 가공하는 공작기계이다. 다이아몬드 터닝머신은 주로 초정밀 광학렌즈 가공이나 초정밀 방위산업 관련부품을 가공하는데 이용된다.⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾ 다이아몬드 터닝 공정은 광범위한 연구 영역을 포함하기 때문에 다이아몬드 터닝에 대한 완전한 이해는 어렵다. 다이아몬드 터닝의 미세 절삭력 측정은 여전히 가능성이 많은 다이아몬드 터닝의 연구 분야이다.

본 연구에서는 다이아몬드 터닝의 절삭력 측정 실험을 수행하기 위하여 Kistler 9251A, 3-component trans-

ducer를 내재한 Tool holder를 설계, 제작하였다.

다이아몬드 터닝의 절삭력 측정 연구는 많은 연구자들에 의해 다양한 방법으로 수행되어 왔다.⁽⁴⁾ 몇몇 연구자들은 광학 제품 제작시 고려되어지는 절삭속도, 피드율과 절삭속도와 같은 절삭성분에 대한 영향을 고찰하기 위해 절삭력 측정실험을 시도하여왔다. 본 연구에서 새롭게 설계되고, 제작된 tool holder 시스템과 함께 이 연구는 중요한 부분이다.

다이아몬드 터닝공정에서는 미세 절삭력에 영향을 미치는 많은 변수들과 가공할 수 있는 공작물이 많이 있다. 본 연구에서는 6061-T6 알루미늄을 이용하여 절삭력 측정 실험을 하였다. 위 가공물은 반사경 응용 분야에 많이 사용되어지기 때문에 활용 가능 할 것이라 기대

된다. 본 연구에서는 특정한 절삭 변수들을 나누어 실험을 수행하였다. 본 연구에서 선택되어진 변수들은 uncut chip의 단면에 영향을 미치는 인자들이다. 대부분 모델들은 공구 절삭력이 위 단면 영역에 의존한다고 예측한다. 이 영역에서 변화를 일으키는 중요한 변수는 절삭속도(m/s), 절삭깊이(μm), 피이드율($\mu\text{m}/\text{rev}$) 등이 있다. 공구의 노이즈 반경과 절삭속도와 같은 다른 변수들은 향후 다양한 실험을 통해 연구되어질 것이다.

본 연구를 통해 제작된 tool holder를 이용한 절삭력 측정 데이터는 향후 다이아몬드 터닝 공정의 동적모델 규명뿐 아니라 표면거칠기를 개선할 수 있는 제어기법과 급속공구서보(Fast Tool Servo) 개발에 이용될 것이다.

2. Force Measurement in Diamond Turning

본 연구의 궁극적인 목표는 다이아몬드 터닝 공정의 동적모델 규명뿐 아니라 표면거칠기를 개선할 수 있는 제어기법을 개발하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 절삭력 측정 실험을 통해 절삭 매개변수와 터닝공정의 관계를 인과자 한다. 많은 연구자들은 정밀한 광학부품 제작사 가장 크게 고려되는 절삭속도, 이송속도와 절삭깊이와 같은 절삭 성분을 측정하여왔다. 절삭실험으로부터 절삭력을 얻기 위한 데이터 공정은 Fig.1와 같다.

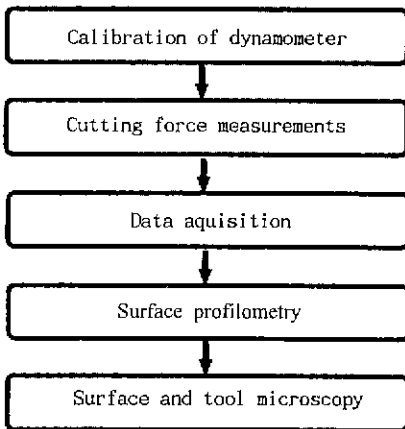


Fig. 1 Procedure for acquiring cutting force data

본 연구에서는 다음과 같은 절삭력 측정 시스템을 구성하여 실험하였다.

2.1 Experiment Set-up

압전소자 힘 트랜스듀서(Piezo-electric force transducer)의 charge output은 힘에 비례한다. 트랜스듀서로부터 나오는 신호는 charge amp에 의해 증폭되고 전압으로

변환된다. 그리고 나서, low-pass filter를 거쳐 출력장치에 의해 얻어낼 수 있다. Fig 2는 절삭력 측정을 위한 실험 장치 구성도를 나타낸 것이다.

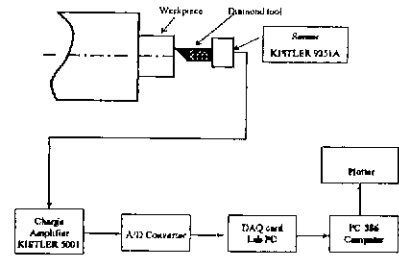


Fig. 2 Experimental setup

그림에서 나타난 바와 같이 절삭력 측정을 위한 tool holder 시스템은 Kistler 9251A piezo-electric force transducer를 내재한 Tool holder 시스템과 Kistler 501 charge Amp., 연결 케이블 (kistler 1687B5)의 구성으로 이루어져 있다. 공구가 공작물을 절삭할 때 발생하는 압력은 tool holder에 작용할 것이다. Tool holder에 내재된 압전소자는 팽창될 것이고, 전기전하가 발생할 것이다. 그리고 나서 전기전하는 charge amp.을 통해 증폭된다. 본질적으로 amp.로부터 구해지는 전압값은 charge amp.에서 섯팅된 변수들에 의해 특정한 절삭력 값을 나타낼 것이다. 출력장치는 analog signal conditioning module (NI 5B41)과 16채널 A/D interface board로 구성되어 있다. A/D 보드에서 아날로그 신호는 LabVIEW 프로그램이 데이터를 읽고 받아들일 수 있도록 하기 위해 디지털 신호로 변환될 것이다. 그리고 나서 전압은 3축 성분에 대한 힘으로 전환될 것이다. 또한 얻어진 데이터는 Origin을 이용하여 절삭력 값을 구하였다. Photo.1은 위에서 설명한 절삭력 측정 시스템을 나타낸 것이다.

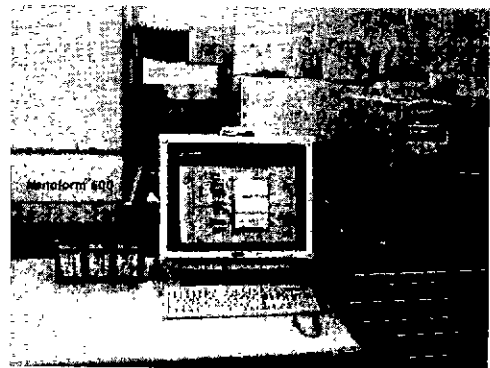


Photo. 1 The Setup of the Data Acquisition System

2.2 Study of Parameters

본 연구에서는 절삭깊이의 영향을 측정하기 위해 이송 속도를 $6\mu\text{m}/\text{rev}$ 로 일정하게 유지하고 절삭깊이를 2, 5, 8, $10\mu\text{m}$ 까지 변화시키면서 절삭력을 측정하였다. 오버랩 평 영향을 없애기 위해 가공물을 같은 조건으로 3회 가공 후 측정하였다. 공구는 곡률반경 0.5mm인 NCD(Natural Crystal Diamond)를 사용하였다. 스피들 속도는 1600rpm으로 일정하게 하였다.

표 1은 위에서 제시한 절삭조건을 나타낸 것이다.

Table.1 Basic set of cutting conditions

Material : 6061-T6 aluminum	Tool Radius : 0.5mm
Spindle speed : 1600rpm	Feedrate : 1.5, 3, 6, $12\mu\text{m}/\text{rev}$
Cutting Depth : 2, 5, 8, $10\mu\text{m}$	Radius of workpiece 20mm

2.2.1 Influence of cutting velocity

본 연구에 사용되었던 가공물은 6061-T6 알루미늄으로 가공 시간을 줄이기 위해 직경을 40mm, 실제 가공면은 10mm로 제작하였다. 본 가공물로는 절삭속도에 공구 절삭력에 미치는 영향을 고찰하기에는 어렵기 때문에 기존에 연구되어진 자료를 바탕으로 연구를 수행하였다. Iwata, Moriwaki와 Okuda⁽⁶⁾등 많은 연구자들에 의해 절삭 속도가 4~21m/s 범위에서 6061-T6 알루미늄과 구리에 대해 별 다른 영향을 미치지 않는다고 입증되었다.

2.2.2 Influence of Depth of Cut

본 연구에서는 절삭깊이에 대한 영향을 고찰하기 위해 피이드율을 일정하게 유지하고, 절삭깊이를 변화시키면서 절삭 가공을 수행하였다. 피이드율은 $5\mu\text{m}/\text{rev}$ 이고, 절삭깊이는 2, 5, 8, $10\mu\text{m}$ 으로 하였다

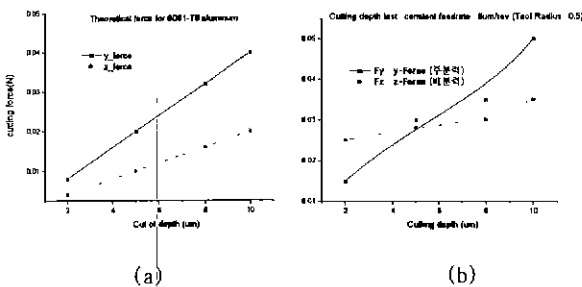


Fig. 3 Experimental force curves for R 0.5 tool showing effect of cutting depth at constant feedrates

Fig. 3은 위에 제시한 가공조건에 대응하는 이론값 (Fig.3(a))과 $R=0.5\text{mm}$ 공구에 대한 절삭깊이의 함수로서 측정된 주분력(y_force)과 배분력(z_force) 값을 나타낸 것이다. (Fig.3(b)) Fig.3(a)에 나타난 y -방향에 작용하는 힘(주분력)은 칩 단면적에 작용하는 유동 응력을 계산한 값이고, z -방향에 작용하는 힘(배분력)은 절삭력 y 값에 마찰계수 0.5를 곱하여 계산한 값이다.⁽⁴⁾ Fig.3(b)에 보여지는 바와 같이 모든 절삭깊이에 대해 측정된 값은 이론값보다 크게 나타났으며, 절삭깊이가 낮은 경우는 두 절삭력중 z -방향에 대한 절삭력이 y -방향에 대한 절삭력보다 크게 나타났으며, 절삭깊이가 깊어질수록 y -방향을 절삭력이 더 크게 나타났다. 위의 결과로부터 z -방향에 작용하는 절삭력은 'preliminary model'에 의해 예측된 일정한 마찰계수로부터 구해진 y -방향에 대한 절삭력과 관계없음을 알 수 있다. 위 결과는 동일한 조건으로 3회 절삭했을 때 같은 경향이 나타났다.

3.2.2 Influence of Feedrate

본 연구에서는 두 번째 실험으로 피이드율에 대한 영향을 조사하였다. 피이드율은 2~ $25\mu\text{m}/\text{rev}$ 까지 고려하였으며, 절삭깊이는 $5\mu\text{m}$ 으로 일정하게 유지하였으며, 주축회전수는 1200rpm으로 유지하였다. 피이드율 변화에 대한 절삭력 실험값은 Fig 4에 나타내었다.

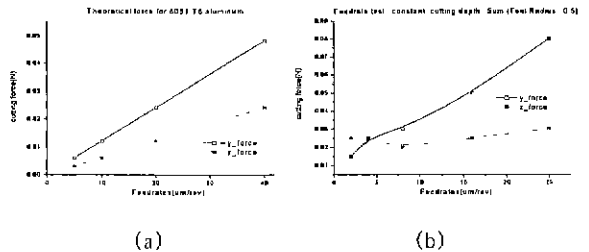


Fig. 4 Experimental data of feedrate cutting test for diamond turning of 6061-T6 aluminum.

Fig.4(a)는 피이드율에 따른 절삭력 이론값을 나타낸 것이다.⁽⁶⁾ (b)는 실제 측정값을 나타낸 것이다. 절삭깊이에 대한 실험 결과와 마찬가지로 예견된 값은 측정된 값보다 낮게 나왔다. 피이드율이 증가함에 따라 y -절삭방향인 주분력은 매우 선형적으로 증가됨을 알 수 있다. 그러나 배분력은 기대했던 것과는 달리 피이드율이 초기에 약 $10\mu\text{m}/\text{rev}$ 까지 증가함에 따라 절삭력이 감소하고, 그 이후로 증가하는 비선형적 경향이 나타났다.

3.2.3 Experiment Results

본 연구에서는 표 1에서 제시한 다양한 절삭조건을 기본으로 실험을 수행하였으며, 그 결과는 Fig.9-10과 같다.

4. 결론

본 연구에서는 다이아몬드 터닝시 발생하는 절삭력을 측정하기 위하여 공구 지지대 시스템을 설계하고 제작하였다. 또한 6061-T6 알루미늄을 이용하여 절삭실험을 수행함으로써 절삭깊이와 이송속도에 대한 영향을 고찰하였다.

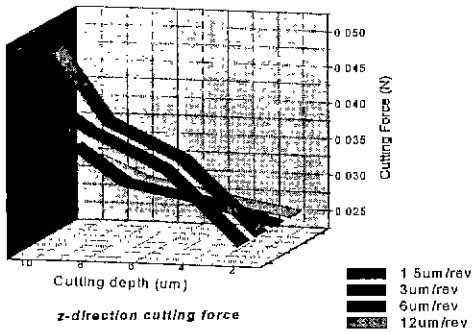


Fig.5 Experimental y_force curves for R 0.5 tool showing effect cutting depths and feedrates

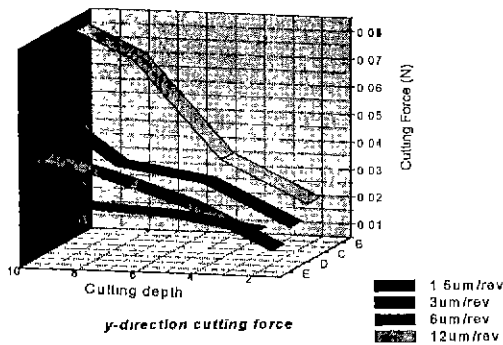


Fig.6 Experimental z_force curves for R 0.5 tool showing effect cutting depths and feedrates

Fig. 5는 절삭깊이와 피이드율에 대한 y_방향에 대한 절삭력 값을 나타낸 것이다. Fig.5로 부터 절삭깊이가 커짐에 따라 절삭력이 선형적으로 증가함을 알 수 있다. 또한 피이드율에 대해서는 1.5 μ m/rev을 제외한 피이드율 3, 6, 12 μ m/rev은 피이드율이 증가할수록 절삭력도 선형적으로 증가하였다. 1.5 μ m/rev에서는 절삭깊이의 증가에 상대적으로 적게 반응하였다. Fig. 6은 절삭깊이와 피이드율에 대한 z_방향에 대한 절삭력 값을 나타낸 것이다. Fig. 6에 나타난 z_방향에 대한 절삭력 값은 주분력에서 나타난 결과와 같이 절삭깊이가 증가함에 따라 선형적으로 증가하였지만, 피이드율에 대한 결과는 피이드율이 증가할수록 절삭력 값은 감소하였다. 이러한 경향은 Fig.4에서 이미 설명되었다.

- MSC/PATRAN, MSC/NASTRAN을 이용한 tool holder 정규모우드 해석, 주파수 분석 수행
 - 시뮬레이션 결과 1차 고유진동수 : 198Hz
- Tool holder 제작후 실제 진동 실험 수행
 - 실제 진동 측정의 한 결과 측정값 : 545Hz
- 절삭매개변수가 공구절삭력에 미치는 영향 고찰
 - 절삭력은 알루미늄에 대해 절삭속도 4~21m/s 영역에서 영향을 받지않음
 - 절삭력은 예측된 힘보다 더 크게 나타남
 - 주분력은 선형적으로 나타났지만 배분력은 피이드율이 증가할수록 기대했던 것과는 달리 감소하는 경향이 나타남

함후 본 연구에서는 다양한 가공조건과 재료를 이용한 절삭력 측정을 통해 다이아몬드 터닝 공정의 동적모델 규명뿐 아니라 표면거칠기를 개선할 수 있는 제어기법을 개발하고, 급속공구서보(FTS)를 설계, 제작하고자 한다.

References

1. R.J.P. Schrama, J. Franse., "The precision cutting process as a non-linear closed loop system" PE, Vol 10, pp.199-207, 1988
2. Kazuaki, Toshimich., Society of Manfg. Engineers, 1987
3. Furukawa, Moriwaki., "Effect of Material Properties on Ultra-precision Cutting processes" CIRP vol 37, pp.113, 1988
4. T. A. Dow, Joe Drescher, "Measurement of Tool Force in diamond Turning"
5. 정상화, 김상식, "다이아몬드 터닝 가공의 미세절삭력 측정을 위한 tool holder 설계" 정밀공학회 추계 학술대회 논문집, pp.68-71
6. Iwata, Moriwaki, Pkuda, "A Study of Cutting Temperature in Ultra-High precision Diamond Cutting of Copper", SME North American Manufacturing Research Conference Proceeding, May 1987