

# Al 원추경 초정밀가공 특성에 관한 연구

현동훈\*·조언정\*·이승준\*\*·권용재\*\*·김영찬\*\*

## A Study on the Characteristics of Ultra Precision Machining of a Al Cone Mirror

D. H. Hyun, U. Cho, S. J. Lee, Y. J. Kwon and Y. C. Kim

### Abstract

In this work, diamond turning process is used to produce mirror surface on a Al cone. The Al cone is used as a mirror which can reflect a laser beam without scattering and, hence, it is critical to minimize the surface roughness of a Al cone. During diamond turning, feedrate and tool nose radius are changed to investigate characteristics of the ultra precision machined surface of a Al cone. A laser beam of 633 nm is applied to examine the effect of surface roughness on the characteristics of reflectivity. It is found that surface roughness is not significantly affected by feedrate. The main factor influencing surface roughness is tool nose radius. The line patterns of reflected laser beams show that the minimum surface roughness of 0.08  $\mu\text{m}$  (Ra) is required to avoid scattering phenomena of reflectivity.

Key Words : Ultra-Precision Machining, Cone Mirror, Diamond Turning Machine

### 1. 서 론

다이아몬드 터닝<sup>(3)</sup>의 중요한 연구과제는 가공면의 가공정도와 원하는 치수 및 형상의 정밀도를 향상시키고 이를 보다 다양한 재질의 가공물에 적용하여 폭넓은 응용기술에 활용하는데 큰 의미를 갖는다.

최근 절삭가공의 다양한 기반기술들을 활용한 정밀절삭 즉, 초정밀가공기술<sup>(1)(4)</sup>에 대한 관심이 높아지고 있다. 절삭가공은 오늘날 보편화되고 안

정된 가공기술의 하나로 자리잡았지만, 신소재 및 미시적 스케일의 분야에서는 가공공정과 메카니즘에 대한 재조명을 필요로 하고 있으며, 기존에 구축되어진 가공기술을 벗어난 보다 폭넓은 연구들이 뒤 따라야 할 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 다이아몬드 터닝머신을 이용하여 정밀광학부품의 하나인 Al-원추형 반사경을 가공하고 단결정, 다이아몬드 선삭의 노즈반경에 따른 표면상태를 측정·분석하였다.

\* 한국산업기술대학교

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 실험장치

가공장비는 리니어 스케일 피드백 계측제어방식의 동시 3축(X, Y, Z)제어 다이아몬드 초정밀선반(도시바ULG100H<sup>3</sup>)를 사용하였다. X, Z축 테이블은 V-V 수평면 안내방식을 채택하였고 스텝이송의 반복성은 3nm의 정도를 유지한다. 주축(Z축)의 최대회전수는 3,000rpm이고 X, Y, Z축의 최소분해능은 10nm이다. 이러한 장비는 온도 23±1℃, 습도 42±2%, 진동이 차단된 10,000클래스 크린룸에서 실험했다. Fig. 1은 초정밀절삭에 관한 시스템 개략도를 나타낸다.

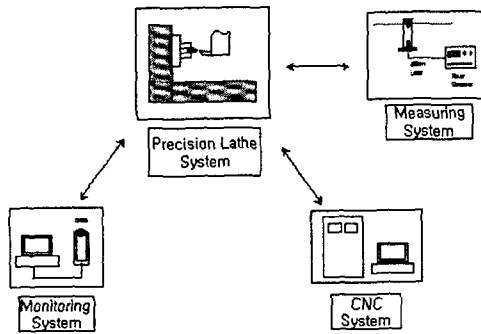


Fig. 1 Ultra-Precision Diamond Turning process for a Al cone mirror

### 2.2. 실험방법

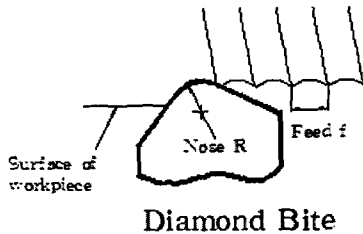


Fig. 2 Theoretical Roughness on Nose R

$$R_{\max} = r_e - \frac{1}{2} \sqrt{4r_e^2 - f^2} \quad \text{----- (1)}$$

$$= \frac{f}{8r_e} \quad \text{----- (2)}$$

일반적인 절삭가공에 있어 표면조도는 (1)에서와 같이 이송과 공구노즈반경에 영향을 받음을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 초정밀가공에 있어 가공성을 평가하고 표면거칠기를 측정하기 위해 표면거칠기에 영향을 미치는 인자인 이송과 공구노즈반경을 변화시켜 가며 분석하였다.

Fig. 3은 가공물의 형상을 설명해 주는 그림이고 1차 가공되어진 Al 원추경을 Fig. 4와 같이 주축의 진공척에 고정하여 회전시키고 공구대에 다이아몬드 공구를 장착한 후 절삭조건에 따라 실험을 수행한다. 가공후 절삭조건에 따른 가공면의 표면거칠기는 접촉식 표면조도측정기 Kosaka(SDF-100)을 사용하여 측정하였다.

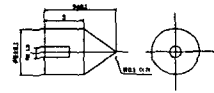


Fig. 3 Geometry of Al Cone Mirror

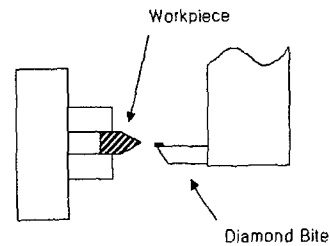


Fig. 4 Processing of Diamond Turning

Table 1.은 본 실험에 가공된 절삭조건을 나타낸다.

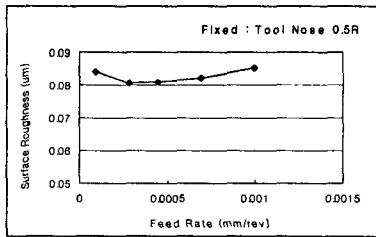
**Table 1. Cutting Conditions**

Cutting Conditions	
Cutting Speed (rpm)	3,000
Feed Rate (mm/rev)	0.001 ~ 0.00001
Depth of Cut ( $\mu\text{m}$ )	5
Tool Nose Radius(mm)	0.1 ~ 1.5

### 3. 고찰

#### 3.1. 이송의 변화에 따른 표면 거칠기

Fig. 5는 주축회전수 3,000rpm, 절삭깊이 5 $\mu\text{m}$ , 공구 노즈 반경 0.5 R(mm)의 조건에서 이송을 변화시켜 가며 측정된 표면거칠기를 나타낸다.



**Fig. 5 Surface Roughness vs Feed Rate**

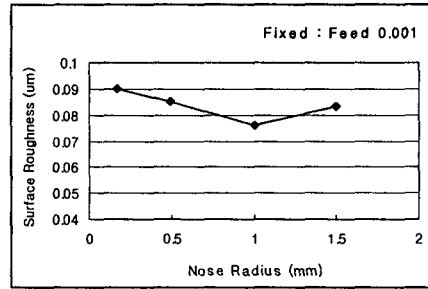
초정밀가공에서는 앞에서 언급한 바와 같이 최소설정단위가 매우 작은 공작기계를 사용하므로 이에 따른 이송 또한 매우 작아 표면조도에 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

#### 3.2. 공구 노즈반경의 변화에 따른 표면거칠기

Fig. 6은 주축회전수 3,000rpm, 절삭깊이 5 $\mu\text{m}$ , 이송0.001mm의 조건에서 공구노즈반경 R을 변화시켜 측정된 표면거칠기를 나타내낸다.

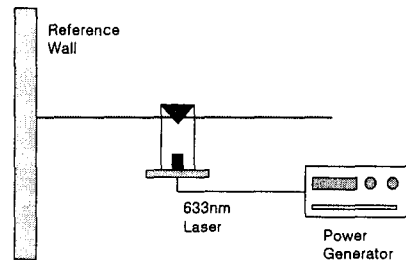
#### 3.3. 공작물의 표면거칠기에 따른 반사능

원추형 반사경의 소재는 반사능과 경량화를 고려하여 비철금속인 Al을 이용하고, 가공성을 고려하여 AL-50계열의 소재를 사용한다. 가공된 공작



**Fig. 6 Surface Roughness vs Nose Radius**

물은 Fig. 7과 같은 평가시스템을 이용하여 반사면의 가공정도를 분석하였다. 평가에 이용된 광원은 633nm 파장의 레이저를 사용하여 원추경의 꼭지점에 반사시켜 Cone Mirror를 통해 360°에 걸쳐 레이저 반사 광선을 형성한다. 경면의 평가방법은 레이저 발진기에서 출발한 광원이 원추경에 반사되어 3m 떨어진 기준면에 생성된 광선의 형태와 반사광선 높이( $\Delta h$ )를 관찰한다.



**Fig. 7 Experiment of Laser Beam Reflectivity**

첫 번째 관찰을 통해 원추경의 표면상태에 따른 반사광선의 형태를 3가지로 분류한다. Fig. 8 (a)는 여러 개의 반사광선을 갖는 형태, (b)는 에너지 손실이 많아 흐린광선을 갖는 형태, (c)는 광선의 밀도가 높고 선폭이 가는 형태로 구분한다.

Fig. 9는 표면조도 변화에 따른 반사광선의 개수를 비교한 그래프다. Ra 값이 0.06( $\mu\text{m}$ )이하에서는 광선의 개수는 1개로 나타나고, Ra 값이 커짐에 따라 광선의 개수가 증가함을 알 수 있다.

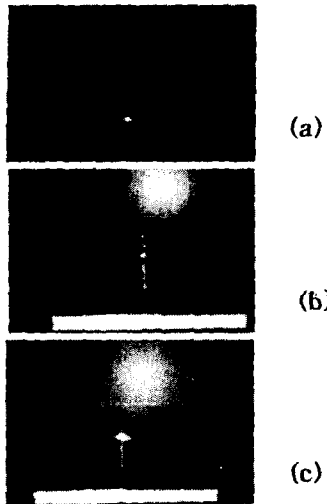


Fig. 8 Line pattern of reflected laser beam  
(a) many line, (b) muddy line, (c) bright line

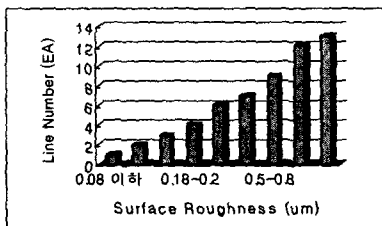


Fig. 9 Surface roughness vs Line number of a reflected laser beam

Fig. 10 사진은 반사광선의 두께를 측정하기 위한 실험장치이고 Fig. 11는 그래프를 통해 반사경 표면조도와의 관계를 나타냈다.



Fig. 10 Width of a reflected laser beam

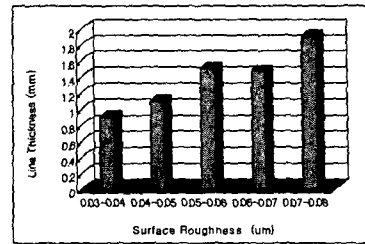


Fig. 11 Surface roughness vs Width of a reflected laser beam

기준면에 맺히는 광선의 높이( $\Delta h$ )는 평균 1.374mm임을 알게되었다. 본 실험에 이용한 레이저 광원의 지름은  $2\text{mm}(\pm 0.1)$ 이다.

#### 4. 결론

본 연구를 통해 다음과 결론을 얻을 수 있었다.

1. 초정밀가공에 있어 표면거칠기에 영향을 미치는 주요 인자는 일반가공과 다르게 공구노즈 반경임을 알 수 있다.
2. 공구노즈 반경이 일정량 이상 커지면 주절인 각이 커져 배분력의 증가와 Chattering에 의한 표면거칠기 저하를 유발함을 알 수 있다.
3. 원추경의 표면거칠기는 최소 Ra 0.08( $\mu\text{m}$ )이하의 영역에서 고 반사능을 가질 수 있다.
4. 이상적인 반사광선의 높이( $\Delta h$ )와 측정상의 오차를 알 수 있었다.

#### 참고 문헌

- (1) Jiwang YAN, Katsuo SYOJI, Hirofumi SUZUKI and Tsunemoto KURIYAGAWA, 1998, "Ductile Regime Turing of Single Crystal Silicon with a Straight-Nosed Diamond Tool", 정밀공학회지 Vol. 64, No. 9. 1998.
- (2) 현동훈·이승준, 2003, "비구면 렌즈 코어의 초정밀 연삭 특성에 관한 연구", 대한기계학회 춘계 학술대회.

(3) Jiwang YAN, Katsuo SYOJI and Tsunemoto KURIYAGAWA, 1999, "Chip Morphology of Ultra-Precision Diamond Turing of Single Crystal Silicon" 정밀공학회지 Vol. 65. No. 7. 1999.

(4) 김건희, 도철진, 홍권희, 유병주, 원종호, 박상진, 안병민, 2000, "단결정 실리콘의 초정밀가공", 대한정밀공학회, 2000, 춘계학술대회논문집.