

# 알루미늄합금의 초정밀 내면절삭

김우순\*, 강상도+, 김동현++, 난바의치\*\*

## A study on the Ultra-precision Inner Cutting of Al-alloy

Woo Soon Kim\*, Sang Do Kang+, Dong Hyun Kim++ and Yoshiharu Namba

### Abstract

Recently, High accuracy and precision are required in various industrial field. To obtain the surface roughness with range from several 10nm to several nm in inner cutting, we need a ultra-precision machine, single diamond tool, cutting condition, and the study of materials. It is very difficult to obtain the mirror surface without new technique. In this paper, Using the new tool holder as well as the ultra precision diamond cutting, we directly processed the inside of an aluminum alloy in order to obtain mirror surface. We have considered the length of tool holder when we design the tool holder. From experimental results, we believe that the new tool holder will improve inner cutting.

**Key Words :** ultra-precision turning(초정밀 선삭), mirror surface(경면), inner cutting(내면절삭)

### 1. 서론

최근 첨단기계와 반도체 제조장치, 초정밀 공작기계, 정보기기 등의 분야에서 끊임없이 고정도화, 고정밀화의 요구가 계속되고 있다. 단결정 다이아몬드 공구와 고정도 절삭가공기계를 사용한 연질금속의 초정밀 절삭가공은 1962년에 Union Carbide사와 공동으로 절삭가공기계를 개발한 것이 최초라고 알려져 있다. 그 후, 미국이나 일본에서도 이와같은 절삭가공기계가 개발되어졌고, 치수정도가 높은 경면이 쉽게 얻어지는 장점 때문에 급속하게 실용화되었다.<sup>(1)(2)</sup>

단결정 다이아몬드 공구를 이용한 초정밀 절삭가공기술은 고도정보화사회를 지탱하는 컴퓨터의 기억장치인 하드디스크에 사용되는 알루미늄 기판의 가공이나 레이저 프린터에 사용되는 폴리건 미러, 레이저 가공용의 반사미러(평면, 구면, 비구면)등에 널리 이용되고 있는 실정이다.

최근에 다이아몬드 공구를 이용한 초정밀 절삭가공은 가공 정밀도를 높이기 위한 새로운 방법과 성능이 향상된 초정밀 가공기계의 제조 기술의 발전에 따라 초정밀 산업에 필요한 광학부품이나 정밀기계부품, 전자부품등 다양한 분야에 널리 적용되고 있다.<sup>(3)</sup>

\* 김우순, 원광대 기계시스템 디자인공학부 (knamba@wonkwang.ac.kr)

+ 원광대 기계시스템 디자인공학부

++ 원광대 기계시스템 디자인공학부

++ 일본 중부대학 기계공학부

단결정 다이아몬드 공구에 의한 초정밀 절삭 가공은, 연질금속을 다이아몬드의 대단히 예리하고 정확한 인선으로 가공하기 때문에 경면이 쉽게 얻어지고, 또한, 공구의 형상이 피삭재에 전사되는 정도가 좋으므로 치수정도, 형상정도가 연삭이나 연마가공보다도 쉽게 얻어질수 있다.

그러나, 초정밀 절삭에 의한 내면 절삭시 공작물의 내면 절삭가공깊이가 깊어지면 홀더가 길어지게 되고 그에 따라 홀더의 처짐이나 절삭력의 영향으로 다이아몬드 바이트와 툴홀더에 응력변화가 발생하여 공작물에 그대로 전사되어 표면거칠기가 거칠어질 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 알루미늄합금을 피삭재로 하여 단결정 다이아몬드 공구와 초정밀 가공기계를 이용한 초정밀 내면 절삭 시 다이아몬드 툴 홀더길이의 변화에 따라 공구에 미치는 변형률의 변화가 표면거칠기에 미치는 영향을 고려하기 위하여 미리 공구해석을 행하였으며, 절삭조건에 대한 표면거칠기를 측정하였다. 또한 기존의 연구에서 알려진 바와 같이 이송에 대한 표면거칠기의 영향이 가장 크므로 이송에 대한 결과를 기존의 툴홀더와 개발 홀더로 나누어 비교하였다. 알루미늄 합금의 내면 절삭시 초정밀 가공 특성을 파악하고자 한다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1 실험 장치

#### 2.1.1. 초정밀 가공기계

Fig. 1은 본 연구에 사용된 초정밀가공기계를 보여주고 있다.

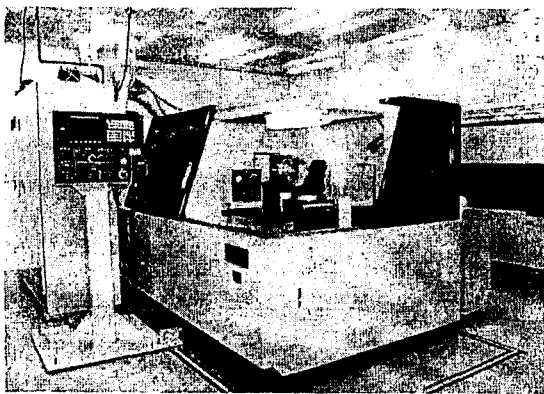


Fig. 1. Ultra-precision machine

동시 3축 제어에 의해 초정밀 광학 부품등의 평면, 구면, 비구면 형상을 가공할 수 있다. X축과 Z축은 베드 위에 직교하도록 되어 있고, Z축 슬라이드 테이블에 공작물을 회전 구동시키는 주축이 설치되어 있다. B축 회전 테이블은 X축 테이블상에 설치되어 있고 B축 선회 중심상에 장착한 공구의 선단 각도를 제어 할 수 있다. X축, Z축 슬라이드 테이블과 B축 회전 테이블의 안내 베어링은 유정압 베어링을 채용하였고, 주축에는 정압공기 베어링을 채용하였다.

사용된 초정밀 가공기계의 위치 피이드 백에는 레이저 측정 시스템을 이용하였다. 레이저 측정의 광축과 가공점을 일치시켜 아베 오차를 저감하고, 레이저를 커버함으로써 주위의 온도 변화를 받지 않도록 하였다.

초정밀 가공기계는 최대가공직경은  $\phi 140\text{mm}$ , 주축회전속도 30~2,000 rpm, X축, Z축 슬라이드 테이블의 최소 이동거리 1nm, B축 회전 테이블 최소 이동단위 0.36초이며, 온도  $23\pm 0.5^\circ\text{C}$ , 습도 40%이하, 공기청정도 클래스 100인 항온·항습의 크린룸내에 설치되었다.

#### 2.1.2 단결정 다이아몬드 공구

본 연구에 사용된 단결정 다이아몬드 공구는 절인의 선단 반경이 3mm이고 오사카다이아몬드 공업(주)에서 제작한 초정밀 다이아몬드 공구를 사용하였다. 이 공구는 레이저광선, 평면·구면·비구면 반사경, 구면·비구면 렌즈금형, 프레넬렌즈용 금형, 복사기용드럼, 컴퓨터용 자기디스크 등의 초정밀 절삭가공용이다.

Fig. 2는 단결정 다이아몬드 공구의 사양과 도면을 보여 주고 있다.

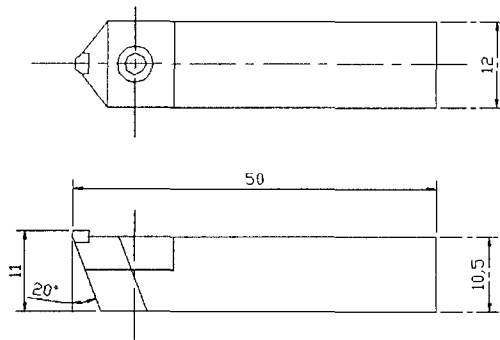


Fig. 2. Single Crystal Diamond Tool

본 실험에서는 내면을 경면 절삭하기 위해서 공작물을 가공하여 제작하였으며 이 공작물을 진공척에 압착시키기

위하여 공작물에 맞는 지그를 사용하여 고정 후 내면절삭 실험을 행하였다.

Fig.3는 전가공된 공작물을 내면가공용 지그에 장착 하였을때의 모양을 pro-engineer소프트웨어를 이용하여 3D 모델링한 것이다.

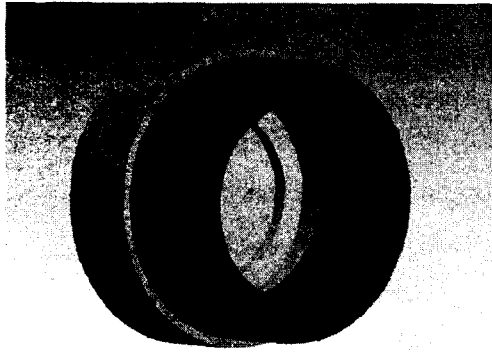


Fig. 3. Assembly of jig and workpiece

### 2.1.3 내면가공용 툴 홀더

본 연구에서 사용된 단결정 다이아몬드 공구장착용 툴 홀더의 재질은 S55C로 0.7Mn을 함유한 탄소강계의 구조용 고탄소강재이다. S55C는 피삭성이 우수하고, 무늬가공성이 우수하며 용접이 쉽고 자동차, 가전제품, 주택, 일반잡화용 형판, OA기기, 정밀부품용 BASE재로 널리 사용되고 있다.

Table 1는 S55C의 화학적 성분을 나타내고 있고, Table 2는 S55C의 기계적 성질을 나타내고 있다.

Table 1 Chemical composition of S55C

Components Material	c	Si	Mn	P	S
S55C	0.52 ~0.58	0.15 ~0.35	0.60 ~0.90	≤0.030	≤0.035

Table 2 Mechanical Properties of S55C

Hardness (HB)	yield strength (N/mm <sup>2</sup> )	Tensile Strength (N/mm <sup>2</sup> )	Elongation (%)	Reduction of area (%)
180~220	≥392	≥647	15	35

Fig. 4는 본 실험의 정면절삭가공에서 사용된 기존의 툴 홀더를 보여준다. 절삭력과 이송에 대한 툴홀더와 바이트의 변형량을 Pro-Engineer를 이용하여 해석하기 위해 모델링한 3D 모델링이다.

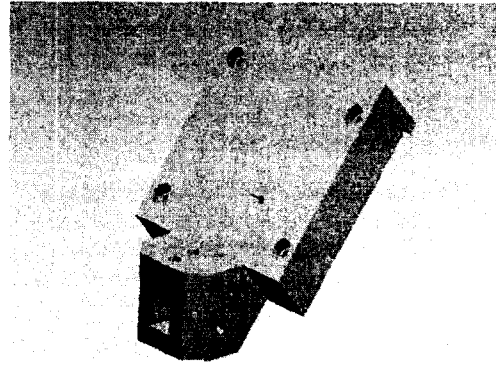


Fig. 4. Conventional tool holder

Fig. 5는 정면 절삭시에 절삭력에 대한 툴홀더의 변형에 대한 결과를 내면절삭용 툴홀더의 길이를 65mm와 137mm 두개를 제작하여 실험하고 해석하여 산출된 데이터를 비교, 분석하기 위해서 Pro-Engineer를 이용하여 해석하기 위해 모델링한 3D 모델링이다.

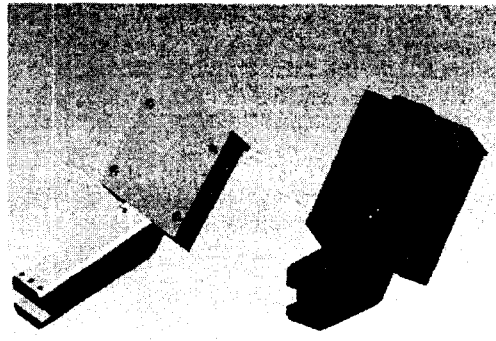


Fig. 5. Internal tool holder  
( Length 137mm and 65mm)

Fig.6는 본 실험에서 내면을 절삭가공하기 위해 새롭게 설계한 홀더와 지그에 장착된 공작물을 가공하는 공정을 보여주고 있다.

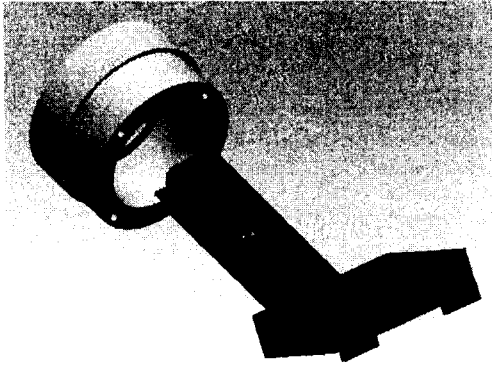


Fig. 6. Modelling of inner cutting

### 2.2 실험방법

초정밀 가공기를 이용하여 내면절삭시의 다이아몬드 툴 홀더의 길이에 따른 변형율을 일정량을 주어 절삭함으로써 절삭결과를 예측하고 한 내면가공용 알루미늄합금 공작물을 내면가공용 지그에 장착하여 내면절삭 실험하였고 Pro-Engineer에 의한 3D 모델링후 툴 홀더에 미치는 절삭력의 영향을 고찰하였다.

Table 3는 본 실험에서 사용된 실험조건이다.

Table 3 Experimental Cutting conditions

Tool	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nose radius : <math>R=3</math> (mm)</li> <li>- Rake angle : <math>\alpha=0^\circ</math></li> <li>- Relief angle : <math>\beta=5^\circ</math></li> </ul>
Workpiece	Al-alloy
Cutting condition	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cutting sped (V) : 5(m/s)</li> <li>- Depth of cut (d) : 1 (<math>\mu\text{m}</math>)</li> <li>- Feed rate(f):0.2-30(<math>\mu\text{m}/\text{rev}</math>)</li> </ul>
Lubricant	Kerosene (Mist)

## 3. 실험 결과 및 고찰

### 3.1 해석에 의한 툴홀더 길이의 영향

기존의 정면절삭용 툴 홀더의 p-Engineer에 의한 3D 모델링 후 해석툴인 Mechanica를 이용해서 주분력1N에 대

해 Z방향의 변형량을 측정하고 내면절삭용 툴 홀더를 길이 65mm와 137mm를 제작하고 이것을 Mechanica로 정면절삭용 툴 홀더와 동일하게 해석하였다.

Fig. 7과8은 Mechanica에 의한 해석결과이다.

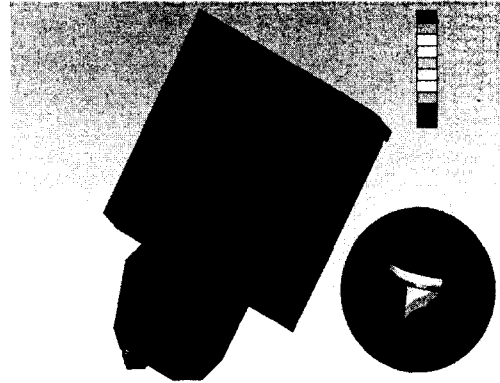


Fig. 7. Analysis result of conventional tool holder

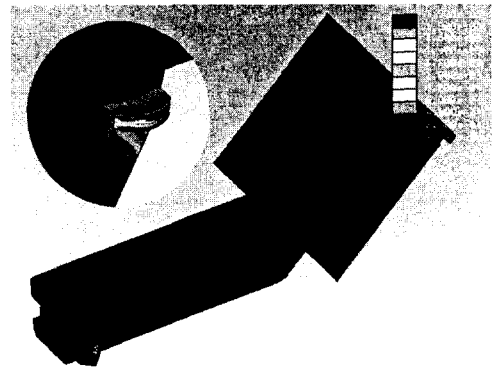


Fig. 8. Analysis result of new tool holder (length 137mm)

기존의 정면절삭용 툴 홀더에서는 절삭력1N에 대하여 의 Z축 방향으로 변형량이 1.5nm로 해석되었고 새로 설계된 내면절삭용 툴 홀더는 같은 조건에서 변형량이 3.4nm로 해석되었는데 툴 홀더의 길이가 길어질수록 미세하지만 주분력 방향에 대한 변형량이 증가함을 알 수 있었다.

### 3.2 이송과 툴 홀더의 길이에 따른 표면 거칠기

Fig. 9는 절삭속도 5m/s, 절삭깊이 1 $\mu\text{m}$ 인 조건에서 새로운 툴홀더와 일반적인 툴홀더를 이용한 초정밀 내면 절삭한 때의 표면 거칠기(Rmax)와 이송과의 관계를 나타내었다.

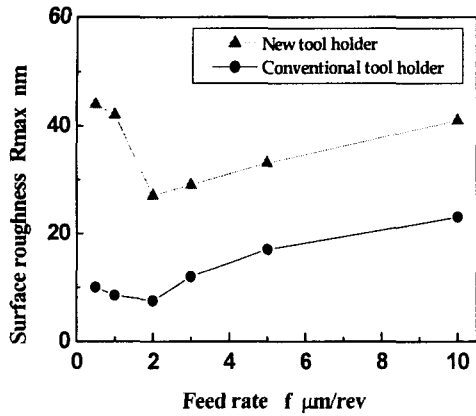
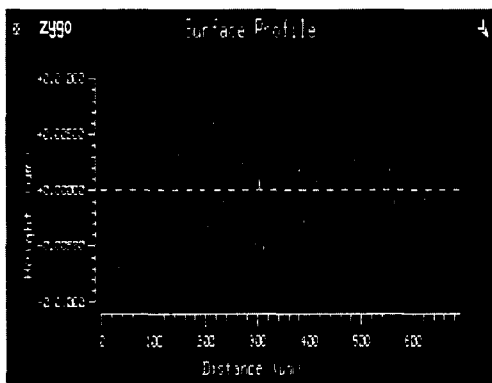


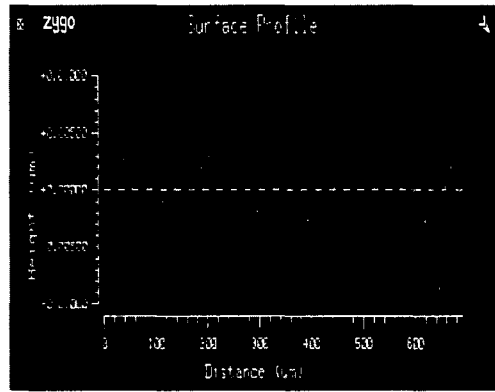
Fig. 9. Relation of Surface roughness and Feed rate by Tool holder length

두 종류의 홀더 모두 이송이  $2\mu\text{m}/\text{rev}$ 이하의 영역에서는 표면 거칠기값이 거칠어졌다. 일반적으로 이송이 작으면 절삭력이 작아져서 더 좋은 표면거칠기값을 얻을 것으로 예측되나, 진동과 같은 다른 요인이 더 큰 영향을 미친 결과로 판단된다. 이송이  $2\mu\text{m}/\text{rev}$ 이상인 경우는 이송이 증가함에 따라 표면 거칠기값도 증가하는데 이것은 절삭량의 증가와 인선에 연결된 알루미늄 합금이 용착함으로서 나타난 결과로 사료된다. 또한, 다이아몬드 공구 인선의 마멸이 성장하면서 절삭면에 영향을 미친 것으로 판단된다.

또한, 새로운 홀더의 경우가 표면거칠기가 거친 이유는 일반적인 홀더보다 더 길게 제작되었으므로 가공중에 미소한 절삭력의 변화등이 원인으로 발생하는 진동이 있기때문인 것으로 사료된다.



(A)



(B)

Fig. 10. A surface profile of machined surface

Fig.10은 절삭방향과 평행(A), 절삭방향과 수직(B)한 방향으로 표면거칠기를 측정된 결과를 나타낸다. 표면거칠기는 수평방향 수직방향에 따라 약간의 차이는 있었지만 전체적인 결과에는 크게 영향을 미치지 않는음을 알았다.

Fig. 11은 초정밀 선삭가공하여 얻은 알루미늄합금의 경면을 나타낸다.노우즈반경 3mm의 초정밀 다이아몬드 공구와 이송  $2\mu\text{m}/\text{rev}$ , 절삭깊이  $1\mu\text{m}$ ,절삭속도  $5\text{m}/\text{s}$ 로 초정밀 절삭하여 표면 거칠기  $32\text{nm}$   $R_{\text{max}}$  값을 얻었다.

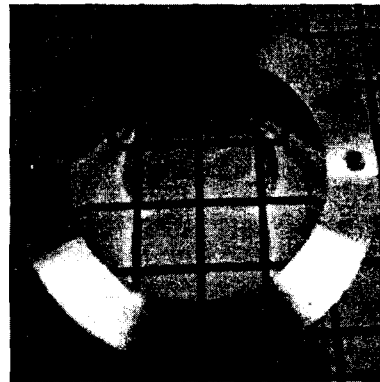


Fig. 11. photograph of machined inner surface

#### 4. 결론

고정도의 형상을 절삭가공하여 경면으로 얻기 위해서 새로운 공구홀더를 개발하여 내면 절삭을 하였으며 다음과 같

은 결과를 얻었다.

- (1) 내면 가공용 툴 홀더를 새로 제작하였고, 알루미늄합금을 내면절삭하여  $R_{max}$  32nm의 표면거칠기를 갖는 내면경을 얻었다.
- (2) 해석한 결과, 기존의 정면절삭용 툴 홀더에서는 Z축 방향으로 변형량이 1.5nm, 새로 설계된 내면절삭용 툴 홀더는 3.4nm의 값을 보였다.
- (3) 알루미늄 합금을 절삭속도 5m/s, 절삭깊이  $1\mu\text{m}$ 인 조건에서 이송에 따른 툴 홀더의 길이변화의 영향은  $2\mu\text{m}/\text{rev}$ 이하의 영역에서는 표면 거칠기값이 거칠었으며  $f=2\mu\text{m}/\text{rev}$ 에서부터 급격히 증가하는 양상을 보였다.

### 참 고 문 헌

- (1) 井川直哉, 島田尙一, 超精密切削加工と精度 限界, 日本精密工學會, 52, 12, 1986, pp.2002-2007
- (2) 平井健一, 金型の超精密切削と研磨, 日本精密工學會, 52, 12, 1986, pp. 2028-2031
- (3) Furukawa, Moriwaki, Effect of Material Properties on Ultra-Precision Cutting Processes, CIRP, Vol. 37, 1988, pp.113
- (4) 無電解ニッケルメッキ-カニゼン法, 日本カニゼン株式會社
- (5) R. R. Donaldson, S. R. Patterson, Design and Construction of a Large Vertical Axis Diamond Turning Machine, Proc. SPIE, 433, 1983, pp. 62-67
- (6) Woo Soon Kim, Wang Seck Chae, Dong Hyun Kim and Yohiharu Namba, "A Study on the ultra precision Turning of Al-alloy", Proceedings of the KSMTE spring conference, pp.416-421, 2003
- (7) Woo Soon Kim, Dong Hyun Kim, Yohiharu Namba, "A Study on the Surface Roughness in ultra precision Cutting of Electroless Nickel", Proceedings of the KSPE spring conference, pp.538-541, 2003