

Al합금의 초정밀 선삭가공

김우순*, 채왕석⁺, 김동현⁺⁺, 난바의치⁺⁺

A Study on the Ultra-Precision Turning of Al Alloy

Woo Soon Kim*, Wang seck Chae⁺, Dong Hyun Kim⁺⁺ and Yoshiharu Namba

Abstract

To obtain the surface roughness with range from 10nm to 1nm, we need a ultra-precision machine, cutting condition, and the study of materials. And we have to also consider the chip and vibration of diamond tool during processing. In this paper, the cutting conditions for getting mirror surface of aluminum alloy have been examined experimentally by using ultra-precision turning and single crystal diamond tool. In generally, the cutting conditions have effect on the surface roughness in ultra-precision turning. The result of surface roughness was measured by the ZYGO New View 200.

Key Words : ultra-precision turning(초정밀 선삭), mirror surface(경면), single crystal diamond tool (단결정다이아몬드공구)

1. 서론

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.⁽¹⁾⁽²⁾

단결정 다이아몬드 공구를 이용한 초정밀 절삭가공기술은 고도정보화사회를 지탱하는 컴퓨터의 기억장치인 하드 디스크에 사용되는 알루미늄 기판의 가공이나 레이

저 프린터에 사용되는 폴리곤 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.⁽³⁾

단결정 다이아몬드 공구에 의한 초정밀 절삭 가공은, 연질금속을 다이아몬드의 대단히 예리하고 정확한 인선으로 가공하기 때문에 경면이 쉽게 얻어지고, 또한, 공구의 형

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

+ 군장대 자동차공학과

++ 원광대 기계시스템 디자인공학부

++ 일본 중부대학 기계공학부

상이 피삭재에 전사되는 정도가 좋으므로 치수정도, 형상정도가 연삭이나 연마가공보다도 쉽게 얻어질수 있다.

그러나, 단결정 다이아몬드 공구를 이용한 초정밀 절삭가공에 사용되는 피삭재는 철이나 몰리브덴등의 금속은 적합하지 않고, 비교적 피삭성이 좋고 다이아몬드와 친화력이 작은 알루미늄합금 또는 무산소동 같은 연질금속이나 플라스틱 재료가 피삭재로 사용되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 알루미늄합금을 피삭재로 하여 단결정 다이아몬드 공구와 초정밀 가공기계를 이용한 초정밀절삭을 행한 후, 각 절삭조건에 따른 표면거칠기를 측정하여 알루미늄 합금의 초정밀 가공 특성을 파악하고 나노오더의 표면거칠기를 위한 최적의 가공조건을 제안·제시하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

2.1.1. 초정밀 가공기계

Fig. 1은 본 연구에 사용된 초정밀가공기계를 보여주고 있다.

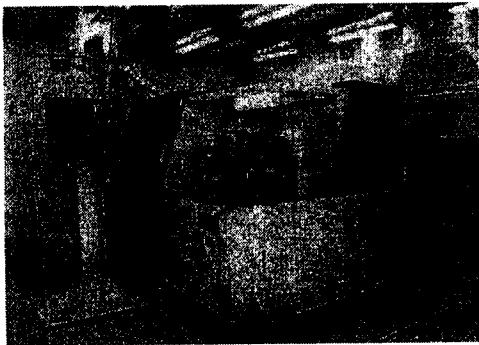


Fig. 1. Ultra-precision machine

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 $\phi 140\text{mm}$, 주축회전 속도 30-2,000 mm/min, X축, Z축 슬라이드 테이블의 최소 이동거리 1.25nm, B축 회전 테이블 최소 이동단위 0.36초이며, 온도 $23 \pm 0.5^\circ\text{C}$, 습도 40%이하, 공기청정도 클래스 100인 항온항습의 크린룸내에 설치되었다.

2.1.2 단결정 다이아몬드 공구

본 연구에 사용된 단결정 다이아몬드 공구는 절인의 선단 반경이 1mm, 3mm, 5mm, 10mm의 (주)어라이드 매트리얼과 도요타 뱌몹즈(주)에서 제작한 초정밀 다이아몬드 공구를 사용하였다.

Table 1과 Fig. 2는 단결정 다이아몬드 공구의 사양과 실제 사진을 보여주고 있다.

Table 1 Specific of Single Crystal Diamond Tool

Nose Radius(mm)	Rake angle (°)	Flank angle (°)
1	0	5
3	0	5
5	0	5
10	0	5

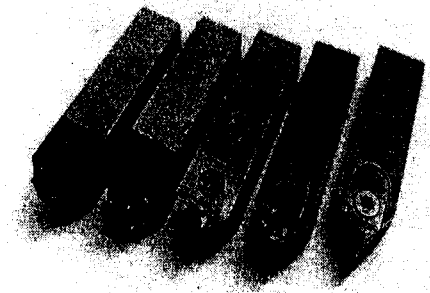


Fig. 2. Single Crystal Diamond Tool

공구의 상크부분은 절삭시의 저항에 의한 휨이나 진동을 방지하기 위하여 강성이 높은 초경합금을 사용하였다. 상크의 단면형상은 12mm × 9mm의 각주이고, 다이아몬드 공구의 선단까지의 전체길이는 50mm이다. 사용한 다이아몬드는 천연의 단결정 다이아몬드 결정이고, 공구의 절인의 선단 형상이 1~10mm까지의 곡률 반경을 갖는 원호 형상의 것을 각각 사용하였다.

2.1.3 피삭재

본 연구에서는 ϕ 54mm, 12mm두께의 알루미늄 합금을 Fig. 3와 같이 진공척으로 주축에 고정하고, Z축 슬라이드 테이블고정, X축 슬라이드 테이블 이동에 의해 정면 절삭을 행하였다.

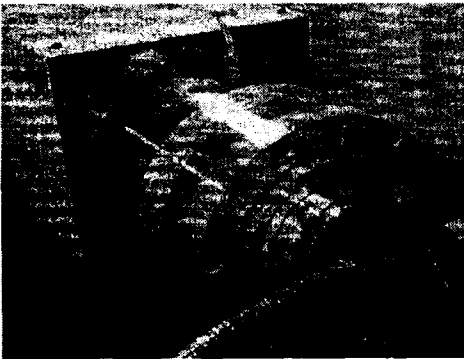


Fig. 3. Ultra-precision machining layout

2.2 실험 방법

초정밀 가공기계를 이용하여 알루미늄합금의 절삭 특성을 연구하기 위하여 정면 절삭을 행하였다.

진공척에 의한 주축의 회전중심에 알루미늄합금을 장착하고 고정하여 회전을 주면서 선삭을 행하였다. 공구대를 탑재한 X축 슬라이드 테이블에 이송을 주면서 실험하였다. 절삭유제는 등유를 이용하였고 미스트 노즐을 분무시켜 가공하였다.

초정밀 절삭한 알루미늄합금의 표면 거칠기의 측정에는 3차원 표면구조해석현미경(ZYGO New View 200)을 이용하여 측정하였으며, Fig. 4에는 나타내었다.

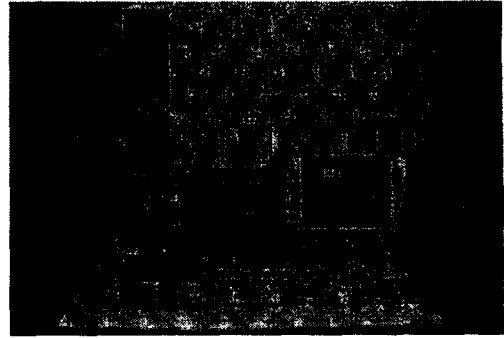


Fig. 4. Measurement Apparatus(New View 200)

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 노우즈 반경에 따른 표면 거칠기

초정밀 다이아몬드 공구로 절삭한 면의 표면 거칠기 R_{max} 는, 기하학적으로는 $R_{max}=r^2/8R$ 으로 표현되어, 표면 거칠기는 공구의 노우즈 반경 및 이송에 의존한다는 것을 알았다.

이런 사실에서, 인선 형상이 원호 형상인 초정밀 다이아몬드 공구를 이용하여 초정밀 다이아몬드 절삭하는 경우, 그 공구의 노우즈 반경이 크면 클수록 표면 거칠기가 작게 되고, 이송이 작을수록 표면 거칠기가 작게 된다고 말할 수 있다.

따라서, 이송이 작은 영역에서는 표면 거칠기가 이론적으로 작게 되기 때문에 공작물의 표면 거칠기에 크게 영향을 미칠 것으로 예상된다.

그래서, 본 연구에서는 이론식에 의해 계산을 행한 후, 초정밀 절삭 실험을 통하여 이론치와 실제 가공치의 일치 여부를 판단하고자 하였다.

단결정 다이아몬드 공구는 등근형으로 노우즈 반경을 1mm, 3mm, 5mm, 10mm로 변화시켜 가면서 직경 54mm, 두께 12mm의 알루미늄 합금을 초정밀 절삭하였다.

알루미늄합금의 표면 거칠기를 측정할 때는, 인선 반경의 변화에 따라 표면 거칠기에 미치는 영향에 대하여 중점 조사하였다.

Fig. 5는 알루미늄 합금을 초정밀 절삭한 때의 표면 거칠기(R_{max})와 이송과의 관계를 나타내었다.

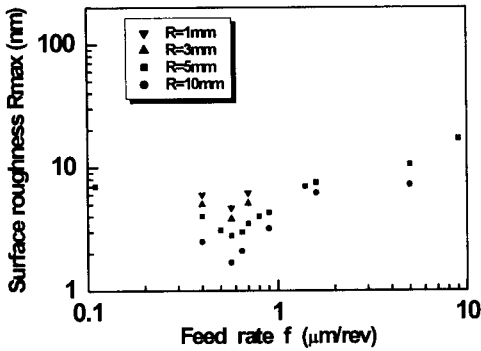


Fig. 5. Relation of Rmax and Feed rate

Fig. 6는 알루미늄 합금을 초정밀 절삭한 때의 표면 거칠기(rms)와 이송과의 관계를 나타내고 있다.

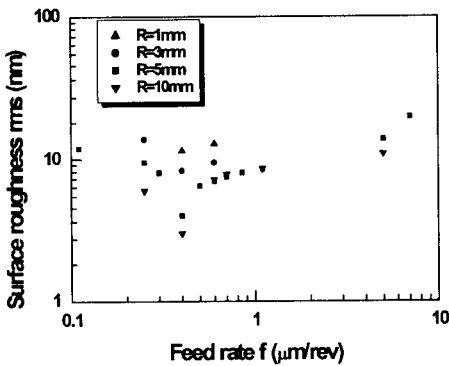


Fig. 6. Relation of rms and Feed rate

이송이 0.5μm/rev이하의 영역에서는 표면 거칠기가 증가함을 보였다. 노우즈 반경 5mm의 공구에서, 이송을 0.5μm/rev로 할 때의 표면형상을 노마르스키식 미분간섭 현미경으로 관찰한 것이 Fig. 7이고, 불규칙한 요철의 조흔이 나타났다.

또한, 이송을 0.5μm/rev로 절삭한 때의 초정밀 다이아몬드 공구의 노우즈 반경과 표면 거칠기 Rmax의 관계를 Fig. 8에 나타내었다

따라서, 표면 거칠기는 공구의 노우즈 반경 및 이송에 의존함을 실험적으로 검증하였다.

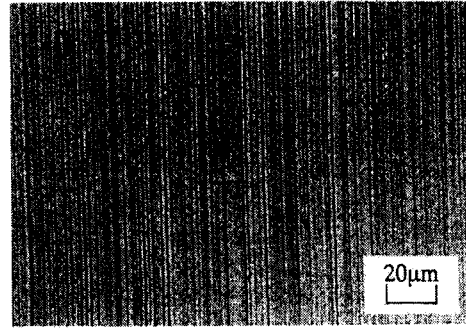


Fig. 7. Surface shape

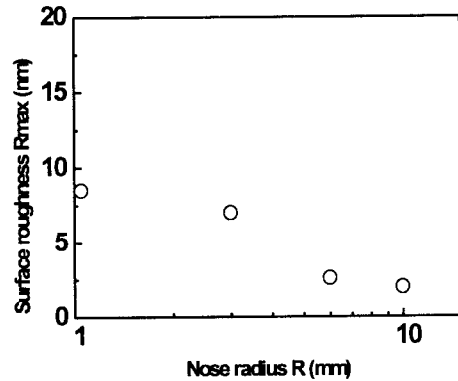


Fig. 8. Relation of Rmax and Nose radius

3.2 절삭깊이에 따른 표면 거칠기

원호날 형상의 공구에 의한 절삭은, 인선의 형상이 그대로 공작물에 전사된다고 할 경우, 공구 절삭깊이가 변화하더라도 가공물에 전사되는 형상은 변화하지 않을 것으로 보는 견해도 있지만, 절삭깊이의 증가와 함께 공구와 공작물의 접촉면적이 증가하고, 그것에 따라 절삭 저항도 증가하게 되리라 판단된다. 이로써 절삭깊이가 변화하면 표면 거칠기가 변화한다는 것은 예측할 수 있다.

앞에서 얻은 데이터로부터 노우즈 반경 10mm의 공구를 이용하고, 절삭속도 2m/s, 이송 0.5μm/rev의 조건에서 절삭깊이를 0.1μm부터 8μm까지 변화시키면서 알루미늄합금을 절삭하였다.

초정밀 절삭한 알루미늄합금의 표면 거칠기를 측정하고, 표면 거칠기에 영향을 미치는 절삭깊이의 영향을 Fig. 9에 나타내었다.

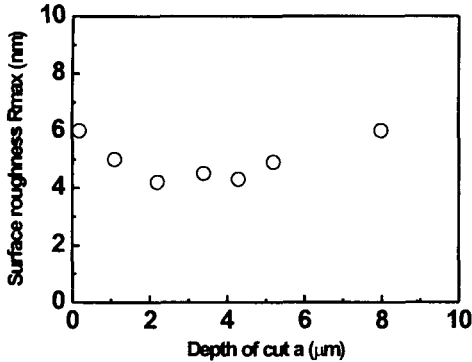


Fig. 9. Relation of Rmax and Depth of cut

표면 거칠기는 절삭깊이가 감소함에 따라 작아지는 경향을 보이다가 절삭깊이 2um에서부터 증가하는 양상을 보였다. 절삭깊이에 따라 표면 거칠기가 크게 되는 것은 절삭 깊이가 크게 되면 필수록 공구와 공작물의 접촉면적이 증가하고, 더불어 절삭 저항도 크게 되어 초정밀 다이아몬드 공구의 여유면에 공구마모가 발생하기 때문인 것으로 사료된다.

또한, 절입 1um이하에서는, 공구에 작용하는 힘이 크게 되어 공작물과 공구간의 상대진동이 발생하고, 그 진동이 공작물에 채터링으로 전사됨에 따라 표면 거칠기가 증가하는 것으로 사료된다.

3.3 절삭속도에 따른 표면 거칠기

원호날 형상의 공구에 의한 절삭은, 인선의 형상이 그대로 공작물에 전사된다고 할 경우, 공구 절삭속도가 변화하더라도 가공물에 전사되는 형상은 변화하지 않을 것으로 보는 견해도 있다. 하지만, 절삭속도의 증가에 따라 절삭 저항이 증가하는 것은 예측할 수 있다.

앞에서 얻은 데이터로부터 노이즈 반경 10mm의 공구를 이용하고, 이송0.5um/rev, 절삭깊이를 1um의 조건에서 절삭속도 0.8m/s로부터 3.6m/s까지 변화시키면서 알루미늄합금을 초정밀 절삭하였다.

Fig.10은 표면 거칠기와 절삭속도의 관계를 나타내었다.

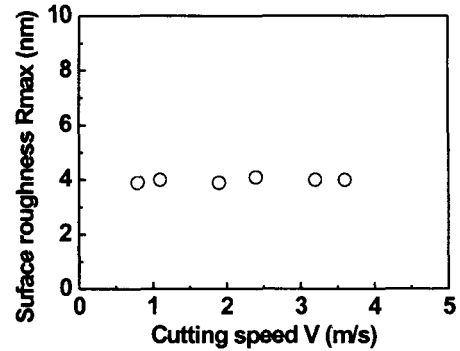


Fig. 10. Relation of Rmax and Cutting speed

실험범위에서는 표면거칠기가 절삭속도에 의존하지 않고, 일정한 값을 보였다.

4. 결론

직경 54mm, 두께 12mm의 알루미늄합금을 초정밀 절삭한 결과, 이하의 결과를 얻었다.

(1) 공구의 이송이 10um/rev이상의 영역에서는 기하학적으로 구해진 표면 거칠기와 거의 같은 값을 얻었지만, 이송이 10um/rev이하의 영역에서는 기하학적으로 구한 표면 거칠기와 일치하지 않았다.

(2) 초정밀 절삭에 의한 절삭면의 표면 거칠기는 절삭속도에 의존하지 않고, 공구의 노우즈 반경, 이송, 절삭깊이에 의존하며, 표면 거칠기가 가장 작게 되는 최적의 이송은 $f=0.5um/rev$ 이다.

(3) 노우즈반경 10mm의 초정밀 다이아몬드 공구를 이용하여, 이송 0.5um/rev, 절삭깊이 1um로 초정밀 절삭한 결과, 표면 거칠기 0.344nm RMS 2.09nm Rmax를 얻었다.

참고 문헌

- (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, 日本カニゼン株式会社

(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