

무전해 니켈의 초정밀 절삭에 의한 표면거칠기 연구

김우순*(원광대 기계시스템디자인 공학부), 김동현(원광대) 난바의치(일본중부대)

A Study on the Surface Roughness in Ultra-Precision Cutting of Electroless Nickel

W. S. Kim(Mechanical System Design Eng. Division., WKU), D. H. Kim(Mechanical System Design Eng. Division., WKU), Y. Namba(Mech. Eng. Dept., CBU in Japan)

ABSTRACT

Ultra-precision machining was carried out on a electroless nickel materials using single crystal diamond tools. The effects of the cutting velocity, the tool length, the tool nose radius, the feed rate and depth of cut on the surface roughness were studied.

In this paper, the cutting condition for getting nano order smooth surface of electroless nickel have been examined experimentally by the ultra-precision machine and single crystal diamond tools. And also, the surface roughness was measured by the three dimension

Key Words : Ultra-precision cutting(초정밀 절삭), Electroless nickel(무전해 니켈), Surface roughness(표면거칠기), Single crystal diamond tool(단결정 다이아몬드 공구)

1. 서론

단결정 다이아몬드 공구를 이용한 초정밀 절삭은 공구 형상의 전사 정도가 좋으므로 치수정도, 형상 정도가 우수하고 연질재료에 대해서는 고능률, 고정도로 가공면을 가공할 수 있는 잇점이 있다. 또한, 단결정 다이아몬드 공구의 대단히 예리하고 정확한 인선으로 가공하기 때문에 경면을 다른 가공방법에 비해 쉽게 얻을수 있다.

그러나, 단결정 다이아몬드의 재질 특성상 제약이 존재하여 철이나 몰리브덴등의 금속은 적합하지 않고, 비교적 피삭성이 좋고 다이아몬드와 친화력이 작은 알루미늄, 무산소동, 플라스틱등의 연질 재료에 많이 이용되고 있는게 현 실정이며, 경질재료의 가공에는 그리 사용되지 못하였다.

한편, 초정밀 절삭면의 표면거칠기는 주축 1회전당의 이송에 의존하고 이송이 작은 영역에서는 나결정체인 알루미늄합금 또는 무산소동은 결정입계단차, 결정입내의 미끄럼변형에 의한 단차가 절삭면에 그대로 나타나게 되므로 서브나노 오더의 표면거칠기를 얻는 것은 대단히 어렵다.¹⁾

따라서, 본 연구에서는 현재 광학부품용 재료로 많이 이용되고 있으며 경질재료인 무전해 니켈을 초

정밀 절삭가공 실험하였다. 결정입계단차의 발생이 없는 비정질 재료인 무전해 니켈을 피삭재로 하여 단결정 다이아몬드공구와 초정밀 가공기계를 이용하여 평면절삭을 행한 후, 각 절삭조건에 따른 표면거칠기를 측정하여 무전해 니켈의 절삭 특성을 파악하여 최적의 가공조건을 제안하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

실험에 사용된 초정밀 가공기는 동시 3축 제어에 의해 초정밀 광학부품등의 경면을 가공할 수 있다. X축과 Z축은 베드위에 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 제어할 수 있다. X축, Z축 슬라이드 테이블과 B축 회전 테이블의 안내 베어링에는 유정압 베어링을 채용하였고, 주축에는 정압공기 베어링을 채용하였다.

사용된 초정밀 가공기의 위치 피이드백에는 레이저 측정시스템을 이용하였다. 레이저 측정의 광축과 가공점을 일치시켜 아베오자를 거감하고, 레이저를

커버함으로써 주위의 온도변화를 받지 않도록 하였다. 초정밀 가공기는 최대가공직경 $\phi 140\text{mm}$, 주축회전속도 30-2,000 rpm, X축, Z축 슬라이드 최소이동단위 0.36 sec/pulse이며, 온도 $23\pm 0.5^\circ\text{C}$, 습도 40%이하, 공기청정도 클래스 100인 항온항습의 크린룸에서 설치되었다. Fig.1 은 본 연구에 사용된 초정밀 가공기를 나타낸다.

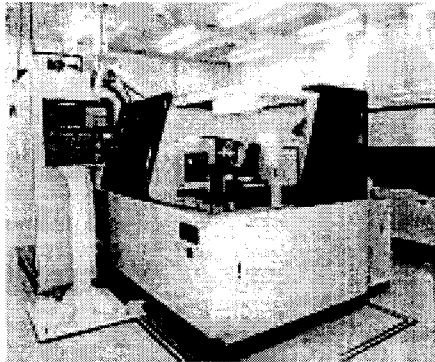


Fig. 1. Ultra-precision machine
(Made in TOYOTA)

무전해 니켈(Electroless Nickel)은 니켈에 인을 함유시킨 것으로 경도가 Hv=550으로 대단히 경한 재료이지만, 단결정 다이아몬드공구로 절삭이 가능하다. 무전해 니켈은 니켈에 포함된 인에 의해 그 성질이 변화한다. Fig. 2에 니켈합금의 평형상태도를 나타내었다.

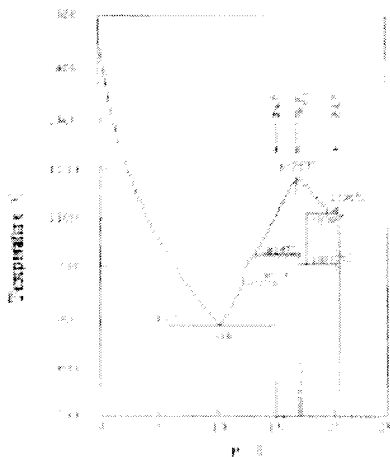


Fig. 2. Equilibrium diagram of Ni-P

무전해 니켈은 저용점의 공정체가 니켈고용체와 Ni₃P와의 2상 혼합물로서, 인 11%, 공정온도 880도 정도임을 알 수 있다. 인 10%까지의 영역은 니켈의 면심입방구조에 인이 고용하고 있는 다결정상태이지

만, 10%에 도달하면, 결정상태는 유지하지 않고 비정질 상태 또는 그것에 가까운 상태로 변화하게 된다. 여기에서, 인 함유량과 절삭특성을 검토한 보고서에 의하면 인 함유량이 12%를 넘고, 200 $^\circ\text{C}$ 의 어닐링을 행한 것이 단결정 다이아몬드 절삭에 가장 적합한 것으로 보고되었다.¹⁾

따라서, 본 연구에서는 $\phi 54\times 12\text{mm}$ 두께의 알루미늄합금에 무전해 니켈을 120um 두께로 인 함유량을 10-13%로 도금한 것을 피삭재로 하여 초정밀 절삭 실험을 행하였다.

본 연구에 사용된 단결정 다이아몬드 공구는 (주)어라이드매터리얼제 절인의 선단반경이 1mm, 3mm, 5mm, 10mm인 것을 사용하였으며, Table 1 은 단결정 다이아몬드 공구의 사양을 보여주고 있다.

Table 1 Specific of Single Crystal Diamond Tool

Nose Radius (mm)	Rake angle($^\circ$)	Flank angle($^\circ$)
1	0	5
3	0	5
5	0	5
10	0	5

공구의 상크부분은 절삭시의 저항에 의한 휨이나 진동을 방지하기 위하여 강성이 높은 초경합금을 사용하였다. 상크의 단면형상은 12mm \times 9mm의 각주이고, 다이아몬드 공구의 선단까지의 전체길이는 50mm이다.

2.2 실험방법

초정밀 가공기를 이용하여 무전해 니켈의 절삭 특성을 연구하기 위하여 진공척에 의한 주축의 회전 중심에 무전해 니켈 시료를 장착하고 고정하여 회전을 주면서 평면절삭을 행하였다.

공구대를 탑재한 X축 슬라이드 테이블에 이송을 주면서 실험하였고, 절삭유제는 등유를 이용하였으며, 미스트 노즐로 분무시켜 가면서 절삭 실험하였다. 초정밀 절삭한 무전해 니켈의 가공면의 표면 거칠기 측정은 비접촉 정밀표면형상측정장치 대물렌즈 40배, 3차원표면구조해석현미경을 사용하였다. 또한, 무전해 니켈의 가공면의 표면성상관찰은 노마르스키 미분간섭현미경을 이용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 인선반경에 따른 표면 거칠기

인선형상이 원호형상인 단결정 다이아몬드 공구를 이용하여 초정밀 절삭한 경우, 공구의 인선 반경이 크면 클수록 표면거칠기가 작게 되고, 이송이 작을수록 표면거칠기가 작게 된다고 말할 수 있다. 따라서, 이송이 작은 영역에서는 표면거칠기가 이론적으로 작게 되기 때문에 공작물의 표면거칠기에 크게

영향을 미칠 것으로 예측된다.

그래서, 단결정 다이아몬드 공구는 등근형으로 인선 반경을 1mm, 3mm, 5mm, 10mm로 변화시켜 가면서 직경 54mm, 두께 12mm의 알루미늄합금에 무전해 니켈을 120 μ m 두께로 도금한 공작물을 초정밀 절삭하여 이송속도와 공구의 인선반경이 표면거칠기에 미치는 영향을 조사하였다.

Fig. 3과 Fig. 4는 무전해 니켈을 초정밀 절삭한 후, 표면거칠기(RMS)와 인선반경 및 이송속도와의 관계를 나타내었다.

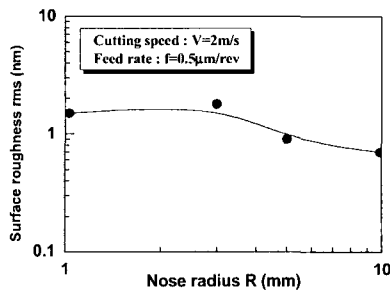


Fig. 3. Relationship between rms and Nose radius

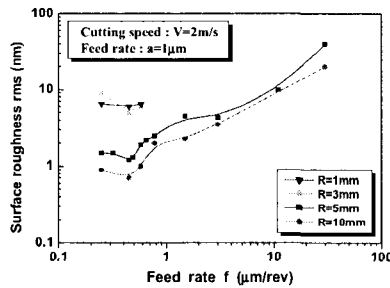


Fig. 4. Relationship between rms and Feed rate

초정밀 절삭한 무전해 니켈의 표면거칠기는 공구의 인선 반경에 의존하고, 인선 반경 10mm인 공구로 절삭할 때가 가장 좋은 표면거칠기 값을 보였다. 가공 표면의 형상은 공작물의 회전과 공구의 이송으로 인한 미세한 나선상의 표면을 형성시켜, 이송방향을 따라 공구의 형상이 이송률만큼 간격을 두고 반복적으로 이루어짐을 알았다.

3.2 공구의 고정길이에 따른 표면거칠기

초정밀 절삭은, 공구대에 초정밀 다이아몬드 공구를 고정하여 가공하는데, 무전해 니켈은 경도가 높기 때문에 절삭 저항이 크고, 공구와 공작물간의 상대진동이 발생하기 쉽다. 그 상대진동이 공구의

고정점으로부터 공작물과 접촉하는 공구선단까지의 거리가 변화함에 따라 가공표면에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

인선반경 10mm의 공구를 이용하여, 절삭 속도 2m/s, 이송 0.5 μ m/rev의 조건으로 공구의 고정점 위치로부터 절삭점까지의 거리(L)를 10mm에서 30mm로 변화시켜, 공구의 장착이 표면거칠기에 미치는 영향을 고찰하였다.

Fig. 5는 고정점 위치로부터 절삭점까지의 거리를 정의하였고, Fig. 6은 초정밀 절삭한 무전해 니켈면의 표면거칠기와 거리(L)과의 관계를 나타내었다.

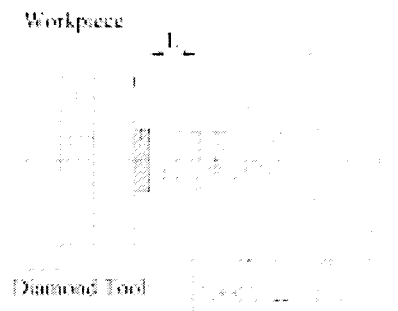


Fig. 5. Distance between the fulcrum and the cutting point

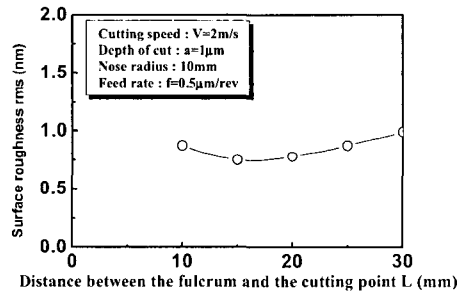


Fig. 6. Relationship between rms and L

공구의 고정 위치로부터 절삭점까지의 거리가 15mm에서 20mm사이에서 표면거칠기가 가장 양호함을 알았다.

3.3 절삭깊이에 따른 표면거칠기

광학용 경면을 가공하기 위해 보통 선연 다이아몬드를 공구로 사용하여 수 마이크로미터에서 수십 나노미터에 이르는 절삭깊이로 가공한다.

절삭가공에 있어서 이론적 표면거칠기 값³⁾은 절삭깊이에 영향을 받지 않는다. 하지만, 실제 미소절

삭에서는 다른 견해가 있다. 원호날 형상의 공구에 의한 절삭은, 인선의 형상이 그대로 공작물에 전사되고 공구 절삭깊이가 변화함에 따라 공구와 공작물의 접촉면적이 증가하고, 그것에 따라 절삭저항도 증가하여 무전해 니켈의 가공면의 표면거칠기가 변화할 것으로 예상된다.

인선반경 10mm의 공구를 이용하여, 절삭속도 2m/s, 이송 0.5um/rev의 조건에서 절삭깊이를 0.1um에서 10um까지 변화시키면서 절삭 실험하였다.

Fig. 7은 무전해 니켈의 표면 거칠기에 미치는 절삭깊이의 영향을 나타내었다.

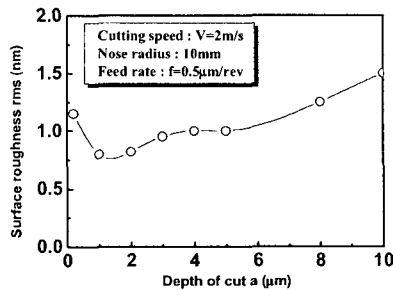


Fig. 7. Relationship between rms and depth of cut

3.4 절삭속도에 따른 표면거칠기

정밀하게 통제되는 환경에서 가공이 이루어지는 상황에서도 절삭속도의 증가에 따라 절삭저항이 증가하게 되어 가공 표면에 영향을 줄 것으로 예측된다. 하지만, 인선의 형상이 그대로 공작물에 전사된다고 할 때, 원호날 형상의 공구에 의한 절삭에 있어서는 절삭속도가 변화하더라도 가공물에 전사되는 형상은 변화하지 않을 것으로 보는 견해도 있다.

Fig. 8은 무전해 니켈의 표면거칠기와 절삭속도의 관계를 나타낸다.

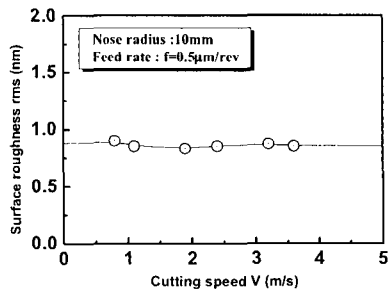


Fig. 8. Relationship between rms and cutting speed

인선반경을 10mm의 공구를 이용하여 이송

0.5um/rev, 절삭깊이 1um의 조건에서 절삭속도 0.8m/s로부터 3.6m/s까지 변화시켜 가면서 무전해 니켈을 절삭하였다. 실험한 결과, 절삭속도가 빨라지더라도 표면거칠기 값은 큰 차이를 보이지 않음을 실험적으로 확인하였다.

Fig. 9은 무전해 니켈을 평면절삭을 행한 후, 가공된 표면을 나타낸 것이다.

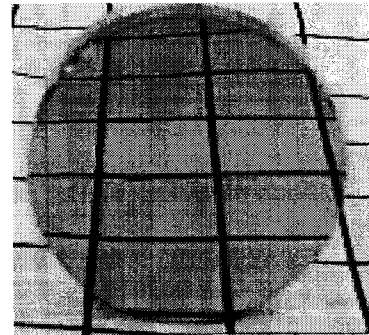


Fig. 9. Photograph of machined surface

4. 결론

직경 54mm, 두께 12mm의 알루미늄합금에 무전해니켈을 두께 120um로 도금한 시료를 단결정 다이아몬드 공구를 이용하여 초정밀 절삭할 때, 절삭조건인 인선반경, 공구의 고정길이, 절삭깊이, 절삭속도의 변화에 따른 표면거칠기에 대한 고찰한 결과, 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1)인선반경이 10mm인 단결정 다이아몬드 공구에서 가장 양호한 표면거칠기를 얻었다.

(2)이송속도는 작게 할수록 양호한 표면거칠기를 얻을 수 있으며, 이송이 0.5um/rev에서 양호한 표면거칠기를 얻을 수 있었다.

(3)초정밀 절삭면의 표면거칠기는 실험한 범위내의 절삭속도에서 거의 변화를 보이지 않았고, 공구의 인선반경, 이송, 절삭깊이에 의존함을 알았다.

(4)공구의 고정길이(L)는 절삭점에 너무 가깝거나 멀어질수록 표면거칠기가 나빠지는 경향을 보였으며, 적정 고정길이(L)는 15mm와 20mm사이이다.

참고문헌

1. 日本カニゼン株式会社, 無電解ニッケルメッキ-カニゼン法
2. 日本機械學會, 超精密加工技術, pp.48-50,
3. E. Brinksmeier, O. Riemer, "Tools and Setting for Improved Surface Finish in Diamond Turning", proc. of Int. Precision Engineering, pp.125-133, 1993.