

근접초소형 광시야각 광학계 초정밀 가공 기술 개발

Ultra Precision Machining Technology Development of Wide Field of View Optics of A Proximate Subminiature

*김명상¹, 양순철¹, #김건희¹, 김효식¹, 김민자¹, 원종호²
 *M. S. Kim¹, S. C. Yang¹, #G. H. Kim(kgh@kbsi.re.kr)¹, H. S. Kim¹, M. J. Kim¹, J. H. Won²
¹ 한국기초과학지원연구원, ²충남대학교 기계공학과

Key words : SPDTM, Wide field of view, Capsule endoscopy

1. 서론

오늘날 고도의 경제 성장과 산업 기술의 발달로 인하여 새로운 첨단 제품 발전을 주도하고 있는 반도체 및 정보통신 등 새로운 기술 분야에서 초정밀 가공 분야에 대한 기술 의존도가 높아지고 있고, 적용 분야 또한 널리 확대되고 있다.¹⁾

특히 현재에는 캠코더의 비구면 렌즈, CDP 디택트 렌즈, 프로섹션 TV 렌즈, 액정 P/J TV 프레즈넬(fresnel)렌즈 등의 소형 전자부품의 금형 가공 및 생산에 직접 이용되고 있다. 그러나 상대적으로 짧은 연구 역사로 인하여 세계적인 연구결과에 비하여 국내에서의 초정밀 절삭가공의 연구는 초기단계라 할 수 있다. 따라서 초정밀 가공기술의 발전을 위해서는 측정기술의 개발과 동시에 가공에의 적용을 통한 초정밀 기술의 개발이 필요한 연구 과제이다.^{2),3)}

21세기의 우리나라의 국가 경쟁력을 볼 때 근접초소형 광시야각 광학계의 초정밀 가공 기술은 현재 선진국에서는 그 중요성과 부가가치가 매우 높은 전력산업으로 부상하고 있지만, 우리나라 경우는 근접초소형 비구면 광학계의 초정밀 가공기술의 고부가가치는 상상을 초월하고 있다.

따라서 본 연구에서는 근접초소형 광시야각 광학계 부품의 국산화 일환으로 무전해 Ni 도금 비구면 금형코어의 초정밀가공 정밀도 향상을 목적으로 다음과 같은 연구를 수행하였다. 형상 정밀도 P-V 0.2 μ m 이상, 표면거칠기 Ra 10 nm을 요구하는 금형코어의 가공에 있어서 주축 회전수, 절삭 깊이, 이송속도에 대한 초정밀가공 최적 절삭조건을 찾기 위하여 실험계획법(Design of experiment, DOE)⁴⁾을 적용하였으며, 초정밀 가공기술을 바탕으로 근접초소형 광시야각 광학계의 국산화로 인한 수입 대체 효과 및 국제적 경쟁력 확보가 기대된다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 초정밀 가공기는 RTH사의 Nanoform 600 다이아몬드 터닝머신(DTM)이다. 안내면의 위치결정 정도는 0.25 μ m/300 mm, 분해능은 1.25 nm의 성능을 가지고 있으며, 선삭의 경우 최대 \varnothing 600 mm(125 kg), 연삭의 경우 \varnothing 300 mm까지 가공이 가능하다.

초정밀 가공실은 온도 20 \pm 1 $^{\circ}$ C, 습도 30 \pm 5%, Clean Room class 10,000인 항온항습의 크린룸이며, 장비의 진동방지를 위한 독립지반구조로써 장비 하부는 3 Point Air Bag으로 지지된다.

표면 거칠기 측정장비는 비접촉식 표면형상 측정기 WYKO 사의 NT 2000을 사용하였으며 측정기의 측정범위는 최대 100 mm \times 100 mm 이며, 측정범위로는 0.1 nm~150 μ m이며, 분해능은 0.1 nm이고 Auto Focusing 타입이다. 비구면 형상 측정은 접촉식 측정기인 Form Talysurf Series2를 이용하였다.

2.2 실험방법

무전해 Ni 도금 비구면 금형코어의 초정밀 최적가공 조건을 찾기 위하여 절삭속도, 절삭 깊이와 이송속도에 대한 표면 거칠기를 측정하여 최적 초정밀 가공조건을 찾았으며 가공조건은 Table 1과 같다. 실험은 Fig.1과 같이 단결정 Diamond 공구로 \varnothing 40 mm, 두께 10 mm 의 Al 6061-T651 시편을 제작 후 가공 부분에 무전해 Ni 도금을 한 후 단면절삭방법으로 실험을 실시하였고, 가공 후 절삭 조건에 따른 표면 거칠기는 NT2000으로 중심선 평균 거칠기 (Ra)를 측정하였다. 그리고 각각의 인자들을 4수준으로 하여 변화에 따른 표면거칠기를 통계적인 기법을 사용하여 정량적으로 분석하여 최적절삭 조건을 이용하여 무전해 Ni 도금 비구면 금형코어를 제작하였으며, 직경 \varnothing 1.03mm, \varnothing 1.98mm의 비구면 형상을 측정하기 위하여 Form Talysurf Series2를 사용하였다.

Table 1 Experimental Condition

Material	Ni
Cutting speed(m/min)	120, 140, 175, 195
Feed rate(mm/min)	2, 4, 6, 8
Depth of cut(μ m)	2, 4, 6, 8
Vacuum pressure	-20kgf/cm ²
Nose radius (mm)	0.5
Cutting fluid	Air + EDM oil



Fig. 1 Workpiece of cutting sample (Ni)

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 단결정 다이아몬드 바이트를 사용하여 무전해 Ni 도금을 이송속도, 절삭깊이, 절삭속도 변화에 따른 표면 거칠기 측정값에 대한 주효과의 크기를 비교하기 위하여 분산분석을 실시하여 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 중심부의 수평선은 총 평균을 나타내며, 각 점들은 각 수준에서의 평균값을 뜻한다.

절삭 실험결과 실험계획법을 사용하여 주축 회전수, 이송속도, 절삭깊이의 주요 인자에 대한 주효과를 나타낸다. 표면 거칠기에 영향을 미치는 인자는 이송속도가 가장 큰 영향을 미치고 있는 것을 그래프로 판단 할 수 있다. Fig. 3은 실험결과 주축의 회전수는 195 m/min, 공구 이송속도는 2 mm/min, 절삭깊이는 2 μ m 일 때 양호한 표면거칠기 Ra 0.77nm를 얻을 수 있었다.

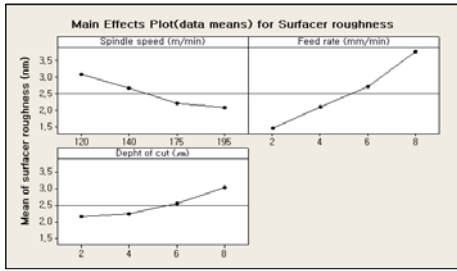
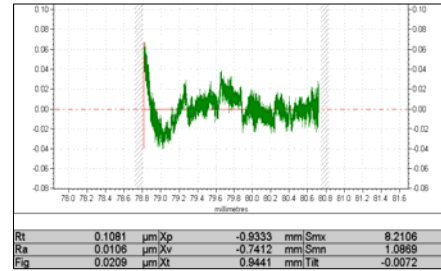


Fig. 2 Main effects plot for surface roughness



b) Measure surface of Lens 2

Fig. 5 Measure of aspheric lens core by form talysurf series2

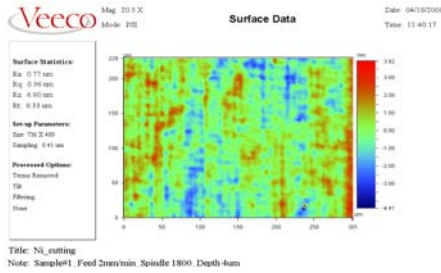


Fig. 3 Surface measurement of Ni sample by NT 2000

4. 무전해 Ni 도금 비구면 금형코어 초정밀가공

초정밀 금형을 제작하기 위하여 사용된 코어재질은 단조된 Statvax 재질을 사용하였다. 모재 내에 함유되어 있는 불순물을 제거하기 위하여 선반에서 모재 표피로부터 3 mm 두께를 제거하고, 표면 위에 NC선반을 이용하여 정밀형상 가공을 한 후 무전해 Ni 도금량은 약 100 μm 로 하였으며, 도금 후 진공열처리를 하여 경도 값 HR_C 48~68 을 얻을 수 있었다.

사용공구로는 도금 전 가공에는 CBN Bite를 사용하여 제품에서 요구되는 최적의 곡률반경 값으로 가공하였으며, Fig. 4는 Ni 도금 후에는 천연다이아몬드 Bite를 사용하여 실험을 통해 얻어진 최적 절삭조건을 통하여 무전해 Ni 도금 비구면 금형코어를 제작하였다. Fig. 5은 가공 완료 후 비구면 형상이므로 Form Talysurf Series2를 이용하여 측정 결과로 (a) Lens1에서는 비구면 Rt 값 0.0513 μm, (b) Lens2에서는 비구면 Rt 값 0.1081 μm를 얻을 수 있었다. Fig. 6은 시제품으로 나온 캡슐내시경 사진이다.

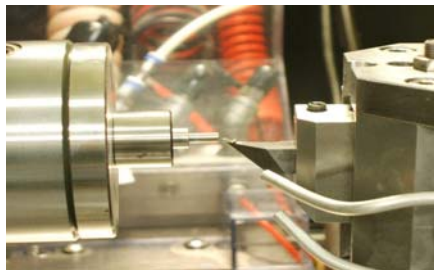
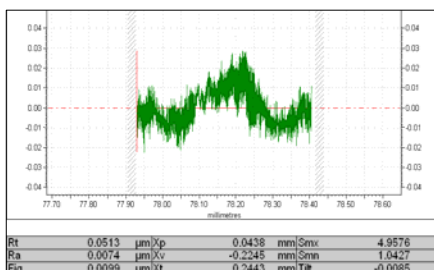


Fig. 4 Machining lens core by SPDTM



a) Measure surface of Lens 1

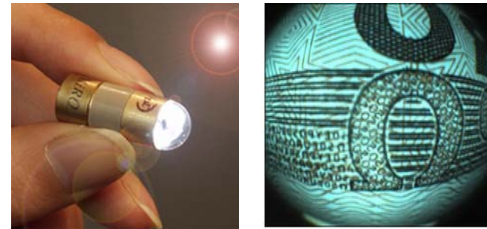


Fig. 6 Photograph of the Capsule endoscopy image

5. 결론

무전해 Ni 도금 비구면 금형코어에 사용되는 무전해 Ni 도금의 초정밀가공 특성을 파악하기 위하여 Nanoform 600 다이아몬드 터닝머신에서 천연다이아몬드 공구를 사용하였으며 절삭속도, 이송속도, 및 절삭깊이의 초정밀 절삭 조건에 따른 표면 거칠기에 따른 표면 형상정밀도를 측정하였다. 이러한 무전해 Ni 도금의 초정밀 가공특성을 바탕으로 근접초소형 광시약각 광학계에 사용되는 비구면 렌즈의 금형코어를 초정밀 가공하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 무전해 Ni 도금의 절삭 특성에서 표면 거칠기값에 영향을 미치는 주효과는 이송속도에 의한 영향이 가장 크며, 주축회전수, 절삭 깊이의 순서로 영향을 미치고 있는것을 확인하였다.
2. 무전해 Ni 도금의 최적절삭조건은 절삭속도 195 m/min, 절삭 깊이가 2 μm, 이송속도 2 mm/min 일 때 Ra 0.77 nm의 표면 거칠기 결과를 얻을 수 있었다.
3. 무전해 Ni 도금 비구면 금형코어를 최적 절삭조건으로 가공한 결과 Lens1 Rt 값 0.0513 μm, Lens2 Rt 값 0.1081 μm를 얻을 수 있었다.

참고문헌

1. Sugano, T., Ihara, Y., Nnkatsu, Y. and Shinohara, A., "Diamond Turning of an Aluminum Alloy for Mirror," Annals of the CIRP, Vol.36, No.1, pp.17~20, 1987.
2. 김정두, "천연 다이아몬드 인선형태에 의한 Al합금의 경면절삭에 관한 연구," 大韓機械學會論文集, 제14卷, 제6號, pp.1515-1522, 1990.
3. 이경호, 윤영식, 이상조, "다결정 다이아몬드 공구를 사용한 Al-Si합금의 선삭과정에서 절삭특성에 미치는 Si함량의 영향," 韓國精密工學會誌, 제12卷, 제6號, pp. 20~26, 1995
4. 박성현, "현대 실험계획법", 도서출판 민영사, 2006.