

열영상 카메라용 Al6061-T651 반사 미러의 초정밀 가공 특성

Ultra Precision Machining Characteristics of Al6061-T651 Reflector for a IR Camera

*김명상¹, 양순철¹, #김건희¹, 홍창덕², 원종호³

*M. S. Kim¹, S. C. Yang¹, #G. H. Kim(kgh@kbsi.re.kr)¹, C. D. Hong², J. H. Won³

¹ 한국기초과학지원연구원, ²하늘 엔지니어링, ³충남대학교 기계공학과

Key words : SPDTM, Aspheric mirror, Reflector

1. 서론

오늘날 현대 산업사회의 첨단 제품 발전을 주도하고 있는 반도체 및 정보통신, 컴퓨터, 레이저, 영상, 정보 기기, 계측기, 전자계산기의 주변 기기, 광학 기기 및 각종 제어기기 관련 산업을 포함한 제반 첨단 산업은 하드웨어 면에서 초정밀 (ultra-precision)이라는 기술적 특성을 공동 기반으로 하고있다. 이것은 반도체의 고집적화, 광자기 메모리의 고용량화, 광섬유를 활용한 다채널 고속 통신망, 그리고 높은 분해능을 가진 레이저 프린터 등의 대표적인 활용 예를 통해 쉽게 짐작 할 수 있다. 또한, 현재 초정밀을 향한 정밀핵심기술의 보유는 한 국가의 제반 첨단산업의 국제적 경쟁력 확보를 위해 필수적인 공통 기반기술로서 자리 매김을 하고 있다.¹⁾

항공우주에 사용되는 열영상 카메라는 생태계 변화나 환경오염 등의 일반적인 관측뿐만 아니라 군사용 카메라 등에도 사용될 수 있는 고해상도 광학계이므로 미국 등의 선진국에서도 기술이전을 매우 기피하는 첨단 기술이다.²⁾ 하지만 독자적인 IR 영역 영상의 자율적인 획득 및 관리를 위해서는 고해상도 열영상 카메라의 자체개발이 필수적이며 광학설계, 제작 및 평가기술의 확보가 절대적으로 필요하다.

따라서 본 연구에서는 열영상 카메라 연구 부품의 국산화 일환으로 알루미늄합금 직경 200 mm급 비구면 반사 미러의 초정밀가공 정밀도 향상을 목적으로 다음과 같은 연구를 수행하였다. 형상정밀도는 $\lambda / 2$ ($\lambda=632.8$ nm) 이하를 요구하는 반사 미러의 가공에 있어서 주축 회전수, 절삭 깊이, 이송속도에 대한 초정밀가공 최적조건 절삭실험 및 열처리 최적조건 절삭실험을 통한 초정밀 가공기술을 바탕으로 열영상 비구면 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 $0.25 \mu\text{m}/300$ 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 ± 1 °C, 습도 30 ± 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 WYKO사의 NT 2000을 사용하였으며 측정기의 측정범위는 최대 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 이며, 측정범위로는 $0.1 \text{ nm} \sim 150 \mu\text{m}$ 이며, 분해능은 0.1 nm 이고 Auto Focusing 타입이다. 표면형상측정으로는 Laser interferometer WYKO6000을 이용하였다.

2.2 실험방법

알루미늄 합금인 AL6061-T651의 초정밀 최적가공 조건을 찾기 위하여 절삭속도, 절삭 깊이와 이송속도, 열처리 조건에 대한 표면 거칠기를 측정하여 최적 초정밀 가공조건을 찾았으며 가공조건은 Table 1과 같다. 열처리 조건은 Sample#1은 일반 시편, Sample#2은 풀림처리 시편, Sample#3은 용체화 처리 후 급냉, 시효경화 한 시편, Sample#4은 용체화 처리 후 급냉, 시효경화 후 반복적으로 2회를 실시한 시편이다. 실험은 Fig.1과 같이 단결정 Diamond 공구로 $\varnothing 40 \times 20$ (표면거칠기)와 $\varnothing 100 \times 20$ (열처리조건) 크기의 Al 6061-T651을 단면절삭방법으로 실험을 실시하였고, 가공된 표면 거칠기는 NT2000으로 측정하였으며 표면 형상 정밀도는 Laser interferometer WYKO 600으로 표면형상(P-v)을 측정하였다. 그리고 Al6061-T651 실험결과로 얻어진 최적절삭 조건을 이용하여 열영상 카메라용 비구면 반사 미러를 제작하였으며, $\varnothing 200$ mm 구면 반사 미러의 표면형상을 측정하기 위하여 Laser interferometer WYKO6000을 사용하였다.

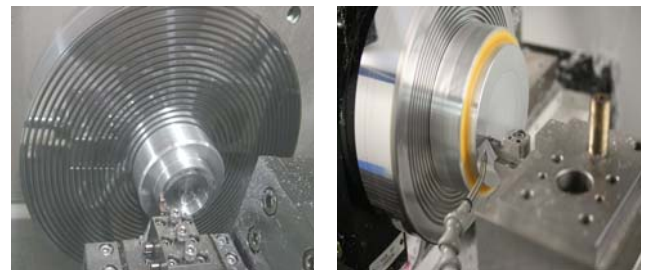


Fig. 1 Workpiece of cutting sample (Al6061-T651)

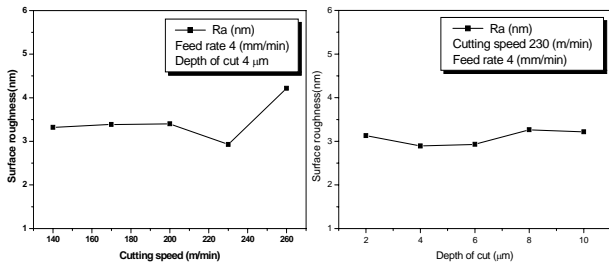
Table 1 Experimental Condition

Material	Al6061 - T651
Cutting speed(m/min)	140, 170, 200, 230, 260
Feed rate(mm/min)	2, 4, 6, 8, 10
Depth of cut(μm)	2, 4, 6, 8, 10
Vacuum pressure	-20kgf/cm ²
Nose radius (mm)	0.5
Cutting fluid	Air + EDM oil

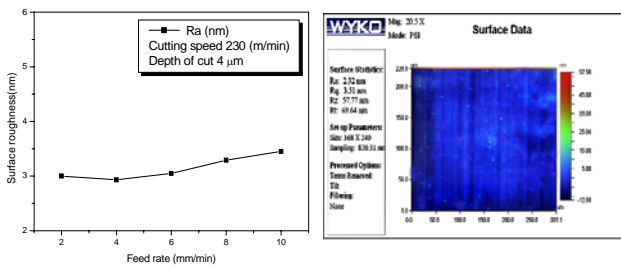
3. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 단결정 다이아몬드 바이트를 사용하여 알루미늄합금을 이송속도, 절삭깊이, 절삭속도 변화에 따른 표면 거칠기를 측정한 결과이며, Al6061-T651는 절삭속도 230mm/min, 절삭 깊이 $4 \mu\text{m}$, 이송속도 4mm/min 일 때 양호한 표면거칠기 Ra 2.32nm를 얻을 수 있었다. Fig. 3은 열처리 조건 변화에 따른 표면 형상정밀도를 나타낸 결과이다. Fig. 4는 용체화 처리 후 급냉 시킨 후 시효경화를 2회 실시한 열처리 시편(b)은 열처리를 하지 않은

시편(a)의 형상정밀도(P-V) 0.640 μm 보다 양호한 형상정밀도 (P-V) 0.168 μm 얻을 수 있었다.



(a) Surface roughness versus cutting speed and depth of cut



(b) Surface roughness versus feed rate and surface data

Fig. 2 Result of measure to surface roughness

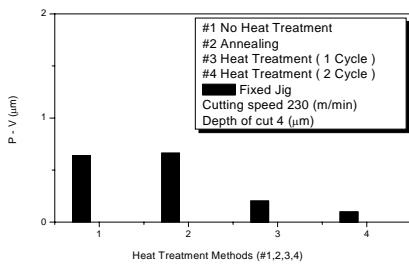
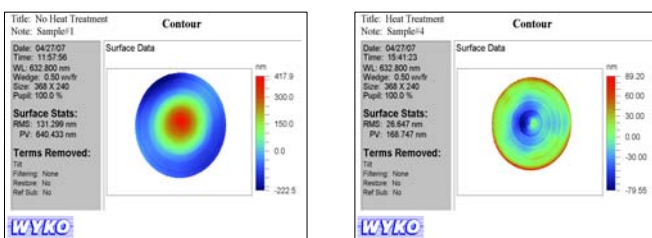


Fig. 3 Measurement result after Heat Treatment and turning for Al6061-T651



(a) No Heat Treatment (b) Heat Treatment

Fig. 4 Measurement of Al6061-T651 surface

4. 열영상 카메라용 반사 미러 제작

실험을 통하여 얻어진 Al6061-T651의 최적 가공조건을 통하여 곡률 R 236 mm, 직경 \varnothing 200 mm의 구면 반사 미러를 제작하였다. 공작물의 고정은 진공압력에 의한 제품의 변형을 방지하기 위하여 특수한 지그를 설계 제작이 필요하였으며, 이에 일반적인 평판형상의 지그를 사용한 결과보다 양호한 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 5는 SPDTM을 이용하여 가공하는 사진을 보여주며, Fig. 6은 Interferometer WYKO6000을 이용하여 직경 \varnothing 200 mm 구면을 측정된 결과 P-V 0.241 μm 를 얻을 수 있었다. 향후 지그에서 발생하는 오차를 줄이기 위한 가공 시뮬레이션 및 구조해석을 통하여 비구면의 형상정밀도 향상에 관한 연구를 수행 하고자

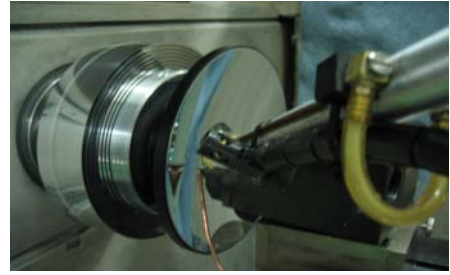


Fig. 5 Machining reflector mirror by SPDTM

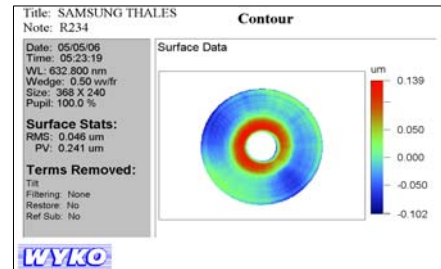


Fig. 6 Measurement of the surface for a large reflector

5. 결론

열영상 카메라용 반사 미러에 사용되는 알루미늄 합금의 초정 밀가공 특성을 파악하기 위하여 Nanoform 600 다이아몬드 터닝 머신에서 천연다이아몬드 공구를 사용하였으며 절삭속도, 이송 속도, 및 절삭깊이의 초정밀 절삭 조건에 따른 표면 거칠기 및 열처리 조건에 따른 표면 형상정밀도를 측정하였다. 이러한 알루미늄의 초정밀 가공을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. Al6061-T651의 최적절삭조건은 절삭속도 230 m/min, 절삭 깊이가 4 μm , 이송속도 4 mm/min 일 때 Ra 2.32 nm의 표면 거칠기 결과를 얻을 수 있었다.
2. 열처리 조건으로 용체화 처리 후 급냉, 시효경화를 2회 실시한 시편이 최적의 형상정밀도 P-V 0.168 μm 를 얻을 수 있었다.
3. 직경 \varnothing 200 mm 구면 반사 미러를 최적절삭조건으로 가공한 결과 P-V 0.241 μm 를 얻을 수 있었다.

참고문헌

1. D. V. Singh, R. Sinhasan, S. S. Wadhwa, "Dynamic performance of plain gas journal bearings." Tribology international, Vol. 15, pp. 33~41, 1984.
2. 이윤우, "고해상도 위성카메라 평가 기술," 측정표준, 제22권, 제2호, pp. 29-41, 1999.
3. KS 규격 KS W1113 "항공기용 알루미늄 합금의 열처리" 1987.
4. 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.
5. 사단법인 대한금속학회, "주철·비철의 열처리", 대한금속학회 하계 대학, 열처리 기술 강습, pp. 383~410, 1986.