

연질재료의 마이크로 구형렌즈금형 가공특성에 관한 연구

홍성민*(충남대 대학원), 이동주(충남대 기계공학과)
제태진, 최두선, 이용숙 (한국기계연구원)

A Study on the Manufacturing Characteristics for Micro Spherical Lens Mold of Soft Materials

S. M. Hong(Mecha. Eng. Dept. CNU), D. J. Lee(Mechanical Eng. Dept., CNU)
T. J. Jae, D. S. Choi, E. S. Lee(KIMM)

ABSTRACT

Micro spherical lens mold processing method based on mechanical one completes a spherical shape by setting a diamond tool of hundreds μm radius on spins with high speed and then using Z-axis vertical feeding motion like the fabrication of micro drilling. In this method, we can see unprocessed parts shaped like cylinder and cone and check increasing chatter marks and burrs by setting errors of the central axis of rotation on the edge of the tool. That is why this method doesn't suit for the optical lens mold.

In this paper presents unprocessed parts are disappeared and chatter marks and burrs are decreased from centre of the lens after using Run-out measuring and setting system on run-out occurred from setting tool. Also the fabrication characteristics of 6:4 Brass, Al6061, PMMA are compared and analyzed, establishing the optimum machining condition on each material.

Key Words : Micro lens array mold (마이크로 렌즈 어레이 금형), Diamond tool (다이아몬드 공구), Cutting-condition(가공조건), Tool run-out(공구 런아웃), Cutting force (절삭력)

1. 서론

기계적 가공법에 의한 마이크로 구형렌즈금형 가공방법은 공구반경이 수백 μm 인 다이아몬드공구를 고속으로 회전하는 스피들에 장착하여, 미세 드릴링 가공 방법과 같이 Z 축의 상하 절입 운동으로 구형을 완성하고, X 또는 Y 방향으로 이송후 다시 절입 하는 것을 반복하여 마이크로 구형렌즈 금형을 완성한다. 이러한 가공방법은 공구 장착시 공구 런아웃과 공구제작시 날끝이 공구회전중심축에 수 μm 미달하는 문제점으로 인하여 렌즈의 중심부에는 원기둥 모양과 원추 모양의 미가공부가 발생하고 체터무늬와 버가 증가함에 따라 광학용 렌즈금형으로 사용하기에 부적절하다.

본 연구에서는 이러한 공구 장착시 공구 런아웃과 공구 설계, 제작시 문제점 분석 및 대책을 연구하였으며, 정상가공에 의한 버와 체터무늬를 줄일 수 있었다. 또한 연질재료의 가공특성을 비교하기

위하여 3 종류의 재료를 선택하였다. 가공성이 좋은 6:4 Brass 와 Al6061, 빛의 투과성과 착색성, 기계가공성이 좋아 광학용 렌즈재료로 많이 쓰이는 PMMA 를 동일한 가공조건으로 가공실험 하였다.

실험에 사용된 공구는 R150 μm 의 다이아몬드 회전공구이며, 가공 조건은 Rotating tool speed, Feed rate, Cutting depth, Dwell time 을 변수로 설정하고, 가공 중 측정된 절삭력과 가공면의 품질을 분석하여 각각의 재료에 따른 최적절삭 조건을 확립하였다..

2. 실험장치 및 방법

2.1 마이크로 머시닝 시스템

본 연구에 사용된 초정밀 미세 가공시스템의 모습을 Fig.1 에 나타내었다. 시스템의 주요 구성은 X-Y-Z 의 3 축으로 이루어지며 X-Y 축은 최대 스트로크 200× 200 mm, 분해능 5 mm의 에어베어링 스테이지와 Z 축은 스트로크 100 mm, 분해능 40 mm의 에어

슬라이더로 이루어 졌으며, 엔드밀링 및 드릴링, 플라이 커팅에 의한 미세 가공을 수행할 수 있다. 시스템의 제어는 PC 기반의 Turbo PMAC board 를 사용하였다. 또한 3 차원 형상의 초소형부품 제작을 위하여 CAD/CAM 기능이 지원되는 PMAC-NC software 를 부가 설치하여 CAM 프로그램으로 생성된 NC data 를 직접 받아 가공 할 수 있도록 하였으며, 공작물 밑에는 0.002N 의 미세 절삭력을 측정할 수 있는 공구동력계(Kistler, MiniDyn 9256A2)를 설치 하였다.

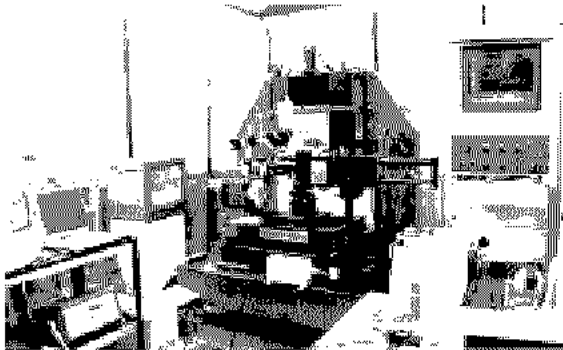
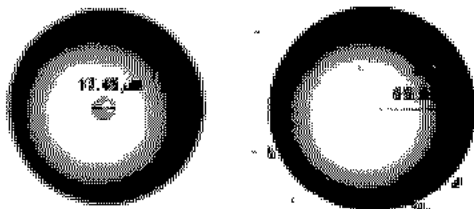


Fig. 1 Micro fabrication system for experiments

2.2 런-아웃 측정 시스템

스핀들 축에 고정되는 공구 Collect, Chuck 등에 의해 발생하는 오차 즉, 주축 및 공구계의 비동기 에러 동작과 크램프 에러의 조합은 일반적으로 공칭 칩 두께의 3~30 배의 Run-out 을 발생시키고, 공구 자투(Tool shank)와 스핀들 축의 불일치에 의해서도 Run-out 이 발생하게 되고 또한 스핀들 베어링에 의해서도 Run-out 이 발생하게 된다. 이러한 런아웃은 Fig.2(a)와 같은 미가공부와 체터마크, 버를 생성하기 때문에 Fig.3 Run-out measuring & setting system 을 이용하여 편심된 공구회전중심을 스핀들 회전 중심축에 대하여 보정하고 보정 상태를 확인 하기 위하여 스핀들을 회전시키고 Z 축을 절입 이용하는 실험으로써 구형렌즈 센터부분의 미가공부 발생 여부를 확인한다. 미가공부가 있다는 것은 공구 런아웃이 발생 하는 것 이므로 Fig.2 (b)와 같이 미가공부가 발생하지 않도록 공구셋팅 상태를 확인하고 보정 하여야 한다.



(a) No good chucking (b) very good chucking

Fig. 2 Effect of run-out error by chucking condition

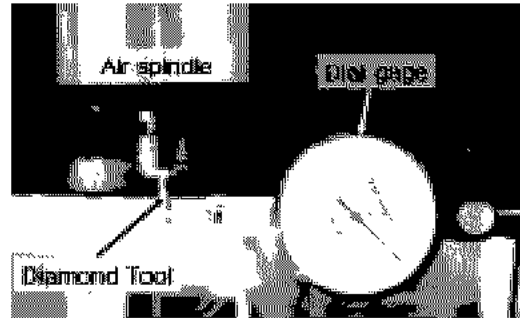
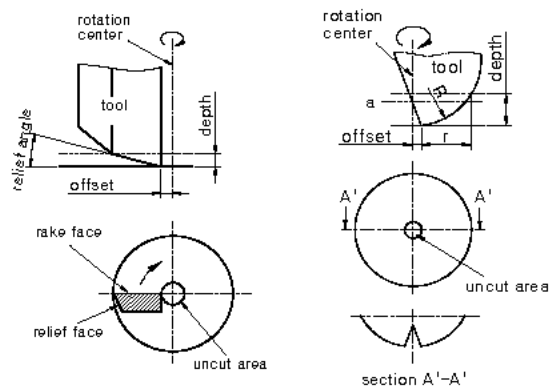


Fig.3 Run-out measuring & setting system

2.2 다이아몬드 공구의 설계 제작

공구 제작시 고려할 사항은 Fig.4 와 같은 offset 에 의해 원기둥 및 원뿔모양의 미가공부를 생성하고 이러한 미가공부와 체터 마크, 버는 렌즈 성형 시 가공부 표면에 전사 되기 때문에 광학적 성능이 떨어져 제품으로 사용할 수 없다. Fig.5 는 원기둥 및 원뿔형태의 미가공부를 없애기 위해 설계 제작된 R150 μm 다이아몬드 공구의 현미경사진과 상세도면 이며, 공구날 끝부분을 Tool center 에 대하여 5 μm (+)offset 되도록 설계 제작하였고, 공구의 정밀도는 치수정밀도 1 μm, 형상 정밀도 Waviness 0.22 μm 인 고정밀도로 제작 되었다.



(a) (-) offset of rake face (b) over cutting depth

Fig. 4 Center shape result by offsets of cutting edge

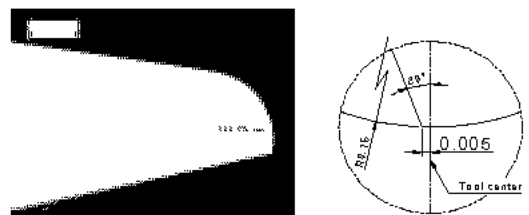


Fig. 5 Feature & drawing of Diamond tool

3. 구형 렌즈금형 가공실험

3.1 가공방법 및 조건

런아웃 실험을 마친 다이아몬드 공구를 고속으로 회전시키고 Z 축의 상하 절입 운동으로써 마이크로 구형렌즈금형 가공실험을 한다. 절삭조건 및 가공 경로는 CAM 프로그램을 이용하여 21 개의 조건을 각각 설정하고 자동프로그램 인 NCdata 를 생성하여 동일조건으로 여러 번 수행할 수 있도록 하였다. Fig.6 은 마이크로 구형렌즈 금형가공 방법과 가공경로 및 절삭조건에 따른 CL data 이다. 절삭유로는 기계유 (ISO VG8) 을 사용하였으며, 금형소재는 재료의 특성 분석 및 최적 가공 조건수립을 위한 6:4Brass, AL6061, PMMA 의 비교적 연한 재질이다. Table 1 은 각각의 가공조건을 나타내고 있다. 조건 #1~#6 은 이송속도변화에 따른 영향을 알아보기 위한 조건이며, #7~#8 은 지연시간이 가공부 표면에 주는 영향과 #9~#18 은 절삭 깊이가 변화에 따른 가공 가능한 직경을 알아보기 위한 것이다. #19~#21 은 스피들 회전수에 따른 가공부 표면 품질 과 절삭저항을 비교하기 위한 조건이다.



Fig. 6 Cutting method & CL data of micro lens mold

Table 1 Experimental machining conditions of micro lens

No	Rotating tool speed [RPM]	Feed rate (Z-dir.) [mm/min]	Cutting depth [mm]	Dwell time [sec]	No	Rotating tool speed [RPM]	Feed rate (Z-dir.) [mm/min]	Cutting depth [mm]	Dwell time [sec]
#1	60,000	1	25		#12	60,000	15	20	
#2	60,000	5	25		#13	60,000	15	25	
#3	60,000	10	25		#14	60,000	15	30	
#4	60,000	15	25		#15	60,000	15	35	
#5	60,000	20	25		#16	60,000	15	40	
#6	60,000	25	25		#17	60,000	15	45	
#7	60,000	15	25	1	#18	60,000	15	50	
#8	60,000	15	25	3	#19	5,000	15	25	
#9	60,000	15	5		#20	50,000	15	25	
#10	60,000	15	10		#21	40,000	15	25	
#11	60,000	15	15						

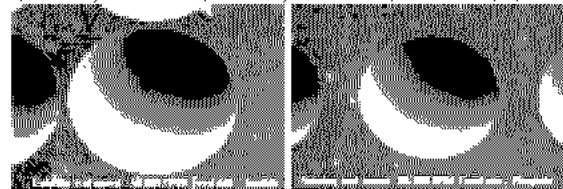
3.2 실험결과 및 고찰

3.2.1 절입속도 변화 실험결과 및 고찰

Z 축 방향의 절입속도에 따라 가공표면의 변화를 알아보기 위해 공구 회전수를 60,000 RPM 으로 고정하고, 절입속도를 1~25 mm/min 의 6 단계로 가공 조건을 선정하여 실험을 하였다. 가공결과 6:4 Brass

에서는 #3 의 조건인 10 mm/min 에서 체터 무늬가 조금씩 나타났다. 절입속도가 커짐에 따라 체터 무늬가 커졌고, #6 의 25 mm/min 에서는 매우 좋지 않은 표면을 얻었다. PMMA 는 절입속도 25 mm/min 에서 가공표면의 뜸김 현상이 나타났다.

PMMA 가 6:4Brass, Al606 에 비해 H_RC 85~105 정도로써 두 금속에 비해 작지 않았으며, 이러한 경우로 볼 때 6:4 Brass 와 Al6061 에 비해 원자, 분자 또는 이온간에 작용하고 있는 인력이 작기 때문에 발생하는 것임을 알 수 있었으며, Fig.7 에 그 결과를 나타내었다. Al6061 은 25 mm/min 에서도 가공표면이 매우 좋았으며, 그 결과를 Fig.8 에 나타내었다. Fig.9 는 절입속도에 따른 절삭력이며, 절입속도가 빨라 질수록 절삭력이 증가 하고, 절입속도 25 mm/min 에서 소재별 절삭력을 분석하여 보면 6:4Brass 약 0.06N, Al6061 약 0.03N, PMMA 약 0.02 N 이다.



(a) Feed rate: 1 mm/min (b) Feed rate: 25 mm/min
Fig. 7 Machining result of micro lens mold in PMMA

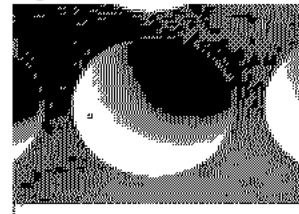


Fig. 8Machining result of micro lens mold in Al6061

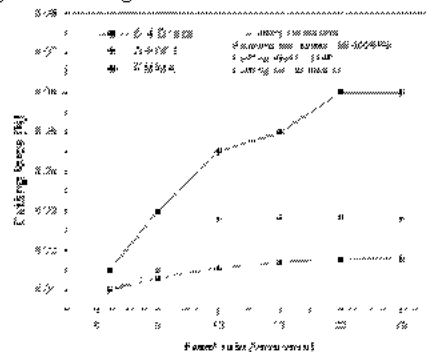


Fig. 9 Cutting force with feed rate

3.2.2 절입깊이 변화 실험결과 및 고찰

절입깊이 변화에 따른 가공 부 유효직경 및 가공표면품질, 절삭력 변화를 알아보기 위하여 절입깊이 5~50 μm 까지 10 단계로 나누어 가공실험 하였다. 그 결과 Fig.10 의 절입깊이 33 μm에서 가공부 바깥쪽에 체터 무늬가 발생하기 시작하였으며, 절

입깊이 50 μm 에서는 체터 무늬가 많아진 것을 볼 수 있다. 절입깊이 30 μm 이상에서의 체터무늬 발생은 relief face 간섭에 의한 것으로 보인다. Fig.11 은 절입깊이 변화에 의해 측정된 절삭력을 나타내었으며, 절입깊이 50 μm 에서 6:4Brass 약 0.06N, Al6061 약 0.035N, PMMA 약 0.02 N 다. 절입깊이가 증가할수록 대체로 증가하는 경향을 보이고 있다.

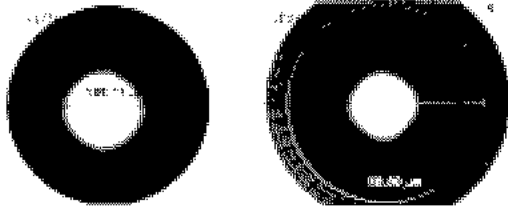


Fig. 10 Machining result of micro lens mold in 6:4Brass

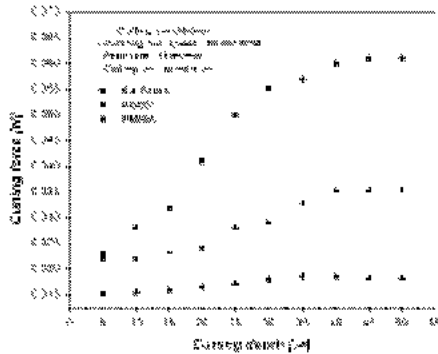


Fig. 11 Cutting force with cutting depth

3.2.3 공구회전수 변화 실험결과 및 고찰

공구회전수 변화에 대한 영향은 6:4Brass, Al6061, PMMA 모두 Fig.12 에서 보는 바와 같이 5,000rpm 의 낮은 회전수 에서 체터 무늬가 많이 나타났으며, 60,000rpm 에서는 양호한 가공표면을 볼 수 있다. Fig.13 은 Al6061 을 5,000rpm 에서 가공실험시 측정 한 절삭력이며, X-Y 축에 대하여 불안정한 파형을 나타내었다. 이러한 현상은 6:4Brass 와 PMMA 에서도 나타났으며, 가공표면의 체터 무늬에 직접적인 영향을 준 것으로 보인다. Fig.14 는 공구회전수 변화에 의한 절삭력 변화를 분석한 결과이며, 5,000rpm 에서 30,000rpm 까지 급격히 작아지며, 30,000rpm 이상에서는 X-Y 축에 대하여 안정적으로 되었고, 회전수가 증가 할수록 절삭력이 감소하는 현상을 볼 수 있다.



Fig. 12 SEM image of micro lens mold surface in 6:4Brass

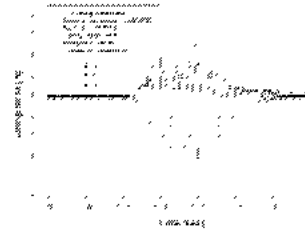


Fig. 13 Cutting force of rotating tool speed 5,000 rpm

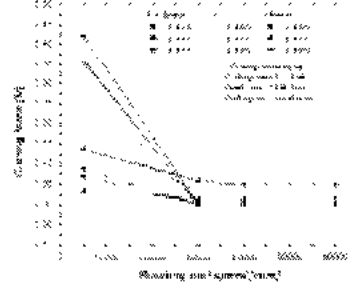


Fig. 14 Cutting force of rotating tool speed

4. 결론

본 연구에서는 공구런아웃 측정 및 셋팅 장치를 구축 하였고 렌즈 센터부에 미가공부가 발생하지 않는 공구를 설계, 제작 하였으며, 재질에 따른 기초실험을 통하여 최적절삭 조건을 확립 하였다.

1) Run-out measuring & setting system 을 이용하여 런아웃측정과 공구셋팅을 최적으로 하여 렌즈센터 부분의 미가공부를 해결하였다.

2) 절입속도 변화에 의한 실험결과 절입속도가 증가 할수록 6:4Brass 의 경우 체터무늬가 증가하였고, Al6061 은 절입속도 25 mm/min 에서도 표면상태가 양호 하였으며, PMMA 는 두금속에 비해 응집력이 약하기 때문에 가공표면에 뜯기는 현상이 발생 하였다.

3) 공구회전수 변화에 의한 실험결과 낮은 회전수에서 체터무늬가 많았고 회전수가 증가 할수록 체터 무늬가 감소 하여 60,000rpm 에서 체터 무늬가 발생하지 않았다.

참고문헌

1. 박경택, 신영재, 강병수, “고속 정밀 가공기의 공구 셋팅 모니터링 기술” 한국 정밀공학회 2004 년도 춘계학술대회, pp. 464-466, 2004.
2. 제태진, 이종찬, 최 환, 이응숙, 최두선 홍성민, “외관 다이아몬드 회전공구를 이용한 마이크로형상가공 연구” 한국 정밀공학회 2004 년도 춘계학술대회, pp. 1369-1372, 2004.
3. K.sawada, Y.Takeyche, “초정밀 Machining Center Fab. of micro parts”,Key Eng.Mat.,2003