

Feedrate Control 에 의한 초경코어 표면조도 향상에 관한 연구

A Study on Improvement of WC Core Surface Roughness by Feedrate Control

김현욱¹, 정상화², 이동길¹, 김상석¹, 김혜경¹, ✉김정호¹

Hyun Uk Kim¹, Sang Hwa Jeong², Dong Kil Lee¹, Sang Suk Kim¹, Hye Jeong Kim¹ and ✉Jeong Ho Kim¹

1 한국광기술원 초정밀광학팀 (Korea Photonics Technology Institute, Ultra Precision Optics Team)

2 조선대학교 기계공학과 (Department of Mechanical Engineering, Chosun Univ.)

✉ Corresponding author: Kimjh@kopti.re.kr, Tel: 062-605-9260

Manuscript received: 2008.3.4 / Revised: 2008.5.28,9.1 / Accepted: 2008.9.2

Recently, with the increasing lightness and miniaturization of high resolution camera phones, the demand for aspheric glass lens has increased because plastic and spherical lens are unable to satisfy the required performance. An aspheric glass lens is fabricated by the high temperature and pressure molding using a tungsten carbide molding core, so precision grinding technology for the molding core surface are required. This paper reports a development of feedrate control grinding method for aspherical molding core using parallel grinding method. A plane molding core was ground using conventional and feedrate control grinding method. The performance of the feedrate control method was evaluated by measurement of surface roughness. The result indicated that the average surface roughness was reduced to 1.5 nm, which is more efficient than the conventional grinding method.

Key Words: Feedrate control method (이송속도 제어기법), Surface roughness (표면조도), Tungsten Carbide (초경합금)

기호설명

V_c = the feedrate along the circumference direction of workpiece per revolution of grinding wheel

f_r = the travel distance per revolution of workpiece

Ng = the number of abrasive grains of the grinding wheel in a grinding zone

lam = the length of the average abrasive marks by an abrasive grain

P = the pitch of the abrasive marks affecting the radial direction of workpiece

δg = the density of the abrasive grain acting upon the grinding surface

A = the contact area between grinding wheel and workpiece

Ry = the ground surface roughness of workpiece

f_x = the feed speed of grinding wheel (feedrate)

1. 서론

최근 카메라폰 및 디지털 카메라등의 정밀 광학기기는 광학 부품의 고정밀도화, 소형경량화 그리고 고기능화가 필수적으로 요구되고 있음은 물론 구면 및 플라스틱 렌즈만으로는 요구되는 광학적 성능구현이 어렵기 때문에 비구면 Glass 렌즈에 대한 요구가 증가하고 있다.¹⁻³ 급속한 산업발전과 더불어 정보기기, 디지털 카메라를 비롯한 영상·음향기기, 광픽업, 프로젝터, 카메라폰, 복사기 및 프린터 등의 초정밀 광학부품에 대한 수요가 증가하고 있음과 더불어 고해상도화, 고휘도화 등의

광학적 성능향상의 요구도 커지고 있다. 이러한 요구의 충족을 위하여 광학렌즈의 비구면화와 플라스틱 렌즈에서 유리렌즈로의 변환이 불가피하다. 아울러 비구면 렌즈를 정밀하게 대량 생산할 수 있는 방법인 초정밀 성형용 금형코어 제작과 성형 기술이 뒤따라야 한다.⁴

이러한 비구면 글라스 렌즈의 제작방법에는 초경합금 소재의 성형용 코어를 사용하여 고온압축 성형하는 방법과 구면 글라스 렌즈를 연삭을 통하여 직접 가공하는 방법이 있다. 최근에는 생산단가의 감소와 대량생산을 위하여 성형용 코어를 활용한 고온압축 성형방식이 적용되는 추세이다.⁵

비구면 글라스 렌즈 성형용 코어로서 초경합금(WC)은 난삭재로 초정밀 연삭가공에 의해 가공되어진다. 페러렐 연삭법은 공작물의 회전방향과 휠의 주축 벡터방향이 평행이 되고, 오목면의 경우 휠과 공작물간의 상대곡률을 작게 하여 가공면의 표면조도가 기존의 연삭방식에서 비해 개선되는 장점을 가지기 때문에 소구경 연삭가공에 주로 사용된다.^{6,9}

본 연구에서는 비구면 글라스 렌즈 성형용 코어(WC)의 연삭가공을 위해 소구경 연삭가공에 적합한 페러렐 연삭법으로 초정밀 연삭가공을 수행하였다. 최종적으로 일반적인 연삭가공방법으로 가공된 결과와 이송속도 제어기법(Feedrate control method)을 이용하여 연삭가공된 결과를 비교·평가하였다.

2. 초정밀 연삭 모델

연삭가공 모델링은 Fig. 1 과 같이 나타낼 수 있으며, 관련식은 식(1)과 같다. 공작물의 반경방향 위치가 $r(mm)$ 이고, 공작물의 회전수와 연삭숫돌의 회전수가 각각 $\omega_1(rpm)$, $\omega_2(rpm)$ 라고 한다면 연삭숫돌 1 회전당 공작물 원주방향 이송량 $V_c(mm/min)$ 는 다음과 같다.

$$V_c = \frac{\pi D \omega_1}{\omega_2} = \frac{2\pi r \omega_1}{\omega_2} \tag{1}$$

공작물의 1 회전당 연삭숫돌이 공작물의 반경 방향으로 이동하는 속도 $f_r(mm/rev)$ 은 식(2)와 같

다.

$$f_r = \frac{f_x}{\omega_1} \tag{2}$$

여기에서 $f_r(mm/rev)$ 는 연삭숫돌의 이송속도(federate)이다.

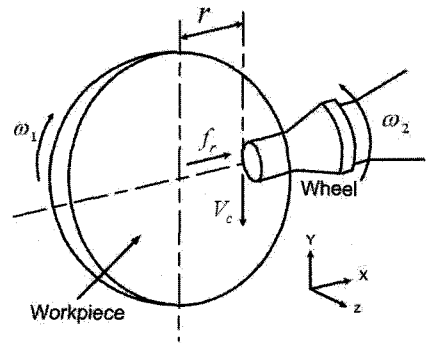


Fig. 1 Geometric modeling of parallel grinding

다음으로 공작물과 접촉기능영역에 있는 작용 연삭숫돌 입자수를 N_g , 1 개의 입자에 의한 평균 연삭흔적의 길이를 l_{am} 이라 하면, 공작물상의 원주방향에 미치는 연삭입자(Abrasive)흔적의 피치 P 는 다음과 같다.

$$P = \frac{V_c f_r}{N_g l_{am}} \tag{3}$$

식 (1), (2), (3)으로부터 다음식을 나타낼 수 있다.

$$P = \frac{2\pi r f_x}{N_g l_{am} \omega_2} \tag{4}$$

δ_g 는 연삭표면에 작용하는 연삭입자의 밀도이고, $A(mm)$ 가 연삭 휠과 공작물의 접촉면적이면 연삭과정에 작용하는 입자의 수 N_g 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$N_g = A \delta_g \tag{5}$$

입자 집중도에 의해서 결정되는 δg 와 A 가 연삭과정에서 일정하다고 가정하면 N_g 는 일정하다.

Fig. 2 에 나타낸 바와 같이 연삭숫돌 표면에 연삭입자의 날 끝 평균각도를 θ 라 하고 연삭입자의 형상이 공작물 표면에 그대로 전사된다고 가정하면 공작물의 표면거칠기 (R_y) 는 다음식으로 표시된다.

$$R_y = \frac{P}{2} \frac{1}{\tan(\theta/2)} = \frac{P}{2} \cot \frac{\theta}{2} \quad (6)$$

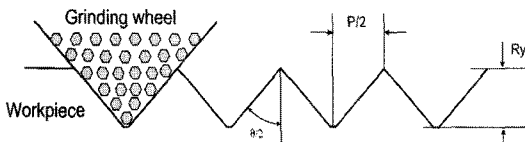


Fig. 2 Influence of x-direction feedrate on the surface roughness

식 (4) 및 식 (6) 으로부터 표면거칠기 (R_y) 값을 나타낼 수 있다.¹⁰

$$R_y = \frac{\pi r f_x}{N_g l_{am} \omega_2} \cot \frac{\theta}{2} \quad (7)$$

식 (7) 에서 연삭입자의 수, 주축회전속도가 일정하다면 식 (8) 로 나타낼 수 있다.

$$R_y = k(r f_x) \quad (8)$$

k 는 상수이다. 식 (7) 과 (8) 으로부터 연삭에 작용하는 연삭입자의 수, 주축회전속도와 이송속도 (f_x) 가 일정하다면 공작물의 표면조도는 공작물의 반경위치에 비례하여 영향을 받는다. 식 (8) 으로부터 표면조도를 일정하게 유지시키기 위해서는 공작물의 반경방향의 위치에 따라 이송속도를 변화시켜 주어야 한다.

본 연구에서는 피삭재의 반경위치에 상관없이 표면조도를 일정하게 유지하여 성형용 코어 표면조도를 향상시킬 수 있도록 이송속도 제어기법을 적용한 초정밀 연삭가공을 수행하였다.

3. 실험 및 결과

3.1 실험장치 및 실험방법

본 연구에서는 비구면 글라스 렌즈 성형용 코어(WC) 가공을 위해 초정밀 연삭가공이 가능한 초정밀가공기(ASP01, Nachi-Fujikoshi Co., Japan)를 사용하였다. 초정밀가공기는 2 개의 유정압 슬라이드가 직교형태로 구동하고, 유정압 베어링에 의한 B 축 Rotary table, 공기 터빈스핀들이 장착되어 비구면 가공이 가능한 초정밀가공기이다. 안내면의 위치정밀도는 1nm 의 정도를 가지며, 최대허용가공직경은 $\phi 150mm$ 이다. 초정밀가공기는 온도 $22 \pm 1^\circ C$ 로 일정하게 유지되는 클린룸(Class 10,000)에서 운용되며, 진동에 의한 영향을 피하기 위하여 특수 설계된 제진대 위에 설치하였다.

초정밀가공기를 사용하여 가공된 성형용 코어의 표면조도 측정을 위해 초정밀자유곡면 3-D 형상측정기 (Japan, Panasonic Co., UA3P)와 3 차원 표면조도 측정기 (USA, Zygo Co., NewView5000)를 사용하였다. Fig. 3 은 초정밀가공기를 나타낸다.

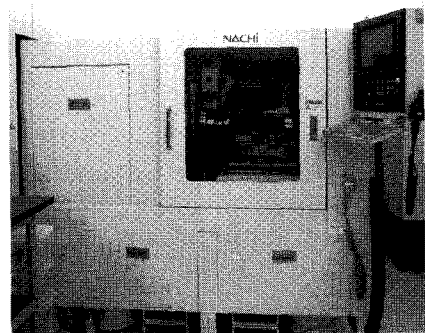


Fig. 3 Microlens processing machine

본 연구에서는 이송속도제어기법의 영향을 용이하게 확인하기 위하여 평면 성형용 코어를 연삭가공하였다. 성형용 초경합금 코어의 가공조건을 구하기 위하여 실험계획법 (Design of experiments; DOE)을 적용하였다.⁴ 성형용 코어의 재료는 초경합금(WC, Co 0.5%)을 선택하였다. 연삭가공용 톨은 메쉬 #2,000, 레진본드를 사용하여 결합도 125 로 결합된 다이아몬드 휠을 사용하였다. 일반적인 연삭가공조건과 이송속도 제어기법을 활용한 연삭가공조건을 활용하여 성형용 코어 연삭가공을 수행하였다. Table 1 은 연삭가공에 사용된 가공조건을 나타낸다.

Table 1 Grinding conditions of tungsten carbide(WC)

Diamond wheel mesh		#2,000
Turbine spindle speed		35,000 rpm
Work spindle speed		350 rpm
Depth of cut		0.25 μm
Feedrate	Conventional	0.5 mm/min
	Feedrate control	0.5 ~ 0.1 mm/min

이송속도가 0.5mm/min 으로 일정한 일반적인 연삭가공방법을 활용하여 평면성형용 코어를 연삭가공하였다. 이송속도 제어기법에 의한 연삭가공 결과를 확인하기 위하여 공작물 반경위치에 따라 이송속도가 0.5mm/min 에서 0.1mm/min 까지 변화하는 NC 프로그램을 프로그래밍하였다. 작성된 프로그램을 활용하여 성형용 코어를 초정밀 연삭가공하였다. 형상정도가 표면조도에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 평면 성형용 코어의 형상정도는 0.1 μm 이하로 보정가공되었다. 연삭가공을 수행한 성형용 코어의 표면조도 측정은 중심에서부터 상하좌우로 0.5mm 의 간격으로 0.2×0.2mm 의 범위를 측정하였고, 상하좌우 표면조도의 평균값을 그 결과로 사용하였다.

3.2 실험결과

일반적인 연삭가공방법과 이송속도제어기법을 활용하여 평면 성형용 코어를 각각 가공하였다. 형상정도가 표면조도에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 일반적인 연삭가공결과 0.099 μm 와 이송속도제어기법을 활용한 결과 0.093 μm 의 성형용 코어를 사용하여 표면조도를 비교하였다. Fig. 4 는 연삭가공결과를 각각 나타낸다.

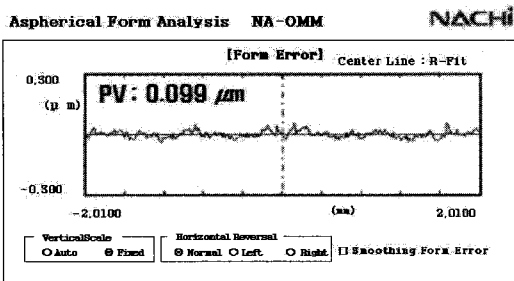


Fig. 4(a) Form accuracy of ground molding core by conventional method

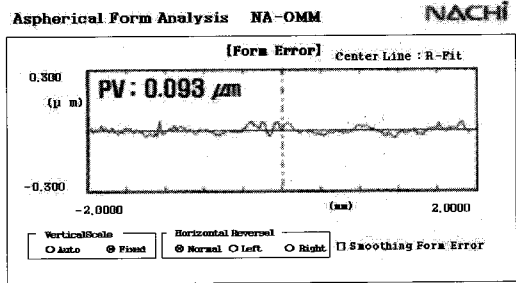


Fig. 4(b) Form accuracy of ground molding core by feedrate control method

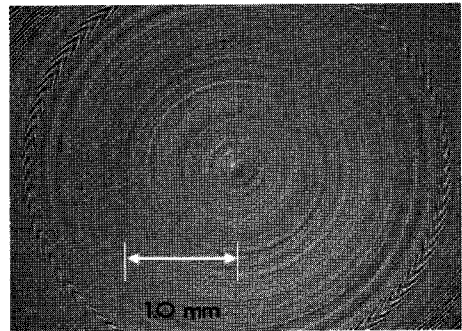


Fig. 5(a) Grinding result of molding core by conventional method

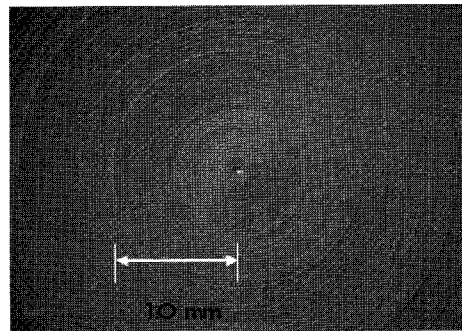


Fig. 5(b) Grinding result of molding core by feedrate control method

일반적인 연삭가공방법인 일정한 이송속도를 사용하여 연삭가공한 성형용 코어의 표면조도 측정 결과는 Fig. 5(a)에 나타난 바와 같다. 중심으로부터 반경위치가 커질수록 표면조도가 점점 높아지는 것을 확인하였다. 특히, 반경위치 1.7mm 를 지나면서 표면조도가 급격히 높아지는 것을 확인하였다. 그러나, Fig. 5(b)에 나타난 바와 같이 이송속도 제어기법을 활용하여 초정밀 연삭가공을 수행한 결과 반경위치가 커져도 표면조도가 일정함을

확인하였다. Fig. 5 와 Fig. 6 의 결과로부터 본 연구에서 제안한 이송속도 제어기법이 매우 유용함을 확인하였다. Fig. 5 와 Fig. 6 은 성형용 코어의 공구 현미경 사진과 표면조도 측정결과를 각각 나타낸다.

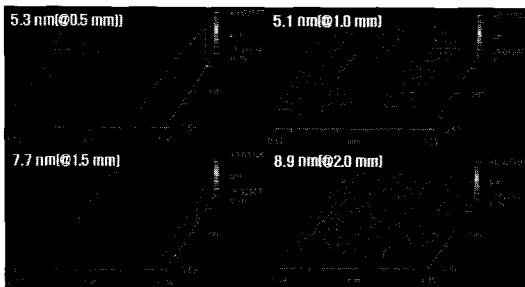


Fig. 6(a) Surface roughness of molding core using conventional method

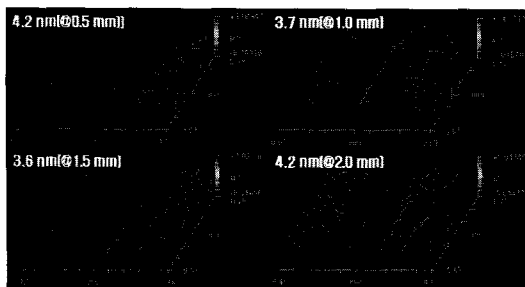


Fig. 6(b) Surface roughness of molding core using feedrate control

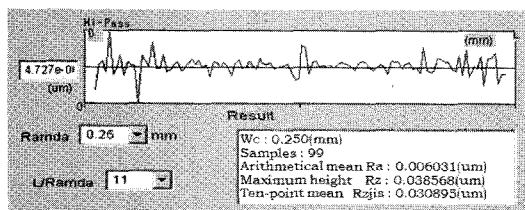


Fig. 7(a) Surface roughness of molding core using conventional method

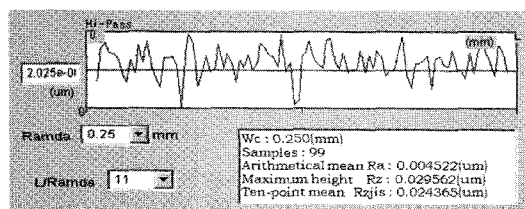


Fig. 7(b) Surface roughness of molding core using feedrate control

Table 2 는 일반적인 연삭가공방법과 이송속도 제어기법을 활용한 성형용 코어의 표면조도 측정결과를 나타낸다. Table 2 의 결과로부터 일반적인 연삭가공결과 성형용 코어 주변부로 이동하면서 표면조도가 점차적으로 증가함을 확인하였다. 그러나, 이송속도제어 기법을 활용함으로써 주변부와 중심부의 표면조도가 일정함을 확인하였다. 평면 성형용 코어 유효경($\phi 1.5\text{mm}$)에서의 표면조도가 종래의 연삭가공방법으로 연삭가공한 결과 6.0nm 에서 이송속도 제어기법을 활용하여 연삭가공을 수행한 결과 4.5nm 로 향상된 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 7 은 UA3P 로 측정된 유효경의 표면조도를 나타낸다.

Table 2 Surface roughness measurement results

Distance form center (r)	Surface roughness (nm)	
	Conventional method (0.5mm/min)	Feedrate control method (0.5~0.1mm/min)
0.5(0.4~0.6)	5.3	4.2
1.0(0.9~1.1)	5.1	3.7
1.5(1.4~1.6)	7.7	3.6
2.0(1.9~2.1)	8.9	4.2
2.3(2.2~2.4)	20.9	5.1

4. 결론

초경합금 성형용 코어의 표면조도 향상을 위하여 이송속도 제어기법을 적용하였다. 일반적인 연삭가공방법과 이송속도제어기법을 활용하여 평면 성형용 코어를 각각 가공하였다. 연삭가공결과 일반적인 연삭가공결과 0.099 μm 와 이송속도제어기법을 활용한 결과 0.093 μm 의 형상정도를 각각 얻었다. 일반적인 가공방법과 이송속도 제어기법을 활용하여 글라스 렌즈 성형용 코어(WC)를 각각 초정밀 연삭가공하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1) 종래의 일반적인 연삭가공방법으로 연삭가공을 수행한 결과 공작물의 중심에서 멀어질수록 표면조도가 나빠지는 것을 확인하였고, 본 연구에서 제안한 이송속도 제어기법을 활용하여 가공한 결과 성형용 코어의 표면조도 향상은 물론 가공면의 위치와 상관없이 일정한 표면조도를 얻을 수 있었다.

2) 평면 성형용 코어 유효경($\phi 1.5\text{mm}$)에서의 표

면조도가 종래의 연삭가공방법으로 연삭가공한 결과 6.0nm 에서 이송속도 제어기법을 활용하여 연삭가공을 수행한 결과 4.5nm 로 약 1.5nm 향상됨을 확인하여 본 연구에서 제안한 이송속도 제어기법을 활용한 연삭가공이 유효함을 확인하였다.

후 기

이 논문은 2007 년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2007-355-D00001)

참고문헌

1. Suzuki, H., Kodera, S., Nakasuji, T., Ohta, T. and Syoji, K., "Precision Grinding of Aspherical CVD-SiC Molding Die," International Journal Japan Society for Precision Engineering, Vol. 32, No. 1, pp. 25-30, 1998.
2. Hyun, D. H. and Lee, S. J., "A Study on Grinding Characteristics of Aspherical Glass Lens Core of High-pixel Digital Camera in Diamond Grinding Process," Transactions of the Korean Society of Machine Tool Engineers, Vol. 12, No. 2, pp. 31-36, 2003.
3. Chen, M. J., Li, D. and Dong, S., "Research on a large depth-to-diameter ratio ultra-precision aspheric grinding system," Journal of Materials Processing Technology, Vol. 129, Issues 1-3, pp. 91-95, 2002.
4. Kim, H. U., Jeong, S. H., Park, Y. P., Kim, S. S., Kim, H. H. and Kim, J. H., "DLC Coating Effect of WC Mold Surface for Glass Molding Lens," The Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 19, No. 11, pp. 1050-1053, 2006.
5. Cha, D. H., Kim, H. J., Kim, H. U., Kim, S. S., Park, Y. P. and Kim, J. H., "Fabrication and Optical Evaluation of Aspheric Glass Lenses," International Journal of the Optical Review, Vol. 14, No. 3, pp. 145-150, 2007.
6. Kim, H. T., Yang, H. J. and Kim, S. C., "Control Method for the Tool Path in Aspherical Surface Grinding and Polishing," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 7, No. 4, pp. 51-56, 2006.
7. Lee, J. S., Saeki, N., Kuriyagawa, T. and Syoji, K., "A Study on the Mirror Grinding for Mold of a Small Aspherical Lens," International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, Vol. 4, No. 3, pp. 48-54, 2003.
8. Chen, W. K., Kuriyagawa, T., Huang, H. and Yosihara, N., "Machining of micro aspherical mould inserts," Precision Engineering, Vol. 29, No. 3, pp. 315-323, 2005.
9. Huang, H., Chen, W. K. and Kuriyagawa, T., "Profile error compensation approaches for parallel nanogrinding of aspherical mould inserts," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 47, Issue 15, pp. 2237-2245, 2007.
10. Lee, E. S. and Baek, S. Y., "A study on optimum grinding factors for aspheric convex surface micro-lens using desing of experiments," International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 47, Issues 3-4, pp. 509-520, 2007.