

# Feedrate Control에 의한 초경코어의 표면조도 향상에 관한 연구 A Study on Improve of WC Core Surface roughness by Feedrate Control

\*김현욱<sup>1</sup>, 정상화<sup>2</sup>, 김상석<sup>3</sup>, 김혜정<sup>3</sup>, #김정호<sup>3</sup>

\*H. U. Kim<sup>1</sup>, S. H. Jeong<sup>2</sup>, S. S. Kim<sup>3</sup>, H. J. Kim<sup>3</sup>, #J. H. Kim<sup>3</sup> (kimjh@kopti.re.kr)

<sup>1</sup> 조선대학교 대학원 기계공학과, <sup>2</sup> 조선대학교 기계공학과, <sup>3</sup> 한국광기술원 초정밀광학팀

Key words : Tungsten Carbide(WC), Feedrate control, Surface roughness(Ra)

## 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].

이러한 비구면 Glass 렌즈의 제작방법에는 초경합금 소재의 성형용 코어를 사용하여 고온압축 성형하는 방법과 구면 Glass 렌즈를 연삭을 통하여 직접 가공하는 방법이 있다. 최근에는 생산단가의 감소와 대량생산을 위하여 성형용 코어를 활용한 고온압축 성형방식이 적용되는 추세이다[2,3].

한편, 비구면 Glass 렌즈 성형용 금형코어로서 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.

본 연구에서는 비구면 Glass 렌즈 성형용 코어(WC)의 연삭가공을 위해 소구경 연삭가공에 적합한 페러렐 연삭법으로 초정밀 연삭가공을 수행하였다. 최종적으로 기존 가공방식으로 가공된 결과와 이송속도 제어기법(Feedrate control)을 이용하여 가공된 결과를 비교, 평가하였다.

## 2. 초정밀 연삭 모델

페러렐 연삭가공 모델링은 Fig. 1과 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 1회전당 공작물 원주방향 이송량  $V_c(mm/min)$ 는 다음과 같다.

$$V_c = \frac{\pi D \omega_1}{\omega_2} = \frac{2\pi r \omega_1}{\omega_2} \quad (1)$$

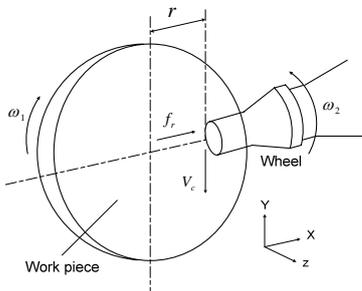


Fig. 1 Geometric modeling of parallel grinding

공작물의 1회전당 연삭숫돌이 공작물의 반경방향으로 이동하는 속도  $f_r(mm/rev)$ 은 식(2)와 같다.

$$f_r = \frac{f_x}{\omega_1} \quad (2)$$

여기에서  $f_x(mm/min)$ 는 연삭숫돌의 이송속도(Feedrate)이다.

다음으로 공작물과 접촉기능영역에 있는 작용 연삭숫돌 입자수를  $N_g$ , 1개의 입자에 의한 평균 연삭흔적의 길이를  $l_{am}$  라 하면, 공작물상의 원주방향에 미치는 연삭입자(Abrasive)흔적의

피치  $P$ 는 다음과 같다.

$$P = \frac{V_c f_r}{N_g l_{am}} \quad (3)$$

식 (1), (2), (3)으로부터 다음식을 나타낼 수 있다.

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

$\delta_g$ 는 연삭표면에 작용하는 연삭입자의 밀도이고,  $A(mm^2)$ 가 연삭 휠과 공작물의 접촉면적이면 연삭과정에 작용하는 입자의 수  $N_g$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$N_g = A \delta_g \quad (5)$$

입자 집중도에 의해서 결정되는  $\delta_g$ 와  $A$ 가 연삭과정에서 일정하다고 가정하면  $N_g$ 는 일정하다.

연삭숫돌 표면에 연삭입자의 날 끝 평균각도를  $\theta$ 라 하고 연삭 입자의 형상이 공작물 표면에 그대로 전사된다고 가정하면 공작물의 표면거칠기( $R_y$ )는 다음식으로 표시된다.

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

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

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

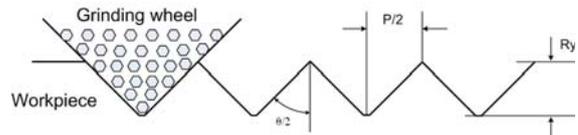


Fig. 2 Influence of x-direction feedrate on the surface roughness

식 (7)로부터 연삭에 작용하는 연삭입자의 수, 주축회전속도와 이송속도( $f_x$ )가 일정하다면 공작물의 표면조도는 공작물의 반경위치에 비례하여 영향을 받는다. 본 연구에서는 피삭재의 반경위치에 상관없이 이송속도를 일정하게 유지할 수 있는 이송속도 제어를 적용한 연삭가공을 수행함으로써 성형용 코어의 표면조도를 향상시켰다.

## 3. 실험 및 결과

### 3.1 실험장치 및 실험방법

본 연구에서는 비구면 Glass 렌즈 성형용 코어(WC) 가공을 위해 초정밀 연삭가공이 가능한 초정밀가공기(일본, Nachi社, ASP01)를 사용하였다. 초정밀가공기는 2개의 유정압 슬라이드가 직교형태로 구동하고, 유정압 베어링에 의한 B축 Rotary table, 공기 터빈스핀들이 장착되어 비구면 가공이 가능한 초정밀가공기이다. 안내면의 위치정밀도는 1 nm의 정도를 가지며, 최대허용가공직경은  $\phi 150 mm$ 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 3차원 표면조도 측정기(미국, Zygo社, NewView5000)를 사용하였다. 그림 3은 초정밀가공기와 3차원 표면조도 측정기를 각각 나타낸다.



(a) Micro lens processing machine (b) 3D surface measurement system

Fig. 3 Micro lens processing machine and 3D surface measurement system

본 연구에서는 3Mega pixel 2.5배 Zoom 카메라폰 모듈에 사용되는 비구면 Glass 렌즈 성형용 코어를 가공하기 위해 실험계획법을 적용하여 최적 연삭가공조건을 구하였다. 초경합금(WC, Co 0.5%)을 소재로 선택하였으며, 다이아몬드 휠 메쉬 2000을 사용하여 연삭가공을 수행하였다. Table 1은 실험을 통하여 구한 초경합금의 최적연삭가공조건을 나타낸다.

Table 1 Optimal grinding conditions of tungsten carbide(WC)

|                 |               |
|-----------------|---------------|
| wheel           | SD2000P120B97 |
| Turbine spindle | 35000 rpm     |
| Work spindle    | 350 rpm       |
| Depth of cut    | 0.3 μm        |
| Feedrate        | 0.5 mm/min    |

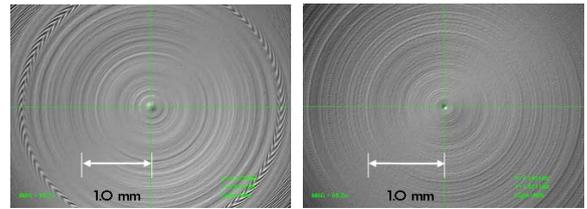
이송속도 제어기법에 의한 연삭가공결과를 확인하기 위하여 공작물 반경위치에 따라 이송속도가 0.5 mm/min에서 0.1 mm/min 까지 변화하는 NC program을 프로그래밍하였고, 이를 사용하여 성형용 코어를 초정밀 연삭가공하였다. 연삭가공 후, 성형용 코어의 표면조도 측정은 중심에서부터 상하좌우로 0.5 mm 씩 이동하면서 0.2x0.2 mm의 범위에서 측정하여 평균값을 그 결과로 이용하였다.

3.2 실험결과

기존의 연삭가공방법인 일정한 이송속도를 사용하여 연삭가공한 결과에서 중심으로부터 반경위치가 커질수록 표면조도가 점점 높아지는 것을 확인하였다. 특히, 반경위치 1.7 mm를 지나면서 표면조도가 급격히 높아지는 것을 확인하였다. 그러나, 이송속도 제어기법을 활용하여 초정밀 연삭가공을 수행한 결과 반경위치가 커져도 표면조도의 변화는 거의 없는 것을 확인하였다. Table 2는 일정한 이송속도와 이송속도 제어기법을 활용한 성형용 코어의 표면조도 측정결과를 나타낸다. 그림4와 5는 성형용 코어의 공구현미경 사진과 중심에서 2.0mm 부근의 표면조도 측정결과를 각각 나타낸다.

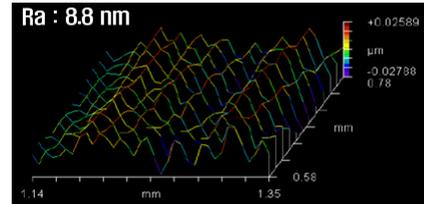
Table 2 Surface roughness measurement results

| r(mm)        | Surface roughness(nm)           |                                      |
|--------------|---------------------------------|--------------------------------------|
|              | Constant feedrate<br>0.5 mm/min | Feedrate control<br>(0.5~0.1 mm/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                                  |

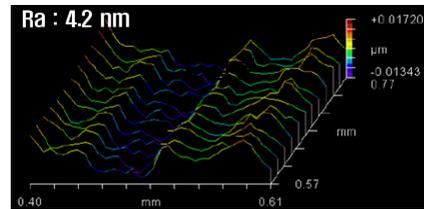


(a) constant feedrate (b) feedrate control

Fig. 4 Photo of molding core(plane)



(a) Result of constant feedrate



(b) Result of feedrate control

Fig. 5 Surface roughness of molding core(@2.0mm)

4. 결론

초경합금 성형용 코어의 표면조도 향상을 위하여 이송속도 제어기법을 활용하여 Glass 렌즈 성형용 코어(WC)를 초정밀 연삭가공한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 종래의 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 표면조도 값을 가지고 있음을 알 수 있었다.
2. 성형용 코어 유효경(φ1.5 mm)에서의 표면조도가 종래의 연삭가공방법으로 연삭가공한 결과 6.0 nm에서 이송속도 제어기법을 활용하여 연삭가공을 수행한 결과 4.5 nm로 약 1.5 nm 향상됨을 확인하여 이송속도 제어기법을 활용한 연삭가공이 유효함을 확인하였다.

참고문헌

1. Hirofumi SUZUKI, Sunao KODERA, Tomoaki NAKASUJI, Tsutomu SHTA and Katsuo SYOJI, " Precision Grinding of Aspherical CVD-SiC Molding Die", Japan Soc. Prec. Eng., Vol. 32, No. 1, 25-30, 1999
2. D. H. Hyun, S. J. Lee, "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, 31-36, 2003
3. E. S. Lee, S. Y. Baek, "A study on optimum grinding factors for aspheric convex surface micro-lens using desing of experiments", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol 47, 509-520, 2007