

DLC 및 Re-Ir 코팅에 의한 성형용 코어면의 코팅 효과

Coating Effect of Molding Core Surface by DLC and Re-Ir Coating

김현욱¹, 차두환¹, 이동길¹, 김상석¹, 김혜정¹, 김정호¹
Hyun Uk Kim¹, Du Hwan Cha¹, Dong Kil Lee¹, Sang Suk Kim¹, Hye Jeong Kim¹ and 김정호¹

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

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

Manuscript received: 2008.3.4 / Revised: 2008.9.1 / Accepted: 2008.9.1

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 and coating technology for the molding core surface are required.

This study investigates the effect of diamond-like carbon (DLC) and rhenium-iridium (Re-Ir) coating for aspheric molding core surface. The grinding conditions of the tungsten carbide molding core were obtained by design of experiments (DOE) for application in the ultra precision grinding process of the tungsten carbide molding core of the aspheric glass lens used in 5 megapixel, 4x zoom camera phone modules. A tungsten carbide molding core was fabricated under this grinding condition and coated with the DLC and Re-Ir coating. By measurements, the effect of DLC and Re-Ir coating on the form accuracy and surface roughness of molding coer was evaluated.

Key Words: Aspheric Glass Lens(비구면 유리 렌즈), Diamond-like Carbon (DLC, 다이아몬드 상 카본), Form Accuracy (PV, 형상정도), Surface Roughness (Ra, 표면조도), Tungsten Carbide (WC, 초경합금)

1. 서론

최근 비구면 글라스 렌즈는 구면렌즈에서 해결이 어려운 결상저해요소(구면수차, 왜곡수차 등)를 극소화하거나 제거할 수 있는 장점으로 인하여 광학계에서 사용빈도가 점점 높아지고 있는 실정이다. 특히, 고화질 초소형 카메라폰의 수요가 증가하면서 Plastic 렌즈 또는 구면 글라스 렌즈만으로는 요구되는 광학적 성능 구현이 힘들기 때문에 비구면 글라스 렌즈에 대한 요구가 증가하고 있다. 비구면 글라스 렌즈는 초경합금 성형용 코어를 이용한 고온 압축 성형방식으로 제작되어지기 때문에 코어면의 초정밀 연삭가공 및 코어면 코팅기술

에 관한 연구가 매우 활발히 진행되고 있다.¹⁻³

글라스 렌즈 성형분야에서 초경합금의 성형용 코어면 DLC 코팅 및 Re-Ir 코팅은 성형공정 시 글라스 렌즈와 성형용 코어와의 이형성 향상 및 성형용 코어 수명향상을 위해 주목받고 있는 기술분야이다. 다이아몬드상 탄소 (Diamond-Like Carbon; DLC) 코팅은 고경도, 고탄성, 내마모성, 화학적 안정성을 가지기 때문에 다양한 분야에서 많은 연구가 이루어지고 있으며, 산업분야에서 광범위하게 적용되고 있다.⁴ 한편, Rhenium-Iridium(Re-Ir) 코팅은 주로 국내 글라스 렌즈 성형업체에서 고온에서의 내마모성, 내식성의 증대와 글라스 렌즈와의 이형성의 증가를 목적으로 사용하고 있는 일반적

코팅 방법이다.

본 논문에서는 비구면 글라스 렌즈 성형용 코어면 DLC 코팅과 Re-Ir 코팅이 성형용 코어면의 형상정도(PV)와 표면조도(Ra)에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 실험계획법을 적용하여 성형용 초경합금 코어의 연삭가공조건을 구하고, 이를 활용하여 5 메가픽셀, 4 배 줌 카메라폰 모듈용 비구면 글라스 렌즈 성형용 초경합금 코어를 초정밀 연삭가공하여 두벌의 성형용 코어를 제작하였다. 가공 완료된 성형용 코어의 가공면에 DLC 코팅과 Re-Ir 코팅을 각각 수행하고, 측정을 통하여 DLC 코팅과 Re-Ir 코팅이 성형용 코어의 형상정도와 표면조도에 미치는 영향을 평가하였다.

2. 실험방법

2.1 실험장치

본 연구에서는 비구면 글라스 렌즈 성형용 초경합금 코어 가공을 위해 초정밀 연삭가공이 가능한 초정밀가공기(ASP01, Nachi-Fujikoshi Co., Japan)를 사용하여 실험을 수행 하였다. 초정밀가공기는 2 개의 유정압 슬라이드(X, Z 축)가 직교 형태로 구동하는 3 축 가공기로서 유정압 베어링에 의해 구동되는 B 축 rotary table 에 공기 터빈 스피들이 장착되어 비구면 연삭가공이 가능한 초정밀가공기이다. 안내면의 위치정밀도는 1nm 의 정도를 가지며, 최대 가공 직경 150mm 의 공작물 가공이 가능하다. 안내면의 구동은 AC servo motor 에 의해 구동된다. 초정밀가공기는 클린룸 (Class 10,000)의 항온실 내에 설치되어져 환경온도를 22±1℃로 일정하게 유지하고, 진동에 의한 영향을 피하기 위하여 특수 설계된 제진대 위에 설치하였다.

초정밀가공기를 사용하여 가공 완료된 성형용 코어의 형상정도 및 표면조도 향상을 위해 비구면 폴리싱 가공기 (KRP-2200F, Kuroda Co., Japan)를 사용하여 폴리싱가공을 수행하였다. Fig. 1 은 초정밀가공기를 나타낸다.

가공 완료된 성형용 코어의 가공면 위에 DLC 코팅기 (NC400, Nanotech Co., Japan)와 Re-Ir 코팅기 (ATV-PVD, A-Tech Co., Korea)를 사용하여 DLC 코팅과 Re-Ir 코팅을 각각 수행하였다.

비구면 성형용 코어면의 형상정도(PV) 측정은 초정밀 자유곡면 3-D 형상 측정기(UA3P, Panasonic Co., Japan)를 사용하였으며, 표면조도(Ra)는 3 차원 표면조도 측정기(NewView5000, Zygo Co., USA)를

사용하였다.^{5,6} Fig. 2 는 초정밀 자유곡면 3-D 측정기와 3 차원 표면조도 측정기를 각각 나타낸다.

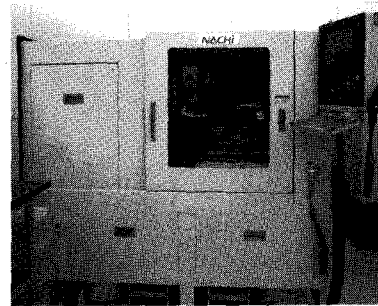


Fig. 1 Micro lens processing machine

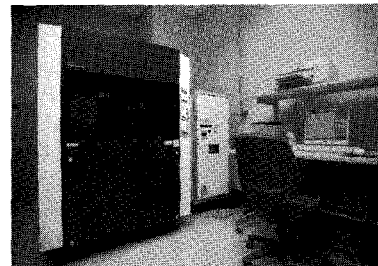


Fig. 2(a) Ultra high accurate 3-D profilometer



Fig. 2(b) Aspheric surface measurement system

2.2 실험방법

본 논문에서는 5 메가픽셀 4 배 줌 카메라폰 모듈의 광학설계에서, 글라스 렌즈를 제작하기 위하여 성형용 코어를 초정밀 연삭가공하였다. 비구면 글라스 렌즈는 볼록 비구면과 평면을 가지고있는 지름 4mm(유효경 3mm) 렌즈이다. 볼록 비구면의 광학식은 다음과 같은 식으로 표시된다.

$$Z = \frac{C \cdot x^2}{1 + \sqrt{1 - (1 + K) \cdot x^2}} + \sum_{i=1}^n A_i \cdot x^i \quad (1)$$

x 는 비구면 축으로부터의 수평 방향 거리이며 Z 는 비구면 축 방향의 위치이다. 여기에서 $K(=0.298)$ 는 원추정수이며 $C(=1/R; R=2.934mm)$ 는 비구면의 곡률 기준 반경을 나타내는 계수이다. $A_i (i=1 \sim n)$ 는 최적의 결상을 맺기 위한 비구면 계수이다.^{5,6}

성형용 초경합금 코어의 가공조건을 구하기 위하여 실험계획법 (Design of experiments; DOE)을 적용하였다.⁷

성형용 코어의 재료는 초경합금 (WC, Co 0.5%) 이고, 연삭가공에 사용된 톨은 메쉬 #2000, 레진본드로 집중도 125 로 결합된 다이아몬드 휠을 사용하였다. 특성치는 초정밀 가공 후의 표면조도(Ra) 값으로 하였으며, 연삭깊이, 이송속도, 주축회전속도 및 공작물회전속도 등을 인자로 2 수준 일부실시요인배치법(2⁴)을 적용하여 초정밀 연삭가공을 수행하였다. 초정밀 연삭가공 후의 표면조도(Ra) 측정결과는 실험계획법 상용프로그램인 MINITAB 를 이용하여 분석하였다. Table 1 은 실험계획법을 사용하여 구한 성형용 초경합금 코어 연삭가공조건을 나타낸다.

Table 1 Grinding conditions

Material	Tungsten Carbide; WC
wheel	# 2000
Turbine spindle speed	35,000rpm
Work spindle speed	350rpm
Depth of cut	0.1 μ m
Feedrate	0.25mm/min

실험계획법을 적용하여 구한 초경합금 연삭가공조건을 활용하여 두벌의 비구면 글라스 렌즈 성형용 코어의 초정밀 연삭가공을 수행하였다. 비구면 성형용 코어의 가공은 공구좌표 생성, 비구면 가공 및 측정, 보정가공으로 구분된다. 비구면 렌즈 형상의 좌표를 식(1)에 의하여 구한다. 구해진 경로를 NC 코드화하여 CNC 제어로 연삭가공을 수행하고 측정 및 보정가공을 통하여 원하는 형상정도를 얻었다.⁸

연삭가공된 성형용 코어는 형상정도(PV) 및 표면조도(Ra)향상을 위해 초정밀 폴리싱가공을 수행하였다. 가공 완료된 성형용 코어 중 성형용 코어

Fig. 3(a)의 가공면 위에 이온 증착법을 활용하여 SiC (20nm), DLC (80nm) 코팅을 순차적으로 각각 수행하였다. 또한, 성형용 코어 Fig. 3(b)에는 Magnetic sputter 법을 사용하여 Re-Ir (240nm) 코팅을 수행하였다. Fig. 3 은 DLC 코팅 및 Re-Ir 코팅막 구조와 DLC 및 Re-Ir 코팅된 성형용 코어를 각각 나타낸다.

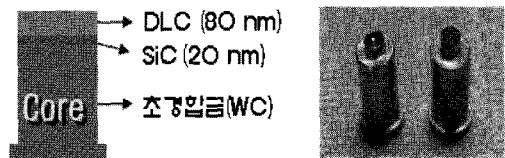


Fig. 3(a) DLC coating structure and DLC coated molding core

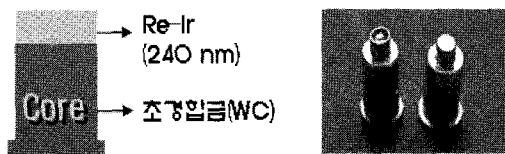


Fig. 3(b) Re-Ir coating structure and Re-Ir coated molding core

DLC 코팅 및 Re-Ir 코팅 전후 성형용 코어의 형상정도와 표면조도를 각각 측정하고 이를 평가하였다.

3. 실험결과

초경합금 연삭가공조건을 활용하여 초정밀 연삭가공한 두벌의 성형용 코어를 초정밀 자유곡면 3-D 측정기와 3 차원 표면조도 측정기로 각각 측정한 결과, 비구면 성형용 코어 형상정도는 각각 0.155 μ m와 0.153 μ m, 평면 성형용 코어 형상정도는 0.100 μ m와 0.105 μ m의 결과를 얻었으며, 비구면 성형용 코어 표면조도는 3.4nm 와 3.5nm, 평면 성형용 코어 표면조도는 1.9nm 와 2.0nm 의 결과를 얻었다. Fig. 4 와 Fig. 5 는 가공된 두 개의 평면 성형용 코어의 형상정도(PV) 및 표면조도(Ra) 측정결과를 각각 나타낸다.

초정밀 연삭가공을 수행한 성형용 초경코어의 가공면에 이온 증착법을 사용하여 DLC 코팅을 수행한 후 측정한 결과 형상정도 0.137 μ m(비구면)와

0.082 μm (평면), 표면조도 2.2nm(비구면)와 1.5nm(평면)의 결과를 얻었다. Fig. 6 은 DLC 코팅 후 평면 성형용 코어의 형상정도 및 표면조도에 대한 측정 결과를 각각 나타낸다.

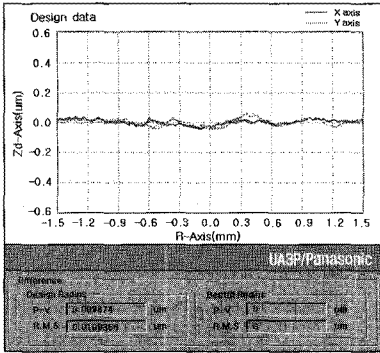


Fig. 4(a) Measurement result of form accuracy of plane molding core for DLC coating

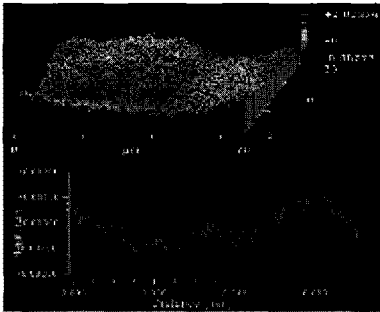


Fig. 4(b) Measurement result of surface roughness of plane molding core for DLC coating

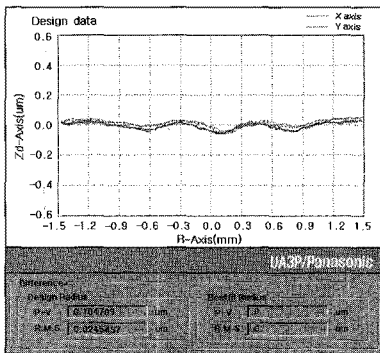


Fig. 5(a) Measurement result of form accuracy of plane molding core for Re-Ir coating

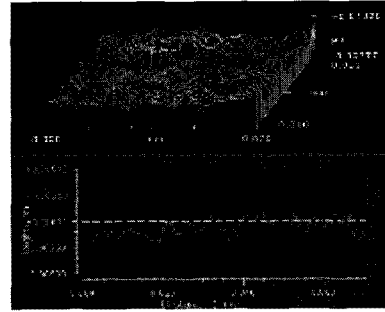


Fig. 5(b) Measurement result of surface roughness of plane molding core for Re-Ir coating

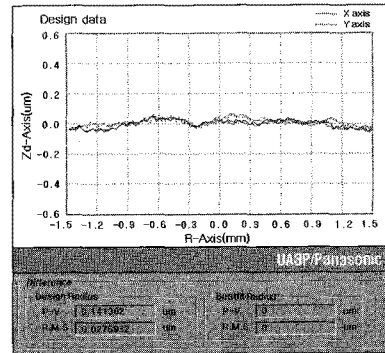


Fig. 6(a) Measurement result of form accuracy of DLC coated plane molding core

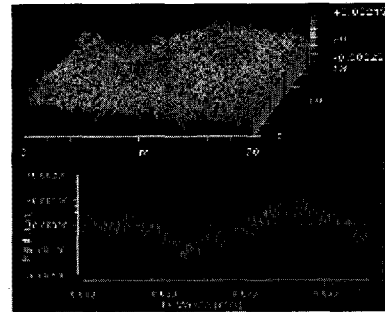


Fig. 6(b) Measurement result of surface roughness of DLC coated plane molding core

초정밀 연삭가공을 수행한 성형용 초경합금 코어의 가공면에 Magnetic sputter 법을 사용하여 Re-Ir 코팅을 수행한 후 측정된 결과, 형상정도 0.149 μm (비구면)와 0.097 μm (평면), 표면조도 3.0nm(비구면)와 1.8nm(평면)의 결과를 얻었다. Fig. 7 은 DLC 코팅 후 평면 성형용 코어의 형상정도 및 표면조도에 대한 측정결과를 각각 나타낸다. Table 2 는

DLC 및 Re-Ir 코팅 전후의 형상정도 및 표면조도 측정결과를 비교하여 나타낸다.

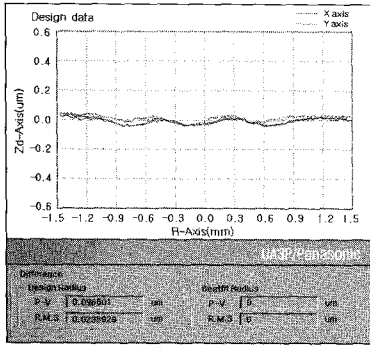


Fig. 7(a) Measurement result of form accuracy of Re-Ir coated plane molding core

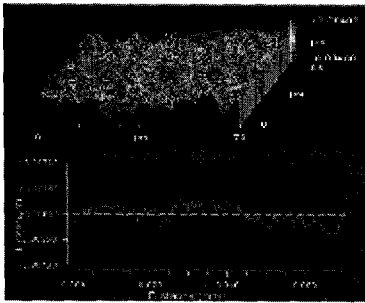


Fig. 7(b) Measurement result of surface roughness of Re-Ir coated plane molding core

Table 2 Measure result of form accuracy and surface roughness

	Form accuracy : PV (μm)		Surface roughness : Ra (nm)	
	Aspheric	Plane	Aspheric	Plane
DLC coating				
Before	0.155	0.100	3.4	1.9
After	0.137	0.082	2.2	1.5
Re-Ir coating				
Before	0.153	0.105	3.5	2.0
After	0.149	0.097	3.0	1.8

4. 결론

본 연구에서는 5 메가픽셀, 4 배 줌 카메라폰

모듈용 비구면 글라스 렌즈 개발을 목적으로 실험 계획법을 적용하여 성형용 초경코어의 최적연삭조건을 구하였고, 이를 활용하여 초정밀 연삭가공을 수행하였다. 가공된 성형용 초경코어의 가공면에 최근 관련분야에서 주목받고 있는 DLC 코팅과 Re-Ir 코팅을 각각 수행한 후, 코팅 전후 코어면의 형상정도 및 표면조도를 측정하고 결과를 비교, 평가하였다.

- 1) 성형용 초경코어면의 초정밀 연삭가공결과 형상정도 (PV; φ 3.0mm)는 형상정도(PV) 0.155 μm와 0.153 μm(비구면), 0.100 μm와 0.105 μm(평면)의 결과를 나타내었고, 표면조도 (Ra)는 비구면 성형용 코어에서 3.4nm와 3.5nm, 평면 성형용 코어에서 1.9nm와 2.0nm의 결과를 나타내었다.
- 2) DLC 코팅 후, 형상정도는 비구면에서 0.018 μm와 평면에서 0.018 μm, 표면조도는 비구면에서 1.2nm와 평면에서 0.4nm 향상된 결과를 얻었다.
- 3) Re-Ir 코팅 후, 형상정도는 비구면에서 0.004 μm과 평면에서 0.008 μm, 표면조도는 비구면에서 0.5nm와 평면에서 0.2nm 향상된 결과를 얻었다.
- 4) DLC 코팅과 Re-Ir 코팅의 결과에서 DLC 코팅이 Re-Ir 코팅 보다 형상정도와 표면조도에 미치는 영향이 크음을 알 수 있었다.
- 5) DLC 코팅과 Re-Ir 코팅 결과에서 형상정도와 표면조도가 향상됨을 알 수 있었고, 이러한 결과는 비구면 글라스 렌즈 성형렌즈의 광학적 성능 향상에도 유효할 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2007년 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 of Japan Society for Precision Engineering, Vol. 32, No. 1, pp. 25-30, 1998.
2. 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.

3. 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.
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. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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.