Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 19, No. 11, p. 1050, November 2006.

논 문 19-11-13

비구면 Glass 렌즈 성형용 초경합금(WC) 코어의 DLC 코팅 효과

DLC Coating Effect of WC Core Surface for Glass Molding Lens

김현욱[1], 정상화[1], 박용필[2], 김상석[3], 김혜정[3], 김정호[3,a]
(Hyun Uk Kim[1], Sang Hwa Jeong[1], Yong Pil Park[2], Sang Suk Kim[3], Hye Jeong Kim[3], and Jeong Ho Kim[3,a])

Abstract

There have been intensive and continuous efforts in the field of DLC coating process because of their feature, like high hardness, high elasticity, abrasion resistance and chemical stability and have been applied widely the industrial areas. In this research, optimal grinding condition was investigated using Microlens Process Machine for the development of aspheric glass lens which is to be used for mobile phone module with 3 mega pixel and 2.5X optical zoom, and tungsten carbide(WC) mold core was manufactured using high performance ultra precision machining and the effects of DLC coating on the form accuracy(PV) and surface roughness(Ra) of WC mold core was evaluated.

Key Words : Diamond-like carbon(DLC), Mold core, Glass mold pressing(GMP), Aspheric glass lens, Micro lens processing machine(ASP01), Tungsten carbide(WC)

1. 서 론

최근 고화질 카메라폰의 수요가 증가하면서 Plastic렌즈 또는 구면 Glass 렌즈만으로는 현실적으로 요구되고 있는 광학적 성능 구현이 힘들기 때문에 비구면 Glass렌즈의 필요성이 점차 증가하고 있다[1]. 이러한 비구면 Glass 렌즈는 일반적으로 초경합금 성형용 코어를 이용한 고온 압축 성형방식으로 제작되므로 코어면의 초정밀 연삭가공[2-5] 및 코어면 코팅기술 개발이 시급한 실정이다.

특히, 최근 Glass 렌즈 성형분야에서 초경합금의 성형용 코어면 DLC 코팅은 성형공정 시 Glass 렌즈와 성형용 코어와의 이형성 향상 및 성형용 코어 수명향상을 위해 주목받고 있는 기술분야[6]이다.

한편, 다이아몬드상 탄소(Diamond-Like Carbon, DLC) 코팅은 고경도, 고탄성, 내마모성, 화학적 안정성을 가지기 때문에[7] 다양한 분야에서 많은 연구가 이루어지고 있으며, 산업분야에서 광범위하게 적용되고 있다.

본 연구에서는 3 Mega Pixel, 2.5배 Zoom 카메라폰 모듈용 비구면 Glass 렌즈 개발을 목적으로 실험계획법(Design of Experiment : DOE)을 적용한 최적연삭조건을 개발하였다. 개발된 최적연삭가공조건을 활용하여 초정밀 연삭가공을 수행하여 성형용 초경코어(WC)를 가공하였다. 가공된 성형용 코어의 가공면 위에 이온 증착법을 활용하여 DLC 코팅을 수행, 측정을 통해 DLC 코팅이 성형용 코어의 형상정도(PV)와 표면조도(Ra)에 미치는 영향을 평가하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서는 Glass 렌즈 성형용 코어 가공을 위해 초정밀 연삭가공이 가능한 초정밀가공기(일본, Nachi社, ASP01)를 사용하였다. 본 가공기는 2개의 유정압 슬라이드가 직교 형태로 구동하는 3축 가공기로서 유정압 베어링에 의해 구동되는 B축 Rotary Table에 공기 터빈 스핀들이 장착되어 비구면 가공이 가능한 초정밀가공기이다. 안내면의

1. 조선대학교 기계공학과
2. 동신대학교 병원의료공학과
3. 한국광기술원 초정밀광학팀
(광주 북구 월출동 971-35)
a. corresponding author : kimjh@kopti.re.kr
접수일자 : 2006. 8. 9
1차 심사 : 2006. 10. 11
심사완료 : 2006. 10. 24

위치정밀도는 1 nm의 정도를 가지며, 최대 가공 직경 150 mm의 공작물 가공이 가능하다. 또한, 안내면의 구동은 AC Servo Motor에 의해 구동된다. 초정밀가공기는 크린룸(Class 10,000)의 항온실에 설치되어져 주변온도 22±1 ℃로 일정하게 유지하고, 진동에 의한 영향을 피하기 위해 특수 설계된 제진대 위에 설치하였다.

초정밀가공기를 사용하여 가공완료된 성형용 코어는 형상정도(PV) 및 표면조도(Ra)향상을 위해 비구면 폴리싱 가공기(일본, Kuroda社P, KRF-2200F)를 사용하여 폴리싱하였다. 그림 1과 그림 2는 초정밀가공기와 초정밀 비구면 폴리싱가공기를 각각 나타낸다.

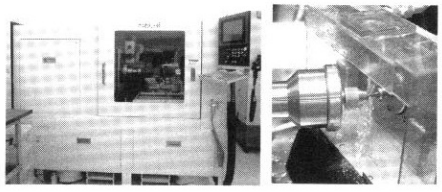


그림 1. 초정밀 가공기.
Fig. 1. Micro lens processing machine.

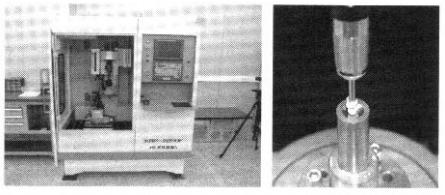


그림 2. 비구면 폴리싱 가공기.
Fig. 2. Aspherical polishing machine.

초정밀 연삭가공되어진 성형용 코어의 가공면에 이온 증착법으로 DLC 코팅(일본, Nanotech社, NC400)을 수행하였다. 그림 3은 DLC 코팅기와 코팅 개략도이다.

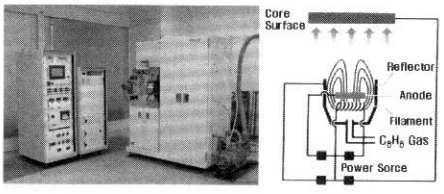
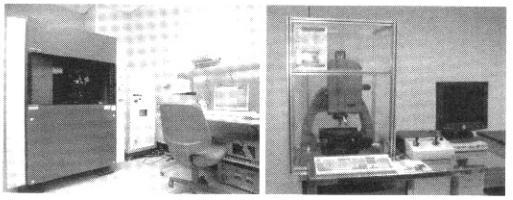


그림 3. DLC 코팅기 및 DLC 코팅 개략도[7].
Fig. 3. DLC coating machine and schematic diagram of DLC coating process.

비구면 성형용 코어면의 형상정도(PV) 측정은 원자간력을 사용하여 측정물 표면에 손상을 주지 않으며, 측정물 표면 반사도에 영향이 없는 초정밀 자유곡면 3-D 형상 측정기(일본, Panasonic社, UA3P)를 사용[8,9]하였다.

표면조도(Ra)는 3차원 표면조도 측정기(미국, Zygo社, NewView5000)를 사용하였다. 그림 4는 초정밀 자유곡면 3-D 측정기와 3차원 표면조도 측정기를 각각 나타낸다.



(a) 초정밀 자유곡면 3-D 형상 측정기
(a) Ultra High Accurate 3-D Profilometer

(b) 3차원 표면조도 측정기
(b) Aspheric Surface Measurement System

그림 4. 형상정도 와 표면조도 측정장비.
Fig. 4. Ultra high accurate 3-D profilometer and aspheric surface measurement system.

2.2 실험방법

본 연구에서는 실험계획법(Design of Experiment: DOE)[10]을 적용하여 Glass 렌즈 성형용 초경코어의 초정밀 연삭가공조건을 구하였다.

성형용 코어의 재료는 Tungsten Carbide(WC, Co 0.5 %)이고, 연삭가공에 사용된 Tool은 다이아몬드 휠 #2000을 사용하였다. 특성치는 초정밀 가공 후의 표면조도(Ra)값으로 하였으며, 연삭깊이, 이송속도, 주축회전속도 및 터빈회전속도 등을 인자로 2^4 요인배치법을 적용하여 가공결과를 측정·평가하였다. 초정밀 연삭가공 후의 표면조도(Ra) 측정결과는 실험계획법 상용프로그램인 MINITAB를 이용하여 분석하였다. 표 1은 2^4 요인배치법에 사용된 수준과 인자를 나타낸다.

표 1. 실험계획법 실험조건.
Table 1. Basic set of experiment conditions.

	Low Level	High Level
Turbine Spindle(rpm)	30,000	40,000
Work Spindle(rpm)	200	300
Feedrate(mm/min)	0.25	1.5
Depth of Cut(㎛)	0.1	1.0

실험계획법을 적용하여 구한 최적연삭가공조건을 활용하여 비구면 Glass 렌즈 성형용 코어의 초정밀 연삭가공을 수행하고 가공완료된 성형용 초경코어의 가공면 위에 이온 증착법을 활용하여 SiC(20 ㎛), DLC(80 ㎛) 코팅을 순차적으로 각각 수행한 후 DLC 코팅 전후의 성형용 코어의 형상정도(PV)와 표면조도(Ra)의 변화를 비교 · 검토 하였다. 그림 5에 DLC 코팅 성형용 초경코어 코팅막 구조와 코팅코어 사진을 나타낸다.

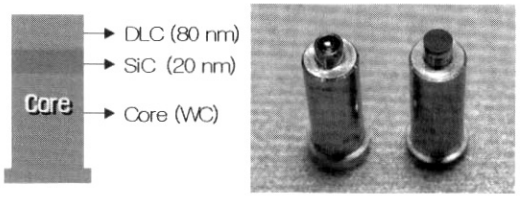


그림 5. 성형용 코어 코팅막 구조와 코팅 코어.
Fig. 5. Coating film structure and coating core for molding.

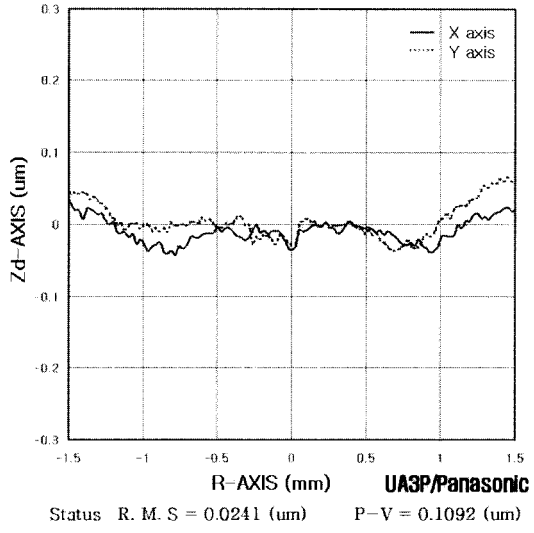
3. 실험결과 및 고찰

실험계획법을 이용해 Glass 렌즈 성형용 초경코어의 최적연삭가공조건을 구하였다. 개발된 성형용 초경코어의 최적연삭가공조건을 표 2에 나타낸다. 표 2는 각 인자에 따른 최적 연삭가공조건이다.

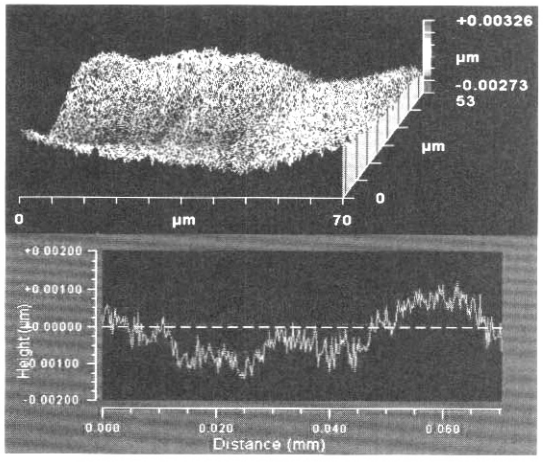
표 2. 초경합금의 최적가공조건.
Table 2. Optimal grinding conditions of tungsten carbide(WC).

Material	Tungsten Carbide, WC Diameter : 3.3 mm
Diamond Wheel	# 2000
Spindle Speed	300 rpm
Turbine Speed	30,000 rpm
Feedrate	0.25 mm/min
Depth of Cut	0.1 ㎛

최적연삭가공조건을 활용하여 초정밀 연삭가공한 성형용 코어를 초정밀 자유곡면 3-D 측정기와 3차원 표면조도 측정기로 측정한 결과 형상정도(PV) 0.203 ㎛(비구면)와 0.109 ㎛(평면), 표면조도(Ra) 3.4 nm(비구면)과 0.9 nm(평면)의 결과를 얻었다. 그림 6에 코팅 전 평면 성형용 코어의 형상정도(PV) 및 표면조도(Ra) 측정결과를 각각 나타낸다.



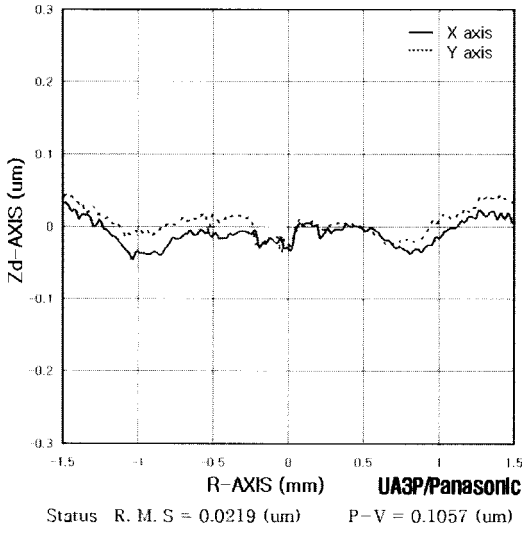
(a) 성형용 평면 코어 형상정도(PV)
(a) Form Accuracy of Plane Molding Core



(b) 성형용 평면 코어 표면조도(Ra)
(b) Surface Roughness of Plane Molding Core

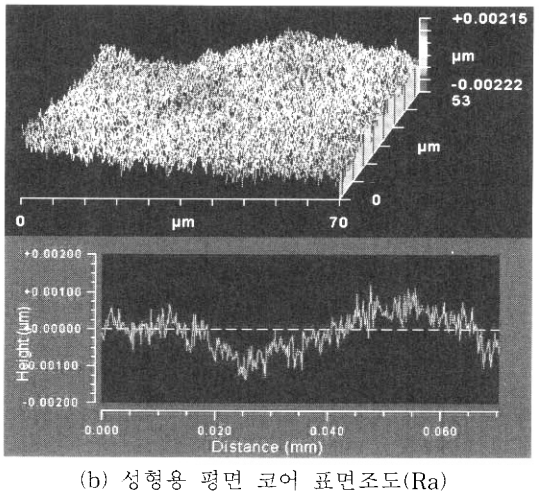
그림 6. DLC 코팅 전 성형용 코어 측정결과.
Fig. 6. Measurement results of bare core.

초정밀 연삭가공을 수행한 성형용 초경코어의 가공면에 그림 3에 나타낸 이온 증착법을 활용하여 DLC 코팅을 수행한 후 성형용 초경코어를 초정밀 자유곡면 3-D 측정기와 3차원 표면조도 측정기로 측정한 결과 형상정도(PV) 0.173 ㎛(비구면)와 0.106 ㎛(평면), 표면조도(Ra) 2.0 nm(비구면)와 0.5 nm(평면)의 결과를 얻었다. 그림 7에 DLC 코팅 후 평면 성형용 코어의 형상정도(PV) 및 표면조도(Ra)에 대한 측정결과를 각각 나타낸다.



(a) 성형용 평면 코어 형상정도(PV)

(a) Form Accuracy of Plane Molding Core



(b) 성형용 평면 코어 표면조도(Ra)

(b) Surface Roughness of Plane Molding Core

그림 7. DLC 코팅 후 성형용 코어 측정결과.

Fig. 7. Measurement results of DLC coating core.

DLC 코팅 전후 측정결과 성형용 코어 비구면 형상정도(PV)는 0.203 ㎛에서 0.173 ㎛, 표면조도(Ra)는 3.4 nm에서 2.0 nm로 향상됨을 보였다. 또한, 성형용 코어 평면 형상정도(PV)는 0.109 ㎛에서 0.106 ㎛, 표면조도(Ra)는 0.9 nm에서 0.5 nm로 향상됨을 알수 있었다. 성형코어의 DLC 코팅 전후 측정결과를 비교하여 표 3에 나타낸다.

표 3. 성형코어의 DLC 코팅 전후 측정결과.

Table 3. Comparison results with bare core of DLC coating core.

	형상정도 : PV(㎛)		표면조도 : Ra(nm)	
	비구면	평면	비구면	평면
코팅 전	0.203	0.109	3.4	0.9
코팅 후	0.173	0.106	2.0	0.5

4. 결 론

본 연구에서는 3 Mega Pixel, 2.5배 Zoom 카메라폰 모듈용 비구면 Glass 렌즈 개발을 목적으로 실험계획법을 적용하여 성형용 초경코어의 최적연삭조건을 구하였고, 이를 활용하여 초정밀 연삭가공을 수행하였다. 가공된 성형용 초경코어의 가공면에 최근 관련분야에서 주목받고 있는 DLC 코팅을 한 다음, 측정을 통하여 DLC 코팅이 성형용 코어의 형상정도(PV) 및 표면조도(Ra)에 미치는 영향을 비교 · 평가하였다.

성형용 초경코어면의 초정밀 연삭가공결과 형상정도(PV; φ 3.3 mm)는 0.203 ㎛(비구면)와 0.109 ㎛(평면), 표면조도(Ra)는 3.4 nm(비구면)와 0.9 nm(평면)인 반면, DLC 코팅을 행한 성형용 코어의 형상정도(PV)는 0.173 ㎛(비구면)와 0.105 ㎛(평면), 표면조도(Ra)는 2.0 nm(비구면)와 0.5 nm(평면)로 DLC 코팅으로 인해 성형용 초경코어의 형상정도(PV) 및 표면조도(Ra)가 향상됨을 알 수 있었다.

이상의 연구결과를 통하여 성형용 초경코어면의 DLC 코팅이 일반적으로 알려진 바와 같이 성형용 코어와 Glass 렌즈의 이형성 및 코어수명향상을 위해 주로 사용되어짐은 물론 코어면의 형상정도(PV)와 표면조도(Ra)의 향상에도 영향을 주어 비구면 Glass 렌즈 제작 시 성형렌즈의 광학적 성능 향상에도 유효함을 알 수 있었다

감사의 글

본 연구는 산업자원부 중점기술개발사업(과제번호 : 10018048)의 지원에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

[1] L. Michaud, J.-P. Tchang, C. Baril, and J. Gresset, "New perspectives in monovision-A study comparing aspheric with disposable lenses", International Contact Lens Clinic, Vol. 22, No. 90, p. 203, 1995.

[2] T. Kuriyagawa, M. Saeed, S. Zahmaty, and K. Syoji, "A new grinding method for aspheric ceramic mirrors1", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 62, No. 4, p. 387, 1996.

[3] H. Suzuki and S. Kodera, "Precision grinding of aspherical CVD-SiC molding die", Journal of the Japan society for precision engineering, Vol. 64, No. 4, p. 619, 1998.

[4] 김병근, 이경섭, 정상화, 김상석, 김혜정, 김정호, "레이저 주사광학계용 F-theta 렌즈", 한국전기전자재료학회 학술대회논문집, p. 459, 2005.

[5] 김상석, 김현욱, 정상화, 김혜정, 김정호, "레이저 빔 프린터용 F-theta lens 개발", 전기전자재료학회논문지, 19권, 4호, p. 386, 2006.

[6] H. Hanyu, S. Kamiya, Y. Murakami, and Y. Kondoh, "The improvement of cutting performance in semi-dry condition by the combination of DLC coating and CVD smooth sorface diamond coating", Surface and Coatings technology, Vol. 200, No. 14, p. 1137, 2005.

[7] Technical Report of Nanotech Co. LTD, "Introduce of Nanotech", Nanotech Co. LTD, 2005.

[8] H. Tsutsumi, K. Yosizumi, and H. Takeuchi, "Presentation of Ultrahigh Accurate 3-D Profilometer and Case Examples of Measurement", Presentation of Matsushita Electronic Industrial Co. LTD, 2002.

[9] K. Yoshizumi, H. Kubo, H. Takeuchi, K. Handa, and T. Kassal, "Ultra Accurate 3-D profilometer using atomic force probe measure nanometer", Journal of the Japan society for precision engineering, Vol. 68, No. 3, p. 361, 2002.

[10] N. Alagumurthi, K. Palaniradja, and V. Soundararajan, "Optimization of grinding process through design of experiment(DOE)", Materials and Manufacturing Processes, Vol. 21, No. 1, p. 19, 2006.