

## 초경합금에 FVAS로 코팅한 DLC 박막의 특성

천민우<sup>1</sup>, 박용필<sup>1,a</sup>, 김태곤<sup>2</sup>, 이호식<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 동신대학교 병원의료공학과

<sup>2</sup> 동신대학교 대학원 전기전자공학과

### Characteristic of DLC Thin Film Fabricated by FVAS Method on Tungsten Carbide

Min-Woo Cheon<sup>1</sup>, Yong-Pil Park<sup>1,a</sup>, Tae-Gon Kim<sup>2</sup>, and Ho-Shik Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Department of Biomedical Engineering, Dongshin University, Naju 520-714, Korea

<sup>2</sup> Department of Electrical and Electronic Engineering, Graduate School, Dongshin University, Naju 520-714, Korea

(Received August 22, 2011; Revised September 9, 2011; Accepted September 14, 2011)

**Abstract:** An optical lens is usually produced in the manner of high temperature compression molding with tungsten carbide alloy molding cores, it is necessary to develop and study technology for super-precision processing of molding cores and coating the core surface. As main methods used in surface improvement technologies using thin film, DLC present high hardness, chemical stability, and outstanding durability of abrasion to be extensively applied in various industrial fields. In this study, the effect of DLC coating of a thin film by means of the FVAS (filtered vacuum arc source) analyzed the characteristics of thin film. Surface roughness before and after DLC coating was measured and the result showed that the surface roughness was improved after coating as compared to before coating. In conclusion, it was observed that DLC coating of the ultra hard alloy core surface for molding had an effect on improving the surface roughness and shape of the core surface. It is considered that this will have an effect on improving abrasion resistance and the service life of the core surface.

**Keywords:** Tungsten carbide, Diamond liked carbon, Thin film, Filtered vacuum arc source

#### 1. 서론

모바일 시장의 확장으로 인해 휴대 단말기용 카메라 모듈, 디지털 카메라, 광통신 모듈용 렌즈 등 광학기기 시장이 급속도로 발전하고 있다 [1,2]. 광학기기에 사용되는 렌즈의 경우 기존의 플라스틱 렌즈 또는 구면 렌즈만으로는 원하는 고품질의 광학 성능을 기대하기 힘들다. 따라서 광학성능 개선을 위해 우수한

광학 특성을 지닌 유리 소재를 바탕으로 lanes assay 시 발생하는 각종 수차에 의한 오차가 적은 비구면 렌즈를 제작해 사용하고 있다 [3]. 일반적으로 glass를 이용한 비구면 렌즈의 제작에는 glass 소재를 고온 고압에서 압축시켜 생산하는 고온 압축 성형방식 (glass molding press, GMP)을 사용하며 [4] 원하는 광학적 구조를 생성하기 위해 코어를 이용한다. glass 렌즈의 성형에 사용되는 코어는 고온 고압에서 높은 경도 및 내마모성이 우수해야 하므로 일반적으로 초

a. Corresponding author; yppark@dsu.ac.kr

경합금을 주로 사용한다. 하지만 사용되는 glass 소재의 특성 및 성형 조건에 따라 접촉면에서 발생하는 화학적 변화와 높은 온도 및 압력에 의해 발생하는 이형성 감소에 따른 수명 저하 문제가 큰 단점으로 대두되고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해서는 초경합금 표면에 양질의 박막 형성이 필수적이며 이를 위해 많은 연구가 진행되고 있다 [5]. 이처럼 박막을 이용한 코어 표면 개선 기술에 대표적으로 사용되는 DLC (diamond liked carbon)는 물리화학적 특성이 다이아몬드와 유사하고 박막 생성이 용이해 기계 부품, 공구, 광학기기, 전자 부품 및 의료용 기기 등의 많은 분야에 적용되고 있다 [6]. 특히, 렌즈 성형에 사용되는 코어는 이형성 및 수명 향상을 위해 성형면에 고경도, 내마모성, 화학적 안정성 등의 우수한 박막의 코팅이 필요로 하므로 DLC 코팅은 필수적이라 할 수 있다 [7,8].

따라서 본 연구에서는 비구면 glass 렌즈의 성형에 사용되는 초경합금에 FVAS (filtered vacuum arc source)를 이용하여 DLC 박막을 코팅 한 후 표면 특성을 분석하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 Tungsten carbide 소재의 연삭가공

본 연구에서는 직경 15  $\phi$ 의 tungsten carbide (FB01, DIJET社, Japan)를 증착용 지그의 크기를 고려해 1 cm 두께로 절단하여 사용했다.

Glass 렌즈는 성형 시 사용되는 tungsten carbide의 표면 형상 정도 및 표면 거칠기 등에 의해 광학적 성질에 큰 차이가 발생한다.

Table. 1. Grinding conditions.

Material	Tungsten carbide, Diameter : 15 $\phi$
Diamond paste(Mash)	#2,000
Turbine speed	35,000 rpm
Work speed	350 rpm
Feed rate	0.25 mm/min

따라서 사용되는 tungsten carbide 소재의 표면을 폴리싱 가공기 (KRP-2200F, Kurda Co., Japan)를 사용해 표면을 폴리싱한 후 박막을 코팅하였다. tungsten carbide는 경도가 매우 높아 일반적인 연마지를 사용한 폴리싱이 불가능하다. 따라서 다이아몬드 플레이트를 사용해 습식연마를 하였으며 표 1에 그 조건을 나타냈다. 연마된 tungsten carbide 시편의 표면에 잔류하는 유기물 및 불순물을 제거한 후 DLC 박막 증착 전의 표면 특성을 평가하였다.

### 2.2 DLC 박막 코팅

DLC는 다이아몬드와 비슷한 물성을 지니며 이온주입법 (ion implantation), RPECVD (resonance plasma enhanced CVD), CVD (chemical vapor deposition) 등의 다양한 방법으로 제조가 용이해 산업적으로 많은 응용 가능성이 제시되고 있다 [9]. 하지만 금속 소재와의 밀착성이 낮고, 낮은 온도에서 산화가 일어나는 단점을 지닌다. 이러한 단점을 보완 하고자 FVAS (filtered vacuum arc source)를 사용해 [10,11] tungsten carbide 소재에 DLC 박막을 코팅하였다.

FVAS는 DLC 박막의 기본 증착 물질인 탄소를 음극에 배치하고 상부에 위치한 ignitor로 아크 방전을 만들어 탄소 이온을 발생시킨다. 생성된 이온들의 효율적인 이송 및 arc 제어를 위해 자기장이 형성되도록 하였다. 자기장의 형성은 source 상단부와 하단부에 위치한 양극 코일과 음극 코일을 사용하여 형성시키며 코일에 인가되는 전압을 조절하여 arc의 이동 방향을 조절할 수 있어 음극 표면에서 발생하는 아크의 안정적인 제어가 가능하다. 발생된 플라즈마의 수송 및 arc source에서 흔히 발생하는 거대입자 (macro particle)를 제거하기 위해 별도의 magnetic filter tube를 이용했다. magnetic filter tube는 탄소 이온을 기관까지 대량으로 수송하기 위해 자장을 공급하는 EM (extraction magnet), 하전입자를 출구까지 유도하는 BM (bending magnet) 그리고 진공을 유지하여 외부와 차단될 수 있도록 플라즈마 덕트로 구성되어 있다. 또한 magnetic filter tube의 출력부는 하전 입자 (charged particle)의 기관 분포 및 방향을 조절하는 OM (out magnet)과 플라즈마를 진동시킬 수 있는 래스터 (raster)로 구성되어 있다. 본 연구에서는 연삭 가공된 tungsten carbide 표면에 FVAS를 이용하여 140 nm 두께의 DLC 박막을 형성하였다.

### 3. 결과 및 고찰

균일한 DLC 박막 코팅이 형성되었는지 확인하기 위해 DLC 박막 코팅 전과 후의 시편을 EDAX 분석을 하였다. 그림 1에 tungsten carbide와 DLC 박막 코팅 후 표면의 EDAX 분석 결과를 나타냈다. tungsten carbide계 초경합금은 일반적으로 금속의 탄화물 분말을 소성해서 제작된다. 실험에 사용한 tungsten carbide 시편의 성분 분석 결과 C성분, 23.91%, O성분 10.55%, Co성분 7.45%, Sr성분 2.91%, W성분 55.17%로 나타났다. Tungsten carbide 시편 위에 DLC 박막 코팅 후 분석에서는 C성분 70.66%, Co성분 5.43%, W성분 23.91%가 검출되었다. 이는 시편에 DLC 박막이 균일하게 코팅되어 주성분인 C성분이 증가하고 코팅 전의 tungsten carbide 성분들이 감소 혹은 검출되지 않는 것으로 판단된다.

그림 2는 연삭 가공된 tungsten carbide 시편과 DLC 코팅 후 표면을 주사전자 현미경 (scanning electron microscopy, SEM)으로 획득한 이미지를 나타냈다.

그림 2(a)는 DLC 박막 코팅 전 연삭 가공된 tungsten carbide 시편으로 다수의 미세한 요철이 관찰되었다. 그림 2(b)는 FVAS를 이용해 140 nm의 DLC 박막을 코팅한 이미지로 표면의 미세한 요철이 확연히 감소한 것을 확인할 수 있었다.

AFM (atomic force microscopy)과 3차원 표면 조도 측정기를 이용해 표면 거칠기와 형상 정도를 측정하였다. AFM (XE-200, PSIA corp社, Korea)으로 표면에 대한 측정 시 damage를 최소화하기 위해 비접촉 모드를 사용해 X축과 Y축 각각 60  $\mu\text{m}$ 를 측정하였다. 그림 3에 DLC 박막의 생성 전과 후의 AFM 측정 결과를 나타냈다. DLC 박막 코팅의 경우 코팅 전 표면 평균 거칠기는 25.522 nm이었으며 코팅 후 15.085 nm로 향상되었다. 이는 DLC 박막 코팅으로 표면에 형성되어 있던 미세한 요철이 감소하면서 표면 거칠기가 향상된 것으로 판단된다.

DLC 박막 코팅의 표면 형상 정도를 측정하기 위해 3차원 표면 조도 측정기 (Newview 5000, Zygo社, USA)를 사용하였다. 3차원 표면 조도 측정기는 측정하고자 하는 미세한 표면 형상을 광 간섭의 원리를 이용해 비접촉식으로 국부의 형상을 측정할 수 있어 활용도가 다양하다. tungsten carbide 시편과 DLC 박막 코팅 시편을 동일한 조건으로 측정하였다. 그림 4에 Newview 5,000을 이용한 형상정도 측정 결과를

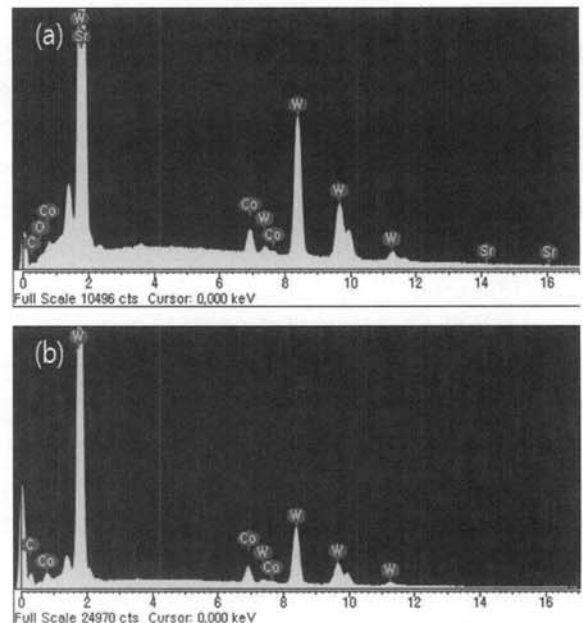


Fig. 1. (a) WC substrate (b) after coating with DLC EDAX analysis WC surface.

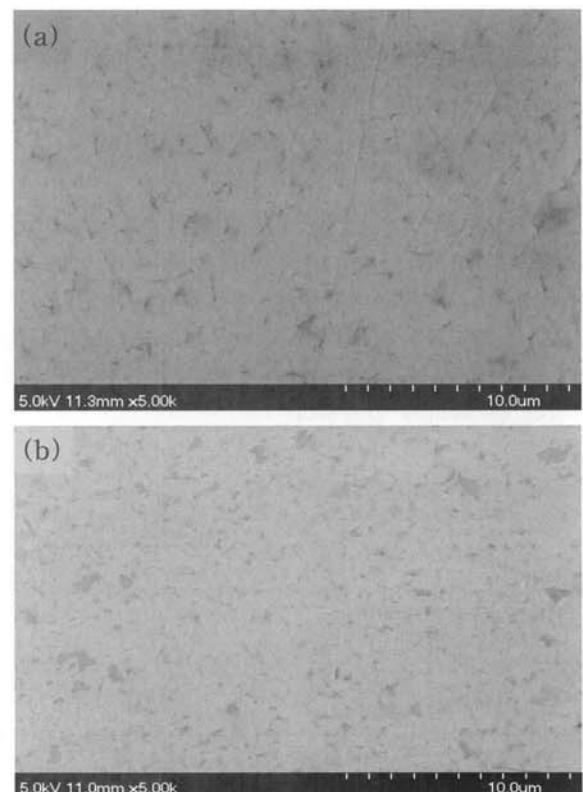


Fig. 2. (a) WC substrate (b) after coating with DLC SEM image WC surface.

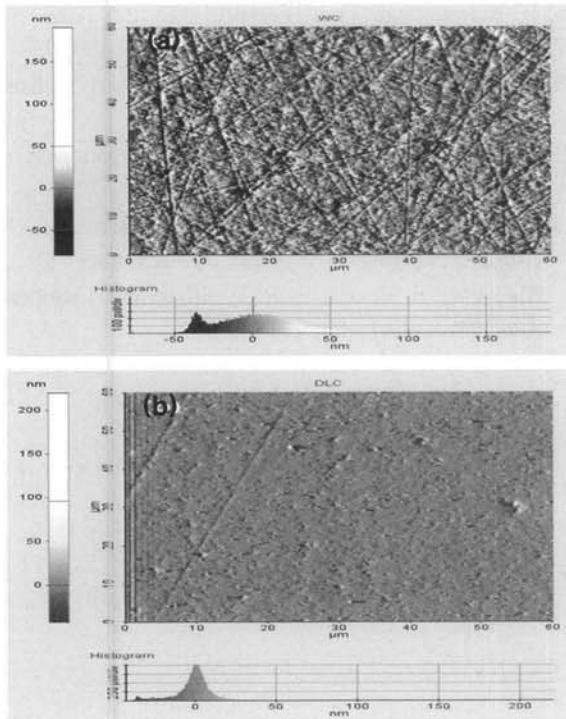


Fig. 3. (a) WC substrate (b) after coating with DLC AFM image WC surface.

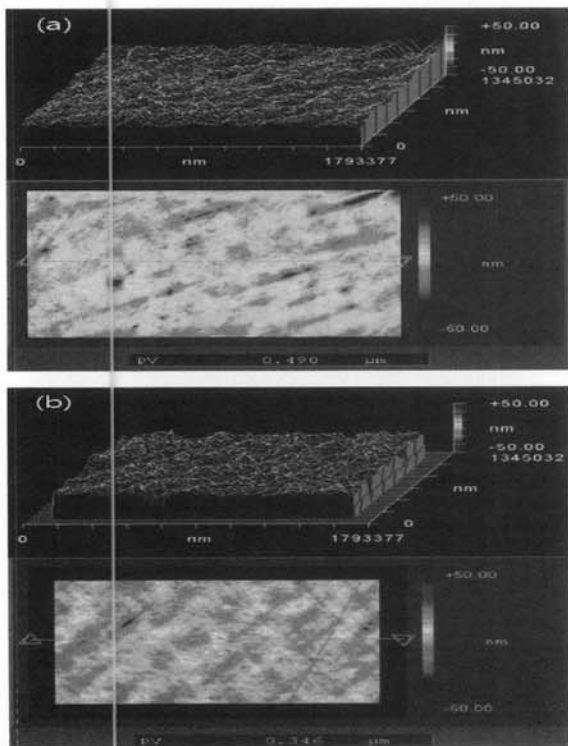


Fig. 4. (a) WC substrate (b) after coating with DLC surface roughness WC surface.

나타냈다. DLC 박막 코팅의 경우 코팅 전 형상정도 (PV)는 0.490  $\mu\text{m}$  이었으나 DLC 코팅 후 형상정도는 0.346  $\mu\text{m}$ 로 측정되어 DLC 코팅 후 형상정도가 향상된 것을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 고온 압축성형방식을 이용한 glass 렌즈 성형에 사용되는 tungsten carbide를 연삭 가공한 후 내마모성 및 이형성 증대를 위해 DLC 박막을 코팅한 후 표면 특성을 평가하였다.

DLC 박막 코팅 후 EDAX 분석을 한 결과 주성분인 C성분이 70.66%로 증가했으며 시편으로 사용된 tungsten carbide 성분들은 감소 혹은 검출되지 않아 tungsten carbide 시편에 양질의 DLC 박막 코팅이 이루어진 것을 확인할 수 있었다.

SEM 이미지에서는 연삭 가공된 tungsten carbide 표면에서 확인된 요철이 DLC 코팅 후 확연히 감소된 것을 확인할 수 있었으며 이는 균일한 박막 코팅이 이루어진 것으로 판단된다.

AFM과 3차원 표면 조도 측정기를 이용해 표면의 평균 거칠기 및 형상정도를 평가하였다. Tungsten carbide 표면의 평균 거칠기는 25.522 nm이었으나 DLC 박막 코팅 후에는 평균 거칠기가 15.085 nm로 감소되었으며 표면 조도는 DLC 코팅 전 0.490  $\mu\text{m}$ 에서 코팅 후 0.346  $\mu\text{m}$ 로 향상되었다.

이상의 결과로부터 DLC 박막 코팅이 tungsten carbide 표면 특성의 개선에 효과적인 것을 확인하였으며 tungsten carbide 소재에 대한 DLC 박막 코팅을 통한 표면 개선은 성형 면으로 사용될 표면과 렌즈 사이에 이형성을 증대시키고 내마모성을 향상시킬 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 민군겸용기술사업의 연구개발로 수행되었음.

## REFERENCES

- [1] H. S. Lee, M. W. Cheon, and Y. P. Park, *J. KIEEME*, 24, 219 (2011).
- [2] J. S. Park, B. S. Park, S. D. Kang, K. H. Yang, K. K. Lee, D. J. Lee, and K. M. Lee, *J. Kor. Inst. Surf. Eng.*, 41, 88 (2008).
- [3] H. J. Kim, D. H. Cha, J. K. Lee, S. S. Kim, and J. H. Kim, *J. KIEEME*, 20, 720 (2007).
- [4] A. T. Yi and A. Jain, *J. Am. Ceram. Soc.*, 88, 579 (2005).
- [5] H. U. Kim, S. H. Jeong, Y. P. Park, S. S. Kim, H. J. Kim, and J. H. Kim, *J. KIEEME*, 19, 1050 (2006).
- [6] C. Rincon, *Surf. Coat. Technol.*, 148, 227 (2001).
- [7] J. Robertson, *Mater. Sci. Eng.*, 37, 129 (2002).
- [8] H. Hanya, S. Kamiya, Y. Murakami, and Y. Kondoh, *Surf. Coat. Technol.*, 200, 1137 (2005).
- [9] K. R. Lee and K. Y. Eun, *Bull. Korean Inst. Met. Mater.*, 6, 345 (1993).
- [10] G. M. Pharr, D. L. Callahan, S. D. McAdams, T. Y. Tsui, S. Anders, A. Anders, J. W. Ager III, I. G. Brown, C. S. Bhatia, S. R. P. Silva, and J. Robertson, *Appl. Phys. Lett.*, 68, 779 (1996).
- [11] B. K. Tay, X. Shi, H. S. Tan, H. S. Yang, and Z. Sun, *Surf. Coat. Technol.*, 105, 155 (1998).