

# TiC함량이 안경렌즈 절삭용 재료 파괴인성에 미치는 영향

이 영 일

동남보건대학 안경광학과

일축가압 소결 및 열처리하여 SiC-TiC 안경렌즈 절삭용 재료를 제조하였다. TiC의 함량은 0, 10, 20, 30wt%이었다. 일축가압소결 후 열처리한 안경렌즈 절삭용 복합재료의 미세구조는 TiC의 양에 크게 의존하였다. TiC의 함량이 증가할수록 파괴인성값이 증가됨을 알 수 있었다. 광학현미경과 X-ray 회절분석을 통하여 미세구조와 상분석을 하였다. 시편의 미세구조는 길게자란 SiC입자와 기지형의 TiC입자로 구성되어 있었다. 본 연구에서 연구된 안경렌즈 절삭용 시편의 대표적인 경도와 파괴인성은 각각 14.9 GPa과  $5.7 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 이었다.

## Effect of TiC amount on Fracture Toughness of materials for glasses lens cutting

Young Il Lee

Department of Optical Science, Dongnam Health College

The SiC-TiC composites materials for glasses lens cutting were fabricated by hot-pressing and annealing. The amount of TiC was 0, 10, 20, 30wt% in the mixture of  $\beta$ -SiC. The microstructure of materials for glasses lens cutting was very dependent on the TiC amount. The introduction of larger amount of TiC improved fracture toughness. optical microscope and XRD analysis of the surface of samples were carried out. An in situ-toughened microstructure, consisted of distributed elongated SiC, matrixlike TiC grains was developed by using  $\beta$ -SiC. Typical hardness and fracture toughness of materials for spectacle lens cutting were 14.9 GPa and  $5.7 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ , respectively.

### I | 서 론

세라믹소재는 그 고유의 특성으로서 고내열성, 화학적 안정성, 열 및 전기에 대한 절연성, 고강도, 투과성 등의 다양한 기능을 갖고 있으며 계속된 재료기술의 발달에 따른 잠재적 성능으로 인하여 많은 분야에서 사용되고 있다. 그러나 세라믹 소재가 보다 광범위하게 응용되기 위해서는 먼저 해결되어야 할 문제들이 몇 가지 있는데 그 중에

서도 대표적인 것이 세라믹의 최대 약점인 취성파괴이다. 이 취성파괴는 그 고유의 공유결합 및 이온결합에서 기인하는 것이며 상온 구조재료 및 절삭용 공구 등의 응용이 제한 될 뿐 아니라 일반 상온 구조재료로서의 응용시에도 많은 신뢰도 및 수명 등의 향상에 지대한 장애요인이 되고 있다. 세라믹스의 소재의 파괴인성을 높여 취성파괴를 극복하기 위한 방법으로 세라믹 복합재료를 많이 연구하고 있다.<sup>[1-4]</sup> 또한, 여러 가지 소결 첨가제를 사용하여 기계적 특성을 향상하기 위한 연구도 계속 되고 있다.<sup>[5-6]</sup>

본 연구는 안경렌즈 절삭용 재료로서 탄화규소계 복합체를 만드는 것이며 또한 안경렌즈 절삭공구의 이송속도(feed rate)를 증가시킬 수 있는 파괴 인성 향상을 위해 첨가한 TiC가 안경렌즈 절삭용 재료에 미치는 영향에 대해 연구하고자 한다.

## II 실험 방법

실험은  $\beta$ -SiC 분말(Ultra-fine grade, Ibiden Co., Ltd. Japan)과 TiC(Grade C.A.S. H.C Stark, Berlin, Germany) 분말을 사용하였다. 위의 TiC분말을 0, 10, 20, 30wt%로 SiC와 혼합하였다. 이 때 소결조제인  $Al_2O_3$ 와  $Y_2O_3$ 의 질량비를 3:7로 고정하였다. 소결조제를 10wt%로 고정하고 TiC 조성을 달리한 4개의 원료조합을 준비하였다. 각각의 원료조합은 탄화규소 볼과 polyethylene 병을 사용하여 에탄올을 용매로 24시간 동안 습식 혼합한 후 슬러리를 건조시키고 과립화 과정을 하였다. 소결은 1800°C, 25 MPa의 조건에서 Ar 분위기를 사용하여 2시간 동안 일축 가압 소결한후 1900°C, 25 MPa의 조건에서 Ar 분위기를 사용하여 4시간 열처리하였다. 소결밀도는 Archimedes 방법을 사용하여 측정하였고 각 시편의 이론밀도 혼합법칙(rule of mixture)을 사용하여 구하였다. 소결 및 열처리한 시편들을 자르고 연마하였다. 미세구조는 광학현미경을 사용하여 관찰하였고 결정상을 분석하기 위하여 시편들을 분말로 분쇄하여  $CuK\alpha$ 를 사용하여 X-선 회절분석(XRD)을 하였다. 파괴인성은 indentation 방법으로 측정하였다.<sup>[7]</sup>

## III 결과 및 고찰

### 1. 밀도 및 X-ray 회절분석 결과

일축가압소결 및 열처리한 시편들의 특성을 Table 1에 나타내었다. Fig. 1은 각 시편의 상대밀도를 나타내고 있다. 1800°C 2시간동안 일축가압소결한 시편은 97% 이상의 상대밀도를 가지고 있었고 1900°C에서 4시간 동안 추가적인 열처리를 한 시편을 일축가압 소결한 시편에 비해 전반적으로 낮은 상대밀도를 가지고 있음을 알 수 있었다. 이는 열처리 도중에 AlO,  $Al_2O_3$ , CO 등의 휘발성 기체가 형성됨에 기인한 것이다. XRD에 의한 상분석 결과를 보면 일축 가압소결한 시편들은 주로  $\beta$ -SiC와 TiC로 되어 있고 YAG상 또한 부수적으로 존재함을 알 수 있다. 반면

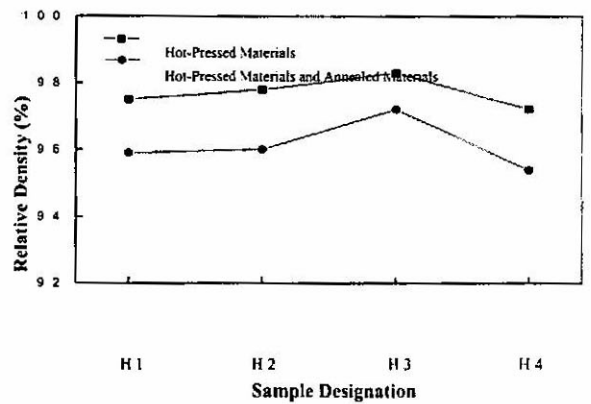


Fig. 1. Variation of relative density as a sample designation.

Table 1. Characteristics of the Sintered Samples.

Sample designation	Batch composition(wt%)				Crystalline phase	
	$\beta$ -SiC	TiC	$Al_2O_3$	$Y_2O_3$	Major	Trace
H1 <sup>a</sup>	90	-	3	7	$\beta$ -SiC	$Y_3Al_5O_{12}$
H2	80	10	3	7	$\beta$ -SiC, TiC	$Y_3Al_5O_{12}$
H3	70	20	3	7	$\beta$ -SiC, TiC	$Y_3Al_5O_{12}$
H4	60	30	3	7	$\beta$ -SiC, TiC	$Y_3Al_5O_{12}$
HA1 <sup>b</sup>	90	-	3	7	$\alpha$ -SiC	$Y_3Al_5O_{12}$
HA2	80	10	3	7	$\alpha$ -SiC, TiC	$Y_3Al_5O_{12}$
HA3	70	20	3	7	$\alpha$ -SiC, TiC	$Y_3Al_5O_{12}$
HA4	60	30	3	7	$\alpha$ -SiC, TiC	$Y_3Al_5O_{12}$

<sup>a</sup>Hot-pressed samples

<sup>b</sup>Hot-pressed and annealed samples

에 추가의 열처리를 행한 시편은 주로  $\alpha$ -SiC와 TiC로 이루어져 있고 YAG 또한 미량 존재했다. 이 결과로 열처리 중에 탄화규소의  $\beta \rightarrow \alpha$  상변태가 일어났음을 알 수 있었다.

## 2. 미세구조

Fig. 2는 TiC 함량이 다른 SiC-TiC 안경렌즈 절삭용 복합재료의 일축가압 소결후 1900°C에서 4시간 열처리한 시편의 미세구조를 나타낸 사진이다. 여기서 밝게 보이는 입자는 TiC이며 어두운 부분은 SiC이다. Table 1에서 확인한 결과와 같이 열처리 도중에 탄화규소의  $\beta \rightarrow \alpha$  상변태가 일어나서 길게 자란  $\alpha$ -SiC의 존재를 눈으로 확인할 수 있다. 또한, TiC 입자의 모양이 열처리 후에 등방성의 입자에서 기지형의 입자들로 변화한 것도 주지할 만한 사실이다. 이것은 TiC의 강성-연성 전이온도가 약 800°C이고 따라서 elongate된  $\alpha$ -SiC입자가 성장될 수 있었던 것으로 사료된다.

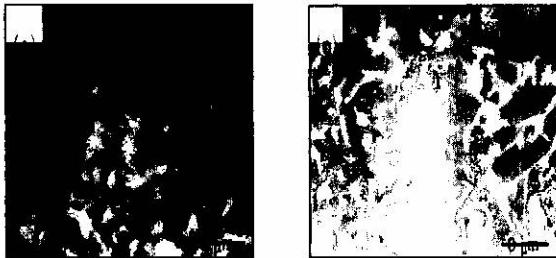


Fig. 2. Microstructures of hot-pressed and annealed samples : (a) HA3 and (b) HA4

## 3. 기계적 특성

일축가압 소결 후 열처리한 시편의 파단면은 SiC-TiC 안경렌즈 절삭용 복합재료는 주로 입계파괴가 일어나고 있음을 알 수 있다. 이는 가열 후 냉각 시에 탄화규소와 액상, 혹은 TiC와 액상 사이의 열팽창계수 차이에 의해 약한 계면이 생성된 것에 기인한 것으로 보인다. 본 연구에서 선택된 알루미늄-니트리아 소결조제는 자기강화 SiC-TiC 안경렌즈 절삭용 복합체에서 입계파괴 경향과 균열 진행시 회절되는 경향을 높임으로써 기계적 특성에 매우 효과적인 소결조제임을 알 수 있다.

Fig. 3은 TiC가 30wt%첨가된 일축가압 소결후 열처리된 시편의 파괴진전 미세구조를 보여주고 있다. 사진에서 보듯이 일축가압소결후 열처리한 시편은 길게 자란 탄화

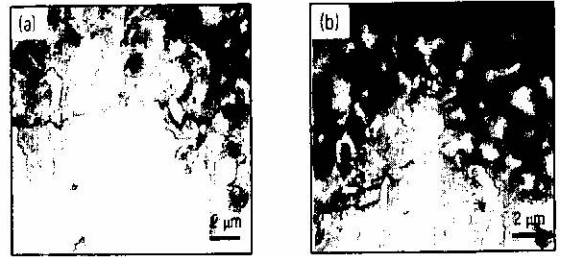


Fig. 3. Micrographs of crack paths by a Vickers indenter : (a) HA3 and (b) HA4(refer to Table 1).

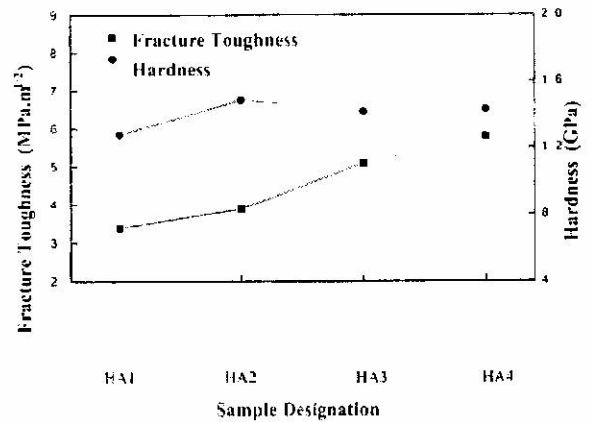


Fig. 5. Variation of the fracture toughness and hardness of the hot-pressed and annealed samples

규소 입자에 의해서 균열편향과 균열가교가 일어나는 것에 파괴인성 값이 의존하기 때문에 열처리된 시편에서의 전체 균열길이가 더 길어져 파괴인성이 높다.

Fig. 4는 일축가압소결 및 열처리한 시편의 파괴인성과 경도값을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 보듯이 TiC가 많이 첨가 될 수록 파괴인성값은 점점 증가함을 알 수 있었다. 여기에서 알 수 있듯이 TiC의 첨가는 안경렌즈 절삭용 재료의 파괴인성을 증진시키는데 중요한 역할을 하고 있음을 알 수 있었다. 그러나 경도는 TiC가 10wt% 첨가된 HA2시편이 가장 높은 14.9 GPa를 나타내었다.

본 연구에서 결과로 TiC가 첨가된 탄화규소 복합체의 조성뿐 아니라 함량의 조절이 안경렌즈 절삭용 재료의 기계적 특성 향상의 중요한 변수 중에 하나임을 알 수 있었다.

## IV 결론

TiC 분말을 첨가하여 안경렌즈 절삭용 복합체를 일축

가압소결 및 열처리하여 제조하였다. 이 복합체의 미세구조는 길게 자란  $\alpha$ -SiC 입자가 기재형의 TiC 입자위에 균일하게 분포된 형태였다. 여기서 연구된 TiC 함량의 범위에서(0~30wt%) 파괴인성 값은 점차적으로 증가되었다. 이는 TiC가 첨가될수록 높은 장경비를 가진 길게 자란  $\alpha$ -SiC 입자와 많은 양의 TiC로 인한 크랙 균열현상과 열처리 후에도 약한 입계가 생성되어 그 결과로 파괴인성이 향상됨을 알 수 있었다. 경도는 TiC의 함량이 증가됨에 따라 크게 증가하거나 감소하는 경향을 보이지 않았다. 파괴인성은 30wt% TiC가 첨가된 시편(HA4)이 가장 높은  $5.7 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$  나타내었고 경도는 10wt% TiC가 첨가된 시편(HA2)이 가장 높은 14.9 GPa이라는 경도 값을 나타낸다.

### 참고문헌

- [1] Das, G., Mazdiasni, K. S. and Lipsitt, H. A., J. Am. Ceram. Soc., 65(1), 104(1982).
- [2] Galgali, R. K., Ray, H. S. and Chakrabarti, A. K., Mater. Sci & Tech., 15, 437(1999).
- [3] Janney, M. A., Am. Ceram. Soc. Bull., 65, 357 (1986).
- [4] Kuo, D. H and Kriven, W. M., J. Euro. Ceram. Soc., 18, 51(1998).
- [5] Y. I. Lee and G. K. Kim, J. Kor. Opt. Soc., 5(1), 55(2000).
- [6] Y. I. Lee and G. K. Kim, J. Kor. Opt. Soc., 5(1), 61(2000).
- [7] G. R. Anstis, P. Chantikul, B. R. Lawn and D. B. Marshall, J. Am. Ceram. Soc., 64(9), 533(1981).