

유리상 첨가한 안경렌즈 절삭용 재료

이 영 일

동남보건대학 안경광학과

안경렌즈 절삭용 재료의 파괴인성과 경도를 향상시키기 위하여 glass상을 함유한 탄화규소계 복합재료를 개발하여 그 기계적 물성과 특성을 연구하고자 하였다. glass상을 갖는 탄화규소를 1810 °C에서 2시간, 25 MPa의 조건에서 일축 가압소결 공정으로 안경렌즈 절삭용 시편을 제조하였다. 파괴인성과 경도를 측정하여 전에 실험한 결과의 기계적 특성과 비교하였다. 본 연구에서 연구된 안경렌즈 절삭용 시편의 대표적인 경도와 파괴인성은 각각 12 GPa과 5.1 MPa·m^{1/2} 이었다.

Materials for Spectacle lens cutting with Glass phase

Young-Il Lee

Department of Ophthalmic Optics, Dongnam Health College

SiC composites were developed by incorporating glass phase into SiC, in the light of improving mechanical properties of material for spectacle lens cutting. Specimens for spectacle lens cutting with glass phase as sintering additives have been fabricated by hot-pressing at 1810 °C for 2 hr under a pressure of 25 MPa. The fracture toughness and hardness of hot-pressed specimens were characterized and compared with previous works. Typical hardness and fracture toughness of materials for spectacle lens cutting were 12 GPa and 5.1 MPa·m^{1/2}, respectively.

I 서 론

안경렌즈 절삭 공구로써 사용 가능한 세라믹 재료에는 여러 가지가 있으나, 탄화규소를 주재료로 사용하는 연구가 계속 지속되고 있다^[1,2]. 그러나, 탄화규소는 강한 공유 결합에 기인하여 소결하기 어려운 재료이다. 1970년대에 Prochazka^[3]에 의해 boron과 carbon의 첨가로 SiC의 상압 소결이 처음 성공하게 되었고, 그 후에 Al 화합물, Be 화합물등 여러 가지 소결조제가 개발되었다. 특히, 1994년에 Al₂O₃ 및 Y₂O₃를 첨가하여 액상소결에 의해 제조된 이중 미세구조를 갖는 고인성(8 MPa·m^{1/2}) 자기복합 탄화규소가 Padture^[4]에 의해 처음 보고된 이래로 액상소결에 대한 연구는 중요한 의미를 갖게 되었다. 이처럼 세라믹 제품의 응용은 앞으로 계속 진행될 것이다. 현재 세라믹 절

삭공구로 널리 사용되고 있는 Si₃N₄계 절삭공구는 주로 주철의 가공에 효과적인데, 경도의 증가는 내마모(wear resistance) 특성을 향상시키며, 파괴인성의 향상은 이송속도(feed rate)를 높일 수 있기 때문에 이러한 특성이 우수한 신소재가 많이 상용되고 있다. 최근 수년동안 전 세계적으로 여러 가지 세라믹 재료를 이용한 절삭용 재료를 연구 개발하였다^[5-10]. 1992년 일본 NGK Spark Plug사는 Ti 및 Al계 화합물이 피복된 질화규소계 절삭공구를 개발하였는데, 이는 기존의 질화규소계 절삭공구에 비하여 마모특성이 높은 특징을 갖고 있었다. 또 중국 Shandong University of Technology에서 탄화규소 whisker와 탄화규소 입자를 혼합하여 알루미늄 절삭공구를 개발하였는데 높은 파괴인성(8.1 MPa·m^{1/2})을 갖는 제품을 개발하였다. 이렇게 파괴인성을 증진시키기 위해 단일 재료보다는 복합재료가 더욱 우수함을 여러 연구에 의해 보고된바 있

다¹¹⁻¹³. 이러한 연구개발에 힘입어 세라믹 제품은 금속제품에 비해 내마모성 및 열 전도율이 좋은 재료로 사용되고 있다.

본 연구에서 안경렌즈 절삭소재에 glass상을 첨가함으로써 절삭소재 제품의 특성을 비교 분석하고, 미세구조 제어를 통한 최적의 입자크기를 갖는 신소재를 연구 조사했다.

II 실험 방법

출발 원료로는 β -SiC (Ultra-fine grade, Ibiden Co., Ltd. Japan)와 α -SiC (designated as F, A-1 grade, Showa Denko, Japan) 사용하였다. Glass조성의 소결조제를 10 wt%로 고정하고, 탄화규소 조성을 달리한 4개의 원료조합을 준비하였다. 각각의 원료조합은 탄화규소 볼과 polyethylene 병을 사용하여 에탄올을 용매로 24시간 동안 습식 혼합한 후, 슬러리를 건조시키고 과립화 과정을 거쳤다. 소결은 1810 °C, 25 MPa의 조건에서 N₂ 분위기를 사용하여 2시간 동안 일축 가압 소결하였다. 소결한 시편들의 조성과 이름은 Table 1에서 보여준다.

소결밀도는 Archimedes 방법을 사용하여 측정하였고, 각 시편의 이론밀도 혼합법칙(rule of mixture)을 사용하여 구하였다. 소결 및 열처리한 시편들을 자르고 연마하여, CF₄ 와 7.8% O₂의 혼합가스로 플라즈마 에칭을 하였다. 미세구조는 주사전자현미경(SEM)을 사용하여 관찰하였고, 결정상을 분석하기 위하여 시편들을 분말로 분쇄하여 Cu α 를 사용하여 X선 회절 분석(XRD)을 하였다. 경도와 파괴인성은 indentation 방법으로 측정하고, 광학현미경으로 관찰하였다^[14].

III 결과 및 고찰

소결 및 소결 후 열처리한 시편들의 특성을 Table 1에서 보여준다.

Fig. 1은 각 시편의 상대밀도를 보여주고 있다. 일축 가압 소결한 시편들의 경우에 99.7%이상의 상대밀도를 나타내었다. 그리고, 이들의 미세구조를 관찰한 결과 α -SiC가 1 wt%까지 첨가된 경우에는 비교적 균일한 크기의 등방성 입자들로 구성된 미세구조를 가지며, 일부 입자들은 core/rim 구조를 보여주는데, 소결중 입자성장이 용해-재석출 공정으로 일어났음을 나타낸다^[15]. 또한, rim면적이

작은 것으로부터 일축가압 소결 동안에 입자성장이 크게 일어나지 않았음을 알 수 있다.

Table 1. Characteristics of the Sintered Samples

Sample designation	Batch composition (wt%)			Crystalline phase	
	β -SiC	α -SiC	Glass phase	Major	Trace
H1	90	-	10	β -SiC	-
H2	89	1	10	β -SiC	-
H3	87	3	10	β -SiC, α -SiC	-
H4	85	5	10	β -SiC, α -SiC	-

반면, 3 wt% 이상 α -SiC가 seed로써 첨가된 시편의 경우에는 등방적 입자들과 크고 길게 자란 입자들로 구성된 자기 강화미세구조가 α -SiC 출발원료로부터 만들어 졌다. 이는 첨가된 α -SiC seed 평균 입자 크기가 β -SiC분말에 비해 상대적으로 큰 것에 따른 용해도 차이가 활발한 용해-재석출 현상을 일으켜 결정립 성장을 위한 핵으로서 작용한 것으로 생각된다.

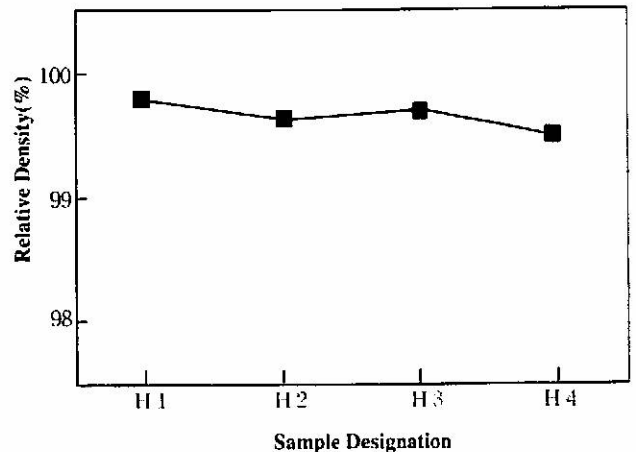


Fig. 1. Variation of relative density as a sample designation.

Fig. 2는 H4의 대표적인 파단면을 보여주는데, 일축가압 소결한 H4시편은 주로 입계파괴가 일어났음을 알 수 있지만, 길게 자란 판상 입자들에서는 입내파괴도 부분적으로 관찰되었다.

Fig. 3은 파괴인성 및 경도를 측정하기 위해 비커스 인덴터법으로 측정된 광학현미경 사진이다. 다이아몬드 입자침을 98N, 압입속도 70 μ m/min, 유지시간은 15초의 조건으로 시험하여 파괴인성 값 및 경도값을 측정하였다.

파괴인성 값은 Anstis 등^[14]이 제안한 식을 사용하였다. Fig. 3의 (a)는 α -SiC가 첨가되지 않은 상태의 시편을 보여주고 있고, (b)와 (c)는 각각 α -SiC가 3 wt%, 5 wt%가 첨가된 상태의 시편을 보여주고 있다.

Fig. 4는 일축가압 소결한 시편들에서 각 시편의 조성 변화가 정도 및 파괴인성에 미치는 영향을 보여준다. 인성값은 α -SiC가 3 wt%까지 첨가된 경우가 가장 높은 값인 $5.1 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ 을 나타낸다. 그래프에서 보듯이 α -SiC가 3 wt%까지 첨가된 경우가 가장 높은 파괴인성 값을 보였는데, 이는 α -SiC가 첨가되지 않은 시편의 값($3.4 \text{ MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$)보다 50%가 증가한 인성값을 보였다. 이 실험으로 통해 α -SiC가 적당량 첨가는 파괴인성값 증진에 어느 정도 기여하고 있음을 알 수 있었다. 파괴인성의 증진은 다른 시편의 입자보다 장경비가 큰 α -SiC입자에 의한 균열 회절 및 균열가교가 증가되어 파괴인성이 증가되었



Fig. 2. Micrographs of the fracture surfaces of the hot-pressed samples: H4(refer to Table 1).

다고 생각된다. 균열가교 및 균열회절이 파괴인성의 메카니즘으로 작용하였다. 또, α -SiC가 5 wt%까지 첨가된 경우는 α -SiC가 3 wt%까지 첨가된 경우의 인성값보다 떨어졌는데, 이는 너무 많은 양의 α -SiC가 첨가되어 입계 파괴가 아닌 입내파괴를 일으켰기 때문이다. 입계파괴를 일으켰다면 입자주위의 입계에서 파괴진전 에너지를 흡수함으로써 보다 크랙의 진전을 막을 수 있었을 것이다. Fig. 4는 각 시편의 경도값을 보여주고 있다. 경도값의 측정은 Fig. 3에서 설명한 비커스 인덴터법을 사용하여 측정하였다. 이 경우에 α -SiC가 5 wt%까지 첨가된 시편이 가장 높은 값인 13.9 GPa을 나타내었다. α -SiC가 첨가되지 않은 시편의 경우는 파괴인성의 값과 마찬가지로 가장 낮은 경도값(9.8 GPa)을 나타내었다. 이를 통해 알 수 있듯이 단일 재료보다는 복합재료가 안경렌즈 절삭용 재료의 기계적 특성에 좋은 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 인성값에서 가장 높은 α -SiC가 3 wt%가 첨가된 시편은 비교적 낮은 값인 12 GPa을 나타내었다. 이는 이 등^[12]이 연구한 결과와 비슷한 경향을 보여주고 있다. 유리상이 첨가된 안경렌즈 절삭용으로서 경도는 α -SiC가 5 wt%가 첨가된 시편의 경우가 좋은 재료이고, 경도는 α -SiC가 5 wt%가 첨가된 시편이 좋은 재료이다. 앞으로 조성 및 미세구조 최적화로보다 향상된 기계적 특성의 안경렌즈 절삭용 소재개발 목표달성이 가능할 것이라 생각 이 된다.

IV | 결 론

α -SiC가 함량을 변화시킨 안경렌즈 절삭용 소재를 일축가압소결 공정으로 제조하였다.

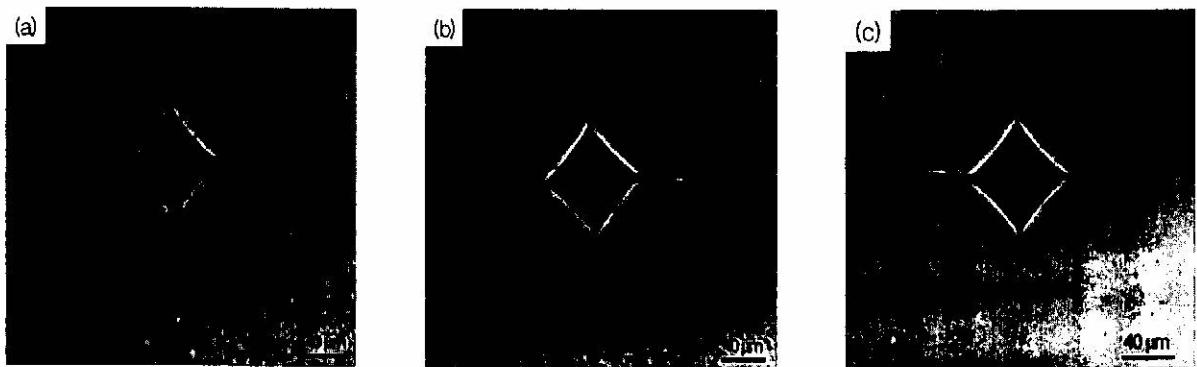


Fig. 3. Micrographs of crack paths by a Vickers indenter: (a)H1, (b)H3 and (c)H4 (refer to Table 1).

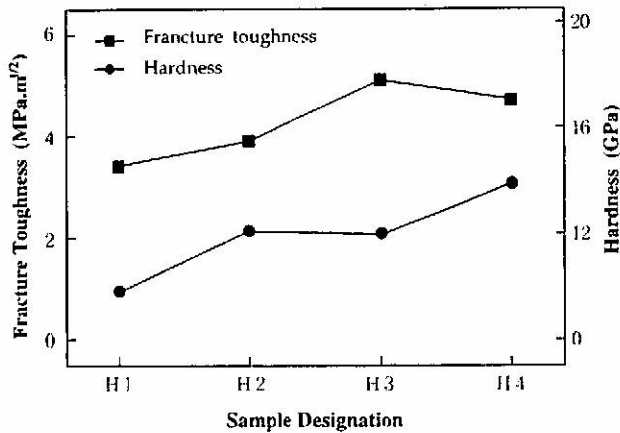


Fig. 5. Variation of the fracture toughness and hardness of the hot-pressed and annealed samples.

α -SiC 조성을 달리하여 등방성 및 길게 자란 탄화규 소입자들이 균일하게 분포된 자기강화 미세구조를 갖는 안경렌즈 절삭용 재료를 제조하였다. 전반적인 미세구조는 등방성 미세구조를 보여주고 있다. 일부 시편에서 core/rim 구조를 보여 주는데, 이는 소결중 입자성장이 용해-재석출 공정으로 일어났음을 나타낸다. 파괴 인성의 경우 3 wt% α -SiC를 첨가한 시편의 경우가 제일 높은 파괴 인성값인 5.1 MPa·m^{1/2}을 나타낸다. 이는 α -SiC 입자에 의한 균열 가교 및 균열회절이 증가되어 파괴인성이 증가되었다고 생각한다. 경도의 경우 5 wt% α -SiC가 첨가한 시편이 13.9 GPa이라는 높은 경도 값을 나타낸다.

참고문헌

[1] Y. I. Lee and G. K. Kim, J. Kor. Opt. Soc., 5 (1), 55(2000)

[2] Y. I. Lee and G. K. Kim, J. Kor. Opt. Soc., 5 (1), 61(2000)

[3] S. Prochazka, pp.171-178 in Special Ceramics 6, Ed. by P. Popper, British Ceramic Research Assoc., Manchester, (1975)

[4] N. P. Padture, J. Am. Ceram. Soc., 77 (2), 519 (1994)

[5] E. D. Whitney and P. N. Vaidyanathan, Am. Ceram. Soc. Bull., 67 (6) 1010(1988)

[6] E. R. Billman, P. K. Mehrotra, A. F. Shuster, and C. W. Beehly, Am. Ceram. Soc. Bull., 67 (6), 1016(1988)

[7] W. W. Gruss, Am. Ceram. Soc. Bull., 67 (6), 993 (1988)

[8] H. Chuanzhen, A. Xing, L. Zhaoqian, Am. Ceram. Soc. Bull., 76 (7), 83-85(1997)

[9] S. F. Wayne and S. T. Buljan, J. Am. Ceram. Soc., 72 (5), 754(1989)

[10] D. Bordui, Ceram. Bull., 67 (6), 998(1988)

[11] Y. I. Lee, Y.-W. Kim, H. J. Choi and J. G. Lee, J. Kor. Ceram. Soc., 36 (8), 799(1999)

[12] Y. I. Lee, Y.-W. Kim, H. J. Choi and J. G. Lee, J. Mater. Sci., 36, 699(2001)

[13] Y.-W. Kim, Y. I. Lee, M. Mitomo, H. J. Choi and J. G. Lee, J. Am. Ceram. Soc., 82 (4), 1058(1999)

[14] G. R. Anstis and D. B. Marshall, J. Am. Ceram. Soc., 64 (9), 533(1981)

[15] L. S. Sigl and H.-J. Kleebe, J. Am. Ceram. Soc., 76 (3), 773(1993)