

## AlN 세라믹스의 미세조직과 기계적 성질에 미치는 h-BN 첨가의 영향

이영환\* · 김준규\*\* · 조원승\*<sup>†</sup> · 조명우\*\*\* · 이은상\*\*\* · 이재형\*\*\*\*

\*인하대학교 재료공학부

\*\*인하대학교 소재연구소

\*\*\*인하대학교 기계공학부

\*\*\*\*영남대학교 재료금속공학부

(2003년 6월 9일 접수; 2003년 8월 5일 승인)

## Effect of h-BN Content on Microstructure and Mechanical Properties of AlN Ceramics

Young-Hwan Lee,\* Jun-Gyu Kim,\*\* Won-Seung Cho,\*<sup>†</sup> Myeong-Woo Cho,\*\*\*  
Eun-Sang Lee,\*\*\* and Jae-Hyung Lee\*\*\*\*

\*School of Materials Science and Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

\*\*Institute of Advanced Materials, Inha University, Incheon 402-751, Korea

\*\*\*School of Mechanical Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Korea

\*\*\*\*School of Metallurgical and Materials Engineering, Yeungnam University, Gyongsan 712-749, Korea

(Received June 9, 2003; Accepted August 5, 2003)

### 초 록

AlN-BN계 머시너블 세라믹의 미세조직, 기계적 성질 및 기계 가공성에 미치는 h-BN 첨가의 영향을 조사하였다. 소결체의 상대밀도는 h-BN 첨가량의 증가와 더불어 감소하였다. 또한, 4점 굽힘 강도도 AlN 단미의 238 MPa에서 30 vol% BN 첨가에 의해 182 MPa까지 감소하였다. 낮은 탄성계수와 AlN 매트릭스와 h-BN 입자와의 열팽창계수의 차이에 의해 발생한 잔류인장응력에 의해 AlN-BN 복합재료의 강도가 감소되었다고 생각된다. 판상형태의 h-BN 입자에 의해 균열편향과 pull-out은 증가하였으나, 파괴인성은 BN 첨가량과 더불어 감소하였다. AlN 분말표면에 존재하는 알루미늄과 소결조제인 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와의 반응에 의해 2차상인 YAG상과  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>상이 생성되었다. AlN에 10~30 vol%의 BN을 첨가한 복합재료에 대하여 수행한 절삭시험에서 절삭력과 배분력은 h-BN 첨가량에 따라 감소하였으며, 우수한 기계 가공성을 입증하였다. 또한, 모든 시편에서 짧은 시간 내에 0.5  $\mu$ m (Ra) 이하의 비교적 양호한 표면 거칠기에 도달할 수 있었다.

### ABSTRACT

The effect of h-BN content on microstructure, mechanical properties, and machinability of AlN-BN based machinable ceramics were investigated. The relative density of sintered compact decreased with increasing h-BN content. The four-point flexural strength also decreased from 238 MPa of monolith up to 182 MPa by the addition of 30 vol% h-BN. Both low Young's modulus and residual tensile stress, formed by the thermal expansion coefficient difference between AlN and h-BN, might cause the strength drop in AlN-BN composite. The crack deflection, and pull-out phenomena increased by the plate-like h-BN. However, the fracture toughness decreased with h-BN content. The second phases, consisted of YAG and  $\gamma$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, were formed by the reaction between Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. During end-milling process, feed and thrust forces measured for AlN-(10~30) vol% BN composites decreased with increasing h-BN particles, showing excellent machinability. Also, irrespective of h-BN content, relatively good surfaces with roughness less than 0.5  $\mu$ m (Ra) could be achieved within short lapping time.

**Key words :** Microstructure, Machinable ceramics, h-BN, AlN

### 1. 서 론

질화 알루미늄(AlN)은 열전도성이 우수하여 기판재료로서 유망한 재료이며, 실리콘과 유사한 열팽창계수를 가

지며 투광성이 높아 전자제품 및 광학재료로 응용되고 있다.<sup>1)</sup> 이러한 AlN 세라믹스의 응용분야를 확대하기 위해서는 금속재료와 같이 정밀 기계가공이 가능해야만 한다. 그러나, 잘 알려진 바와 같이 세라믹 자체는 절삭저항이 매우 크며 균열전파에 의한 취성파괴로 인하여 복잡한 형상으로 가공하는 것이 어렵다. 다이아몬드 지석에 의한 연삭이나 지립에 의한 래핑가공<sup>2)</sup> 및 레이저에 의한 가공<sup>3)</sup>이 가능하나 복잡한 형상의 부품제조에는 한계가 있

<sup>†</sup>Corresponding author : Won-Seung Cho  
E-mail : wscho@inha.ac.kr  
Tel : +82-32-860-7528 Fax : +82-32-874-3382

고, 기존의 가공방법을 이용하여 가공한다 해도 그에 따른 제품의 단가 상승은 불가피하게 된다.<sup>4)</sup>

우수한 특성을 갖는 질화알루미늄에 열팽창이 작고 열전도율이 높아 열충격 저항성이 우수하며 흑연과 같은 판상입자이면서 육각망면구조의 2층 주기구조로 벽개성을 지니는 h-BN을 복합화한 AlN-BN계 세라믹 복합재료는 판상형태의 h-BN 입자의 벽개면을 따라 파괴저항성이 크게 저하되어 기계가공이 매우 용이한 것으로 알려져 있다.<sup>5)</sup> 한편, 기존의 AlN-BN 복합재료에 관한 연구는 BN 첨가에 따른 기계적 성질과 기계가공 절삭력을 주로 조사하였고, BN 첨가에 따른 균열 편향거동과 래핑가공특성 등을 체계적으로 조사한 연구결과는 보고된 바 없다.

따라서, 본 연구에서는 열간 가압소결에 의해 제조한 AlN-BN계 복합재료에 대하여 미세조직과 기계적 성질에 영향을 미치는 h-BN 첨가의 영향을 체계적으로 조사하여, 우수한 기계가공성을 갖는 AlN-BN계 머시너블 세라믹을 제조하고자 하였다.

### 2. 실험방법

본 실험에서는 AlN-BN계 세라믹 복합재료를 제조하기 위해 AlN(순도 : 99.15%, 평균입도 : 2.9 μm, Tokuyama, Japan)에 h-BN(순도 : 99%, 평균입도 : 2.6 μm, TDK, Japan)을 각각 5~30 vol% 첨가하였다. 그리고 소결조제로 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>(순도 : 99.9%, Shinetsu chemical, Japan)를 3 wt% 첨가하였다. 각 혼합분말을 알루미늄나 포트에 장입한 후, 고순도의 에탄올 용매와 마모가 적은 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> ball(φ10 mm)을 사용하여 72시간동안 습식 밀링하였다. 습식 밀링 후 AlN과 h-BN과의 비중차(AlN의 이론밀도 : 3.26 g/cm<sup>3</sup>, h-BN의 이론밀도 : 2.25 g/cm<sup>3</sup>)로 인한 분말 건조과정에서의 중력 편석을 방지하기 위해 혼합분말을 hot plate와 교반기를 동시에 사용하여 가열 건조하였다. 그리고, 건조로에서 100°C, 3시간 재차 건조하여 h-BN의 첨가량이 각각 0~30 vol%인 혼합분말을 제조하였다. 건조한 분말은 16 mesh의 체에서 체질하여 1 mm 이하의 조립 분말을 얻었다. 조립 분말을 1800°C, N<sub>2</sub> 분위기에서 2시간동안 30 MPa의 압력으로 열간 가압소결에 의해 소결체(φ60 mm, 두께 5 mm)를 제조하였다. 제조한 시편은 다이아몬드 절삭기를 이용하여 절삭한 후 평면 연삭 및 경면연마를 통해 굽힘 강도 시편 규격인 3×4×36 mm로 제조하였다.

한편, 소결체의 상대밀도는 아르키메데스 원리를 이용한 파라핀 함침법으로 부피비중을 측정하였고, 측정된 부피비중과 혼합분말의 이론밀도와의 비로써 계산하였다.<sup>6)</sup> 혼합분말의 이론밀도는 원료분말의 조성 성분원소의 밀도로부터 혼합법칙(rule of mixture)을 이용하여 계산하였다. 각 시편의 강도는 KS L 1591의 굽힘 강도 시험방법<sup>7)</sup>에 따라 상부 하중점의 간격은 10 mm로, 하부 지점과의

거리는 30 mm로 하였으며, 시험편의 하중점에 크로스 헤드 속도 0.5 mm/min로 하중을 가하여 시험편이 파괴될 때까지의 최대 하중을 측정하여 4점 굽힘 강도를 계산하였다. 시편의 경도는 비커스 경도계를 사용하여 측정하였고, 파괴인성(K<sub>IC</sub>)은 압자 압입법(indentation fracture method; IF법)<sup>8)</sup>을 사용하였다. 경도 및 파괴인성 측정시 비커스 압자의 압입하중은 98 N이었다. 시편의 탄성계수(Young's modulus)는 공진법을 사용하여 동적 탄성계수를 구하였다.

각 시편의 파단면, AlN 매트릭스 내의 h-BN의 분포 및 비커스 압흔의 전파균열과 h-BN 판상입자와의 상호작용을 SEM(Jeol; JSM 5500)으로 조사하였다. 각 시편의 결정상 및 생성상을 결정하기 위하여 XRD(Philips, PW3719), TEM(Philips, CM200) 분석을 행하였다. 최종적으로, AlN-BN계 세라믹 복합재료의 기계가공성을 조사하기 위해 절삭성 시험 및 래핑가공 시험을 수행하였다. 절삭성 시험시, feed 방향과 thrust 방향의 절삭력을 압전 센서 type의 밀링용 공구 동력계로 측정하였다. 절삭공구는 초경공구를 사용하였으며, 절삭시험은 이송속도(feed rate)가 50 mm/min, 절삭 깊이(depth of cut)가 0.1 mm로 고정된 상태에서 절삭속도(cutting speed)의 변화에 따른 공구 톱의 절삭력(feed force)과 배분력(thrust force)을 측정하여 저항성을 비교하였다. 표면 래핑 가공 시험(휠 속도 : 70 rpm, 피크 전류(Ip) : 40 A, on/off time : 20 μs, 가압하중 : 2.5 kg, 가공시간 : 20 min)을 수행한 후, 표면 거칠기를 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

우선, 복합재료의 치밀화에 미치는 h-BN 첨가의 영향을 조사하기 위해 상대밀도를 측정된 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 상대밀도는 h-BN 첨가량이 25 vol%까지는 점차적으로 감소하였으나 약 99.5% 이상의 높은 치밀화도를 나타냈다. h-BN의 첨가량이 30 vol%인 조성에서 상대

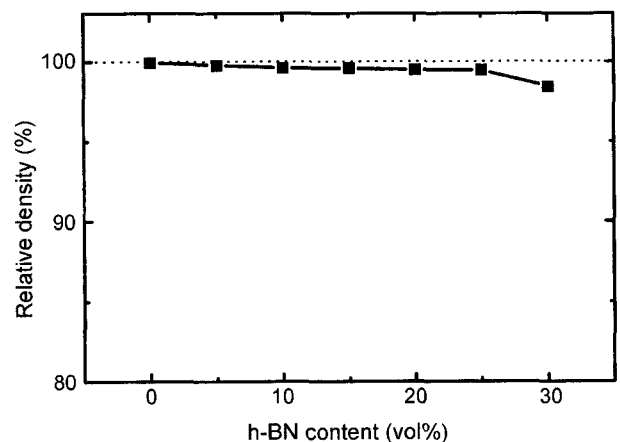


Fig. 1. Effect of h-BN content on the relative density of AlN-BN based ceramics.

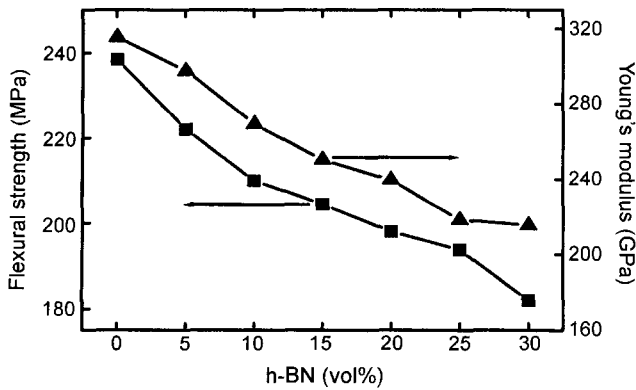


Fig. 2. Effect of h-BN content on the flexural strength and Young's modulus of AlN-BN based ceramics.

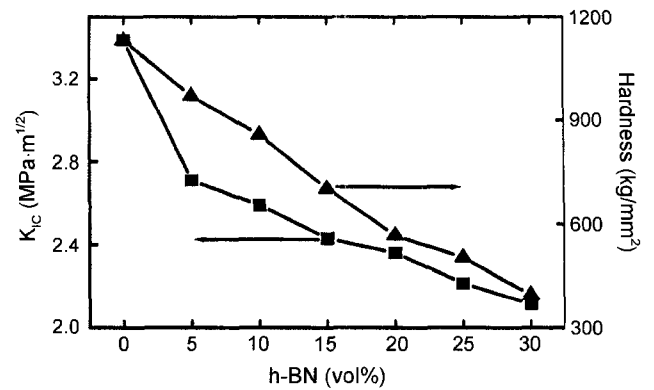


Fig. 3. Effect of h-BN content on the fracture toughness and hardness of AlN-BN based ceramics.

밀도가 98.42%로 다소 감소하였다. h-BN 첨가에 따른 상대밀도의 감소는 판상형태의 h-BN 입자가 액상소결시 입자의 재배열과정을 방해하여<sup>9)</sup> 잔류 기공이 존재하기 때문으로 생각된다.

Fig. 2에 h-BN 첨가량에 따른 4점 굽힘 강도 및 탄성계수의 변화를 나타내었다. 우선, 강도는 h-BN 첨가량과 더불어 감소하여, AlN 단미의 238 MPa에서 30 vol% BN 첨가에 의해 182 MPa까지 감소하였다. 탄성계수는 AlN 단미의 315.6 GPa에서 30 vol% BN 첨가에 의해 215.5 GPa까지 감소하였다. 이는 AlN의 탄성계수인 345 GPa<sup>10)</sup>에 비해 낮은 탄성계수를 갖는 BN(a축 방향의 탄성계수 : 약 85 GPa, C축 방향의 탄성계수 : 34 GPa)<sup>10)</sup>의 체적분율이 증가함에 따라 복합법칙에 의해 감소하였다고 생각된다. 따라서, BN 첨가에 따른 강도감소의 주원인은 복합재료의 탄성계수 감소가 주된 원인으로 생각된다. 기타, BN 첨가에 따른 상대밀도의 감소, 즉 잔류기공(파괴원으로 작용)의 증가와 더불어 매트릭스와 BN간의 열팽창계수의 차이에 의해 발생하는 잔류 인장응력도 강도 저하의 한 요인으로 생각한다. 즉, 25~1000°C 구간에서의 h-BN의 열팽창계수는 c축 방향으로  $7.15 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$ , AlN 매트릭스는  $5.6 \times 10^{-6} \text{C}^{-1}$ 의 열팽창계수 값을 갖고 있다.<sup>11)</sup> 따라서, 고온의 제조 온도로부터 냉각시, 계면이 연속성을 유지하고 있다면, h-BN 입자의 c축 방향으로서는 잔류 압축 응력을 받으며, c축과 인접한 매트릭스는 잔류 인장응력을 받게 되어 강도를 감소시킬 수 있다. 일반적으로, 제 2상의 열팽창수가 매트릭스의 열팽창계수보다 큰 경우에는 매트릭스/제 2상의 계면에서 강고한 기계적 결합력은 기대할 수 없으며, 심한 경우에는 계면박리도 발생할 수 있다.

Fig. 3에 h-BN의 첨가량에 따른 AlN-BN 복합재료의 파괴인성 및 경도의 변화를 나타내었다. 파괴인성 및 경도는 BN 첨가량에 따라 점차적으로 감소하였다. 예를 들어, 파괴인성은 AlN 단미의  $3.4 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 에서 30 vol% BN 첨가에 의해  $2.1 \text{ MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 로 감소하였고, 경도는 AlN

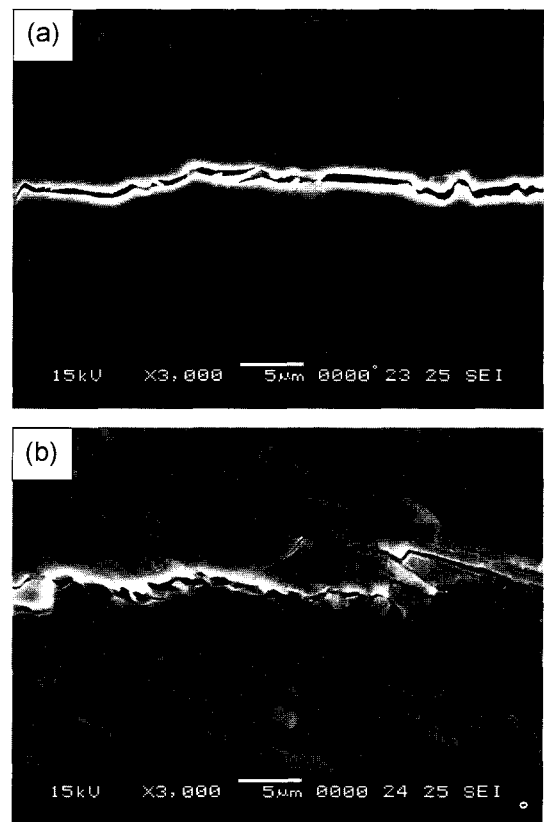


Fig. 4. Crack path in AlN-BN based machinable ceramics. The gray phase in photograph (a) was identified as YAG. Vickers indentation was introduced on surface vertical to hot-pressing direction : (a) 0% h-BN and (b) 25% h-BN.

단미의 11.09 GPa에서 30 vol% BN 첨가에 의해 3.86 GPa로 대략 3배 정도 감소하였다. 잘 알려진 바와 같이, 취성재료의 파괴인성은 탄성계수( $E$ )와 파괴에너지( $\gamma$ )와의 곱의 1/2승에 비례( $K_{1c} \propto (2E\gamma)^{1/2}$ )하므로, 파괴인성이 감소한 것은 탄성계수의 감소와 더불어 h-BN 첨가에 따른 파괴에너지의 감소에 기인한 것으로 생각된다.

Fig. 4에 AlN 단미와 AlN-BN 복합재료의 경면 연마면

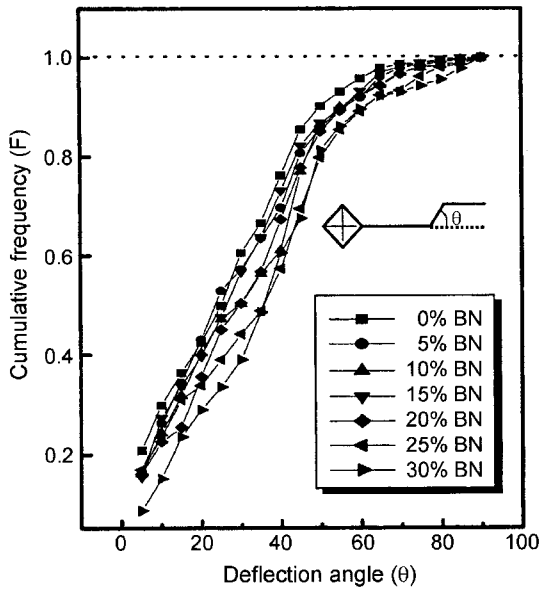


Fig. 5. Cumulative frequency of deflection angle of crack segment to main crack direction for AlN-BN based machinable ceramics.

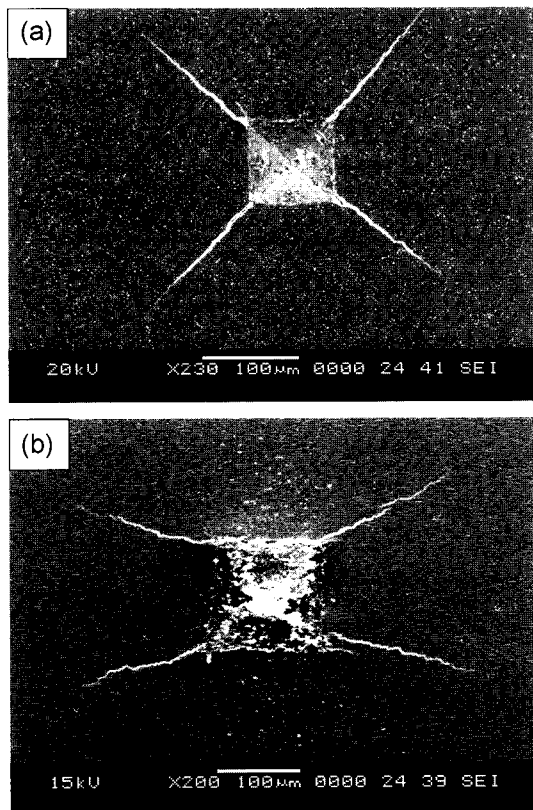


Fig. 6. Crack path in AlN-BN based machinable ceramics. Vickers indentation was introduced on surfaces parallel to hot-pressing direction : (a) 0% BN and (b) 25% BN.

에 비커스 균열을 도입하여 균열의 전파양상을 관찰한 결과를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 BN을 복합화

한 시편의 경우 균열이 지그재그로 진행됨을 알 수 있다. 이러한 균열편향(crack deflection)의 정도는 BN 첨가량이 증가할수록 증가하는 경향을 보였다. 따라서, Fig. 4의 균열편향 효과를 정량적으로 평가하기 위해 균열의 편향각도( $\theta$ )의 상대빈도(F)를 측정하여 Fig. 5에 나타내었다. 여기서, F- $\theta$  곡선이 오른쪽에 위치할수록 고 각도까지 편향되는 것을 의미하며, 고 각도까지 균열이 전파하기 쉬운 것을 의미한다. 그림에서 AlN 단미와 비교하여 BN을 첨가한 복합재료에서 균열편향 효과가 큰 것을 알 수 있다.

Fig. 6에 AlN 단미와 AlN-BN 복합재료의 열간 가압방향에 평행한 면( $4 \times 36$  mm)을 경면연마한 후 비커스 균열을 시편의 장축에 대하여  $45^\circ$  방향으로 도입했을 때 균열의 전파거동을 나타내었다. AlN 단미의 경우 균열이 직선적으로 전파하는 것을 알 수 있으나, AlN-25% BN 복합재료의 경우에는 전파 균열의 진행방향이 점차적으로 시편의 장축 방향으로 편향되며, 총 균열 길이도 증가함을 알 수 있다. 이는 열간압연 방향에 수직, 즉 시편의 장축 방향으로 배향된 h-BN의 벽개면 혹은 AlN/h-BN 계면을 통한 균열전파가 AlN의 결정립계 혹은 입내를 통한 균열전파보다 적은 전파에너지를 요하기 때문으로 생각된다.

Fig. 7에 AlN 단미와 AlN-BN 복합재료에 대하여 굽힘강도 측정후의 파단면을 관찰한 결과를 나타내었다. AlN 단미의 경우 전형적인 입계파괴 양상을 보이고 있다. AlN-BN 복합재료의 경우, BN 첨가에 따라 AlN 결정립이 미세화 되는 경향을 보였으며, 주로 입계파괴 양상을 나타내었다. 또한, 가압방향에 수직하게 배향된 판상형태의 BN 입자의 pull-out 흔적이 많이 관찰되었으며, 이는 AlN과 BN 간에는 약한 계면 결합력이 존재함을 의미한다. 참고로, 본 실험에서는 IF법을 사용하여 파괴인성을 측정 한 결과, AlN-BN 세라믹 복합재료의 파괴인성은 BN 첨가에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나, SEPB (Single Edge Pre-cracked Beam)법 혹은 CSF(Controlled Surface Flaw)법을 사용하여 파괴인성을 측정한다면 판상 입자의 가교(bridging), pull-out 등에 의한 균열저항거동(R-curve behavior)을 보여 파괴인성은 향상될 것으로 판단되었으며, 이 점에 대해서는 추후 검토할 예정이다.

Fig. 8에 생성상을 확인하기 위해 XRD 분석을 행한 결과를 나타내었다. 매트릭스인 AlN의 주 피크 이외에도 YAG상( $Y_3Al_5O_{12}$ )과  $\gamma$ - $Al_2O_3$  spinel상의 피크가 관찰되었다. 이는 기존의 연구결과와도 일치한다.<sup>12)</sup> YAG상은 AlN 분말의 표면에 일반적으로 존재하는  $Al_2O_3$ 와 본 실험에서 소결조제로 첨가한  $Y_2O_3$ 와의 반응에 의해 생성되었다고 판단된다. 한편,  $\gamma$ - $Al_2O_3$  spinel상은 생성된 YAG상으로 부터  $Y_2O_3$  성분의 증발에 의해서 생성된 것으로 생각되었다.<sup>13)</sup> Fig. 9에 TEM으로 관찰한 조직을 나타내었다. AlN 결정립간의 삼중점(triple point)에 존재하는 검은 상에서 Y, Al, O 원소가 검출되었으며, YAG상임을 확인하였다.

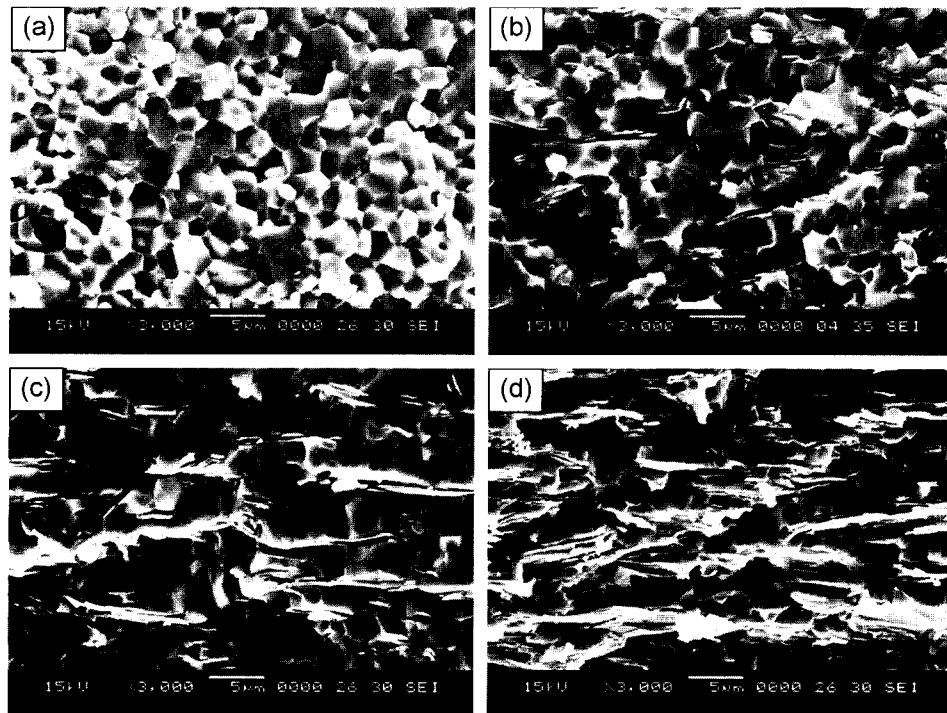


Fig. 7. SEM images of fracture surface in specimens; (a) 0% BN, (b) 5% BN, (c) 15% BN, and (d) 25% BN.

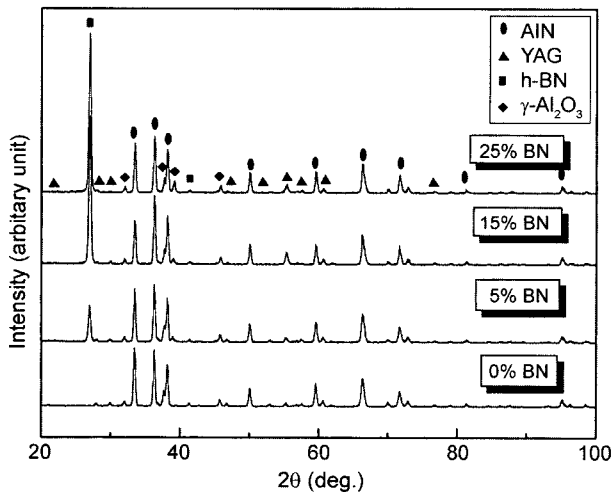


Fig. 8. XRD patterns for AlN monolith and AlN-BN based machinable ceramics in surfaces vertical to hot-pressing direction.

마지막으로, 본 실험에서 제조한 AlN-BN 복합재료의 기계 가공성에 대하여 조사하였다. 기계 가공에 있어서 절삭공구에 작용하는 절삭저항은 일정한 절삭 속도 및 절삭 깊이 하에서 이송방향에 대하여 작용하는 힘을 고려하는 것이 일반적이다. 따라서, 이송속도가 50 mm/min, 절삭 깊이가 0.1 mm로 고정된 상태에서 AlN-BN 복합재료의 절삭속도의 변화에 따른 공구 팁의 절삭력(feed force)과 배분력(thrust force)을 측정된 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 참고로 그림에는 AlN 단미와 AlN-5% BN 복합재

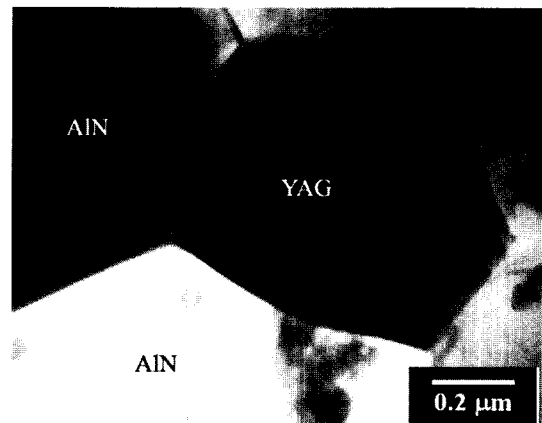


Fig. 9. TEM images of AlN monolith, showing YAG phase existed in triple point of AlN grains.

료의 결과는 생략하였는데, 이는 높은 취성으로 인하여 측정이 불가능하였기 때문이다. 그림에서 보는 바와 같이 h-BN 첨가량이 10% 이상에서는 절삭이 가능하였다. 이는 절삭방향에 수직인 방향으로의 균열전파가 AlN 매트릭스내 존재하는 h-BN 입자의 벽개면에 의해 흡수 또는 감쇠되기 때문이다. 절삭저항은 h-BN의 첨가량이 증가할수록 감소하였는데, 이는 h-BN 첨가량이 증가할수록 h-BN 벽개면간의 평균자유행로(mean free path)가 짧아진 결과로 생각된다. 주목할 점은 15%의 h-BN 첨가에 의해 절삭저항이 급격히 감소함을 알 수 있다. 또한, 10 vol%의 h-BN 첨가한 시편의 경우, 절삭속도가 증가함에 따라

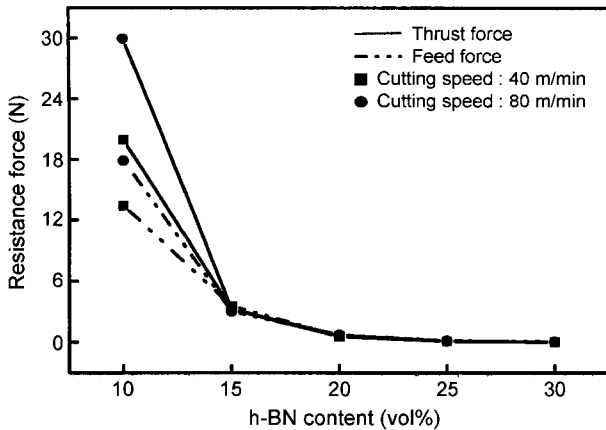


Fig. 10. Effect of h-BN content on the thrust and feed force of AlN-BN machinable ceramics.

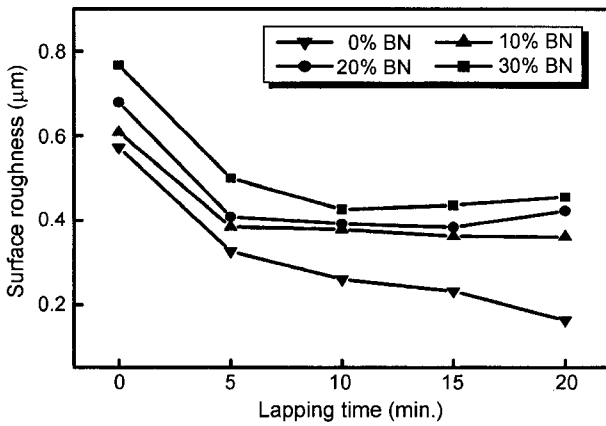


Fig. 11. Effect of lapping time on the surface roughness of AlN-BN machinable ceramics.

절삭력과 배분력 모두 증가하는 결과를 나타냈으나, 15 vol% 이상에서는 큰 차이가 없었다.

Fig. 11에서는 AlN-BN계 기계 가공성 세라믹스의 표면 래핑가공을 수행한 후, 표면 거칠기를 측정된 결과를 나타내었다. 가공시간 20분에서 AlN 단미의 경우가 표면 거칠기 0.163 μm로 가장 낮은 수치를 나타내었으며, 모든 조성에서 20분 내의 짧은 시간에 경면에 가까운 표면 거칠기를 얻을 수 있었다. AlN-BN 복합재료의 경우 가공시간이 길어짐에 따라 표면 거칠기가 점차 나빠지는 경향을 나타내는데, 이는 h-BN의 함량이 많은 경우에는 래핑가공 중 연삭 슛들과 표면으로부터 탈락된 h-BN 입자간의 상호마찰에 의한 결과로 생각된다. 그러나, 전반적으로 AlN-BN 복합재료는 0.5 μm이하의 비교적 양호한 표면거칠기를 보였다.

4. 결 론

열간 가압소결에 의해 제조한 AlN-BN계 기계 가공성

세라믹스의 물성, 미세구조 및 기계가공성에 미치는 h-BN 첨가의 영향을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. h-BN의 첨가량이 증가함에 따라 AlN의 상대밀도는 감소하였다. 상대밀도의 감소는 판상형태의 h-BN 입자가 액상소결시 AlN 매트릭스 입자의 재배열을 방해하기 때문으로 생각된다. AlN-BN 복합재료의 강도와 파괴인성은 h-BN 첨가량과 더불어 감소하였다. 예를 들어, AlN 단미의 강도와 파괴인성은 각각 238 MPa과 3.4 MPa · m<sup>1/2</sup>에서 30 vol% BN 첨가에 의해 각각 182 MPa과 2.1 MPa · m<sup>1/2</sup>로 감소하였다. 이는 BN 첨가에 따른 탄성계수 및 파괴에너지의 감소가 주된 원인으로 생각된다.

2. 매트릭스인 AlN의 주 피크 이외에도 YAG상 (Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>)과 γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> spinel상의 피크가 관찰되었다. YAG상은 AlN 분말의 표면에 일반적으로 존재하는 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 소결조제로 첨가한 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와의 반응에 의해 생성되었다고 판단된다. 한편, γ-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> spinel상은 생성된 YAG상으로부터 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 성분의 증발에 의해서 생성된 것으로 생각되었다.

3. AlN-BN 복합재료에서 BN의 첨가량이 10 vol% 이상에서 양호한 기계가공성을 나타내었다. 그리고 10 vol%의 h-BN 첨가한 복합재료의 경우, 절삭속도가 증가함에 따라 절삭력과 배분력 모두 증가하는 결과를 나타냈으나, 15 vol% 이상 첨가한 복합재료에서는 큰 차이가 없었다. 래핑 시험에서는 가공시간 20분에서 AlN 단미가 가장 낮은 표면 거칠기인 0.163 μm를 나타냈고, AlN-BN 복합재료의 경우 가공시간이 길어짐에 따라 표면 거칠기가 점차 나빠지는 경향을 나타내었으나, 전반적으로 0.5 μm 이하의 비교적 양호한 표면거칠기를 보였다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단의 목적기초연구과제(R01-2001-000-00257-0)지원으로 수행되었으며, 이에 감사를 드립니다.

REFERENCES

1. W. Werdecker and F. Aldinger, "Aluminum Nitride-An Alternative Ceramic Substrate for High Powder Application in Microcircuits," *IEEE Trans. Components, Hybrids Manuf. Technol.*, Vol. CHMT-7 No. 4, 399-404 (1984).
2. Y. S. Lee and J. Y. Lee, "About Vitrified Diamond Abrasive for Machining of Difficult to Grind Materials," *Ceram. Eng.*, **11** [2] 95-8 (1996).
3. S. Nobuaki and W. Koraji, "Laser Cutting of Ceramics(in Jpn.)," *Mech. Eng.*, **32** [8] 66-70 (1984).
4. P. Blake, T. Bifano, T. Dow, and R. O. Scattergood, "Precision Machining of Ceramic Materials," *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **67** [6] 1038-43 (1988).
5. K. S. Mazdiyasi, R. Ruh, and E. E. Hermes, "Phase Analysis and Characteristics of AlN-BN Composites," *Am. Ceram. Soc. Bull.*, **64** [8] 1149-54 (1985).

6. T. Yamaguchi, "Technology of Characterization to Ceramics(*in Jpn.*)," *Ceram.*, **19** [6] 520-29 (1984).
7. KS L 1591, "Testing Method for Flexural Strength(Modulus of Rupture) of High Performance Ceramics," p. 1-4 (1984).
8. K. Niihara, "Indentation Microfracture of Ceramics(*in Jpn.*)," *Ceram. Jpn.*, **20** [1] 12-8 (1985).
9. W. S. Cho and K. Hayashi, "Effect of Uni-directional Orientation of SiC Whiskers on Pressureless-sintering Densification of SiC Whisker/Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> Ceramics Composite," *J. Jpn. Inst. Metals*, **56** [9] 1087-92 (1992).
10. J. F. Shackelford and W. Alexander, "Materials Science and Engineering Handbook," 3rd Ed., p. 764, CRC Press, New York (2001).
11. J. F. Shackelford and W. Alexander, "Materials Science and Engineering Handbook," 3rd Ed., pp. 454-55, CRC Press, New York (2001).
12. K. Komeya *et al.*, "Role of Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and SiO<sub>2</sub> Additions in Sintering AlN," *J. Am. Ceram. Soc.*, **57** [9] 411-12 (1974).
13. S. Mitra, G. Dutta, and I. Dutta, "Effect of Heat Treatment on the Microstructure and Properties of Dense AlN Sintered with Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Additions," *J. Am. Ceram. Soc.*, **78** [9] 2335-44 (1995).