

Powder Blasting 에 의한 머시너블 세라믹의 절삭성

Machinability of Machinable Ceramics in Powder Blasting

김광현, 최영현, 박동삼(인천대 기계공학과)
조원승(인하대 재료공학부), 조명우(인하대 기계공학부)

Abstract

In this study, we investigated the machinability of machinable ceramics which were developed by a research lab. of Inha Univ., Korea. The effect of the nozzle scanning times, the size of patterns and compositions of BN in ceramics on the erosion depth of samples with no mask, and samples with three different mask pattern in powder blasting of machinable ceramics. The blasting conditions were the impact angles 90°, scanning times of nozzle up to 30 and the stand-off distances 100mm. The widths of mask pattern were 0.1mm, 0.5mm and 1mm. The powder was alumina sharp particles, WA#600. The mass flow rate of powder during the erosion test was fixed constant at 150g/min and the blasting pressure of powder at 0.25Mpa

Key Words : Powder blasting, Machinability, Machinable ceramics, Masking process, erosion depth

1. 서론

세라믹은 높은 고온경도 및 내마모성 등의 특성을 가지고 있어 그 용도가 날로 증가하고 있으나 가공이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 그러나, 최근 가공기술이 진보하여 다이아몬드에 의한 연삭이 가능하게 되었고, 특히 공작기계와 공구(고속도강, 초경합금)를 이용하여 절삭가공이 가능한 세라믹이 개발되었다.[1] 이와 같은 세라믹은 쾌삭성 세라믹 또는 머시너블(machinable) 세라믹이라 불려지고 있다.[2]

머시너블 세라믹으로서 널리 이용되는 재료는 판상의 BN 입자들의 벽계성을 이용한 질화붕소(BN)-Si₃N₄계[3,4], 운모결정의 벽계성을 이용한 운모-유리 세라믹계[5,6] 등이 있다. 1920년대에 미국에서 천연운모를 저융점 유리에 결합시킨 운모계 세라믹[7]으로 시작되어, 1970년대에 들어서 불소금운모를 석출시킨 결정화 유리의 개발 이후 본격적으로 연구가 활발히 진행되어 초기에는 운모-유리 결합제, 운모-소결체, 운모-인산염 결합체 등에 관한 연구가 행해졌고, 결정화법에 의한 머시너블 세라믹스의 개발이 이루어진 후 많은 연구가 수행되고 있다.[8-10] 현재, 기계가공성 결정화 유리는 정밀측정기기의 부품, 내열절연판, 내산 내알칼리 기기, 각종 전기절연기판 등과 같이 이용범위가 넓다.[4-7] Si₃N₄-BN계 복합재료는 운모계 결정화유리에 비하여 내열성, 강도 및 열전도성 등이 우수하여[3-7] 용융금속 처리용 치구 등에 응용되고 있다.

한편, 국내의 연구동향을 살펴보면, 1990년도에 한국과학기술원, 한국화학연구소, 전남대에서 AlN-BN계[8], Si₃N₄-BN계[3], 국내산 납석을 이용한 머시너블 세라믹에 대한 연구결과[11]를 발표한 바 있으나, 지속적인 연구는 수행되고 있지 않다. 따라서, 국내에서는 머시너블 소재의 제조공정, 가공평가기술 등의 원천기술의 축적이 선진국에 비해 매우 취약한 실정이며, 정밀 기계용 부품, 반도체 장비용 부품, 브라운관 제조용 치구 등에 응용되는 고부가가치의 머시너블 세라믹 소재는 외국으로부터 전량 고가로 수입되고 있는 실정이다.

본 연구는 인하대학교에서 개발하고 있는 머시

너블 세라믹[12]에 대한 질삭성 평가를 수행하는데 주 목적을 두었으며 이때 사용된 가공방법은 파우더 블라스팅이다. 이 가공법은 종래에 표면의 페인트 제거나 디버링(deburring) 및 유리장식에 사용되어져 오던 샌드블라스팅 기법이 발전된 형태로서 최근 유리나 실리콘 및 세라믹 등 경취재료의 미세가공에 널리 사용되고 있다.[13-16] 이 가공법은 고압의 가스에 의하여 가속된 수 μm ~수십 μm 의 미립분사재(micro abrasive)들을 노즐로부터 고속으로 분사하고 이들의 충격력으로 재료에 미세크랙을 발생시켜 가공하는 기계적 에칭(mechanical etching)의 일종이다.

본 연구에서는 파우더 블라스팅 기법을 이용한 머시너블 세라믹의 미소가공시 BN원소의 함유량에 따른 가공성을 평가하기 위하여 마스크 패턴의 크기 및 노즐의 주사(scanning) 횟수 등이 가공 효율에 미치는 영향을 규명하고자 하였다.

2. 파우더 블라스팅

파우더 블라스팅의 기본원리를 Fig. 1에 나타내었다. 분사재는 입자의 크기가 3-30 μm 인 알루미늄을 주로 사용하는데 입자들은 노즐에서 1-5기압의 공기로 가속되어 약 80-200m/sec의 속도로 공작물에 충돌되면서 표면 가공을 일으키게 된다.

가공을 원하지 않는 부분은 설계된 패턴형상을 갖는 마스크(mask)로 보호를 한 상태에서 가공하게 되는데, 노즐을 좌우 혹은 전후로 스캐닝 하면

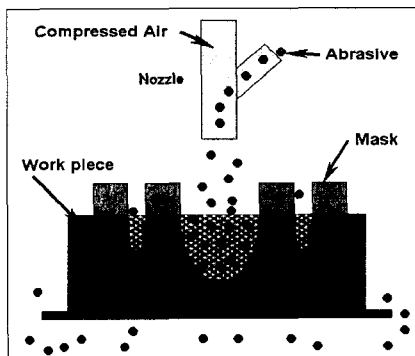
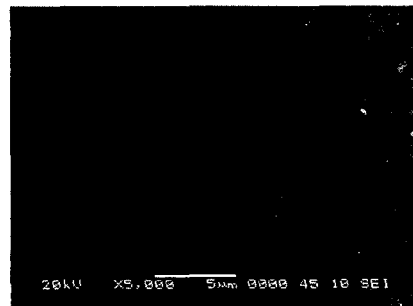


Fig. 1 A schematic principle of powder blasting.

아주 미소하거나 복잡한 형상뿐만 아니라 높은 세장비(aspect ratio)의 부식도 가능하게 된다. 가공의 깊이는 스캐닝 횟수를 조절함으로써 제어 가능하다.

3. 머시너블 세라믹의 제조

본 실험에서 사용된 세라믹 시편들은 인하대학교에서 가공성을 높이기 위하여 개발한 세라믹을 사용하였다. 제조한 복합체의 매트릭스 분말로는 α - Si_3N_4 (Ube Kosan사, E-10, α -phase >95%, 평균 입자 크기 : 0.17 μm)를 사용하였고, 소결조제로는 Y_2O_3 (Shinetsu chemical사, AKP-30, 순도 : >99.5%, 평균 입자 크기 : 0.25 μm)와 Al_2O_3 (Sumitomo chemical사, 순도 : >99.99%, 평균 입자 크기 : 0.39 μm)를 사용하였다. 그리고 첨가 분말인 h-BN(고순도 화학연구소, 순도 : >99%, 평균 입자 크기 : 10 μm)를 사용하였다. Fig. 2에는 h-BN 입자를 나타내었다. BN 입자는 판상의 형상을 보이고 있는 것을 알 수 있다.



(a) Si_3N_4 powders



(b) BN powders

Fig. 2 SEM photographs of Si_3N_4 and BN powders

4. 실험 장치 및 방법

4.1 시편

분사횟수가 표면 가공에 미치는 영향을 조사하기 위하여 두 단계의 실험을 수행하였다. 첫 단계 실험은 마스크가 없는 평면형상의 시편에 대하여 가공성을 분석하였으며 두번째 단계의 실험에서는 정사각형과 원형의 패턴을 갖는 마스크가 있는 시편에 대하여 가공성을 조사하였다.

두번째 단계의 실험에서는 0.1mm 두께의 마스크용 필름인 Ordyl BF410(일본)을 사용한 마스크가 있는 시편에 대한 가공성을 조사하였다. 직경 혹은 폭이 0.1, 0.5 및 1mm인 직선, 정사각형 및 원형의 3종류의 패턴 마스크를 갖는 Fig. 3과 같은 시편을 사용하였다. Fig. 3(o)는 원과 선 및 정사각형의 3종류 패턴을 모두 포함하고 있는 한 시편의 형상을 나타낸 것이며 Fig. 3(a-c)는 각 패턴의 대표적 형상을 확대하여 나타낸 것으로 패턴의 경계부 마스크가 완벽하지 않음을 보여주고 있다.

한편, 사용된 세라믹 시편의 성분조성은 Si_3N_4 86mol%, Y_2O_3 8mol%, Al_2O_3 6mol%로 일정하며 마스크가 없는 시편의 경우 BN은 0~30vol%로, 마스크가 있는 시편은 10,15 및 20vol% 인 것을 사용하였다.

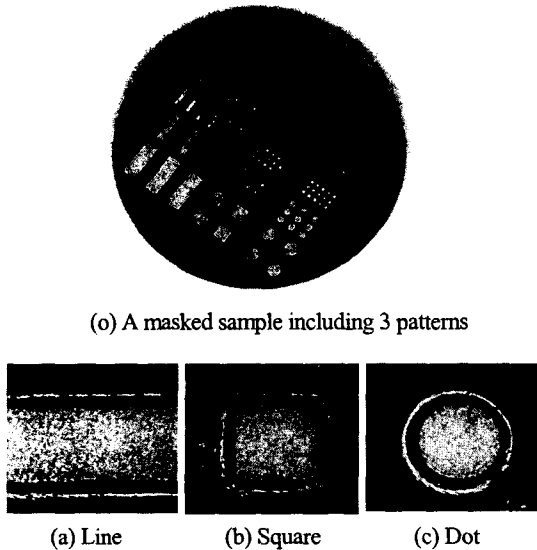


Fig. 3 Masking patterns of samples

4.2 실험 장치 및 조건

모든 실험은 일본의 Sintoblator에서 제작된 MICROBLASTER (type MB1)을 사용하여 수행되었다. 노즐은 알루미늄 재질로 내경이 8mm인 원통형상이며 사용된 미립분사재는 알루미늄의 일종인 WA#600이다. 분사재의 공급은 150g/min으로, 분사압력은 0.25MPa로 일정하게 유지하였다. 실험조건은 Table 1에 요약하여 나타내었다.

Table 1 Experimental conditions

Powder material	WA #600
Impact angle (°)	90
Scanning speed(mm/s)	50
Scanning path interval(mm)	5
Mass flow rate of powder (g/min)	150
Blasting pressure(MPa)	0.25
Stand-off distance(mm)	100
Scanning times	10,20,30

첫번째 단계의 실험에서 분사재는 Fig. 5(a)와 같이 전체의 시편표면에 분사되며 두번째 단계 실험에서는 Fig. 5(b)와 같이 노즐의 중심선이 마스크 패턴의 중심선에 일치하도록 분사되게 하였다.

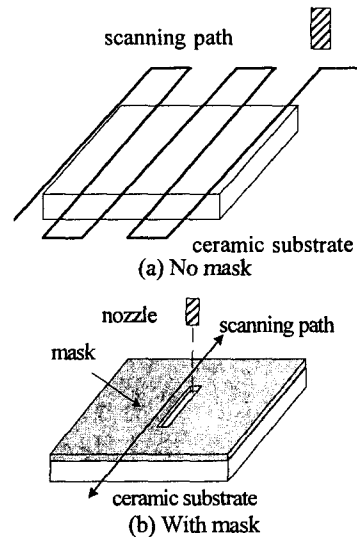


Fig. 4 Nozzle scanning path.

4.3 측정

마스크이 없는 시편에 대한 제거깊이는 버니어 캘리퍼스를 사용하여 초기 상태와 가공 후의 시편 두께로부터 산출하였다. 마스크를 한 시편에 대한 패턴의 가공깊이는 Veeco사의 박막두께 측정기(DEKTAK 3)를 이용하여 구하였으며 블라스팅 가공 전 시편의 마스크 상태나 가공 후 시편의 단면 형상은 HIROX사의 3D Micro-Vision System(KH1000)을 사용하여 관찰하였다.

5. 실험결과 및 고찰

5.1 평면가공실험

마스크이 없는 상태에서 개발 세라믹의 BN 성분별 각 시편에 대한 파우더 블라스팅 가공실험을 수행하였다. 시편의 BN 성분비(vol%)가 각각 0, 5, 10, 15, 20, 25 및 30 인 시편에 대하여 노즐의 주사횟수를 10회, 20회 및 30회로 변화시키면서 세라믹의 제거깊이를 분석한 결과 Fig. 5와 같이 나타났다. BN함량이 0% 일 경우는 거의 가공이 일어나지 않았으며 BN함량이 증가함에 따라 동일 주사횟수에 대하여 제거깊이가 거의 직선적으로 증가함을 알 수 있다. 특히 주사횟수가 많을수록 제거깊이는 더 크게 증가하고 있다. 이러한 결과는 BN 함량이 증가할수록 가공성이 증가한다는 것을 의미한다.

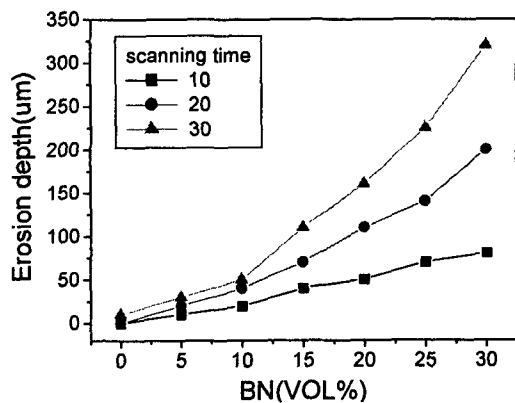
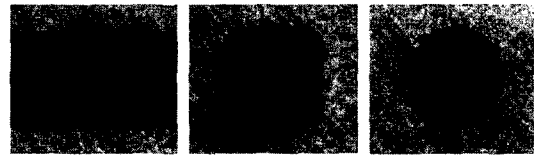


Fig. 5 Variation of erosion depth

5.2 마스크 시편의 가공성

도트의 직경과 직선 홈 및 정사각형 패턴의 폭이 포켓의 폭이 각각 500 μ m이고 BN 함유량이 15%인 Fig. 3의 마스크 시편에 대하여 노즐의 주사횟수를 10회로 했을 때 가공 후의 시편형상을 3D Micro-Vision System 으로 촬영한 결과를 Fig. 6에 나타내었다. 각 패턴에서 목표로 하였던 형상이 거의 정확하게 가공되고 있음을 알 수 있다.



(a) Line groove (c) Square pocket (c) Dot pocket

Fig. 6 Pattern shape generated by powder blasting (BN 15Vol%, pattern dimensions 500 μ m)

Fig. 7은 Fig. 6(b)의 선형 홈 패턴에 대하여 박막두께 측정기를 사용한 단면 측정결과를 도시한 그림으로 가공깊이는 약 15 μ m으로 나타나고 있다. 단면의 형상은 정확한 진직면은 아닌데 이는 파우더 블라스팅의 가공 기구상 피할 수 없는 현상으로 파우더 블라스팅을 이용한 미세가공시 하나의 제약요인이 됨을 알 수 있다.

Fig. 8은 각 패턴 형상에 대하여 BN의 함량 변화에 따른 가공깊이를 나타낸 그림이다. 모든 패턴형상에 대하여 BN 함량이 커질수록 가공깊이

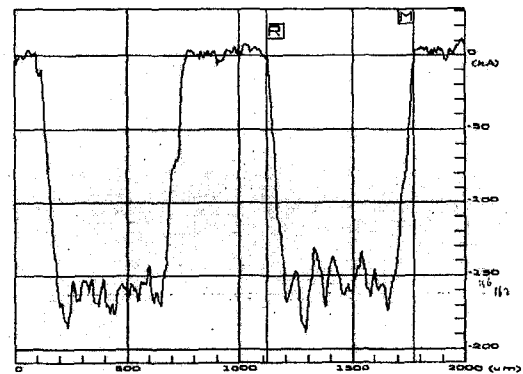


Fig. 7 Cross section of line groove (BN 15Vol%, groove width 500 μ m)

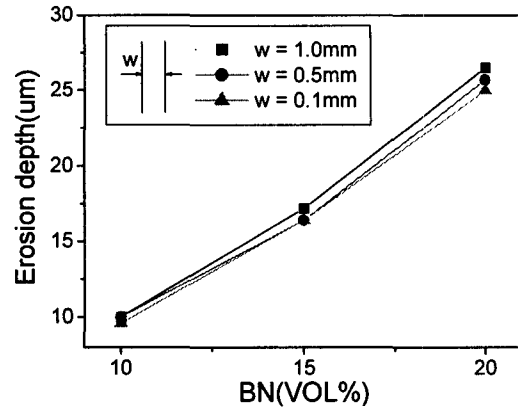
또한 거의 비례하여 커지고 있음을 알 수 있다. 그러나, 각 패턴의 크기는 가공깊이에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있는데 전반적으로 패턴의 크기가 증가할수록 가공깊이는 커진다. 이는 블라스트 락(blast lag) 현상에 기인하는 것으로 패턴형상이 커질수록 가공깊이가 커진다는 기존의 연구결과와 어느 정도 잘 일치하고 있다.

이러한 실험결과로부터 파우더 블라스팅에 의한 머시너블 세라믹의 가공이 일반적인 형태의 평면연마 뿐만 아니라 100 μ m 정도까지의 미세패턴까지도 충분히 가공할 수 있다는 것을 알 수 있으며, 가공성은 BN의 함량이 커질수록 우수해지는 경향을 보였다. 따라서, 미세형상이나 패턴의 정밀 미세가공에 큰 어려움을 겪던 세라믹을 대체하여 머시너블 세라믹의 활용분야가 크게 확대될 것으로 보이며, 앞으로는 실제의 부품에 대한 적용 연구가 요청된다.

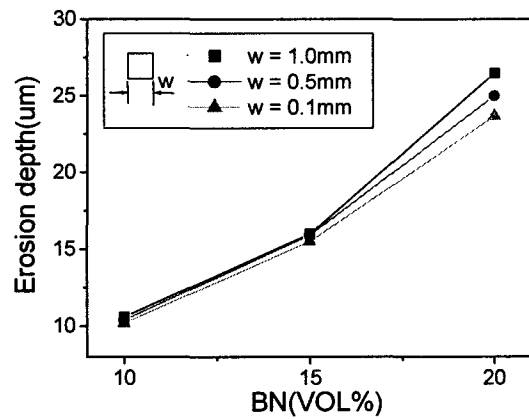
6. 결론

경취재료의 패턴가공 혹은 3차원 미세성형가공에 주로 응용되고 있는 파우더 블라스팅을 이용하여 국내의 한 대학교에서 개발되고 있는 머시너블 세라믹의 가공성 평가를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

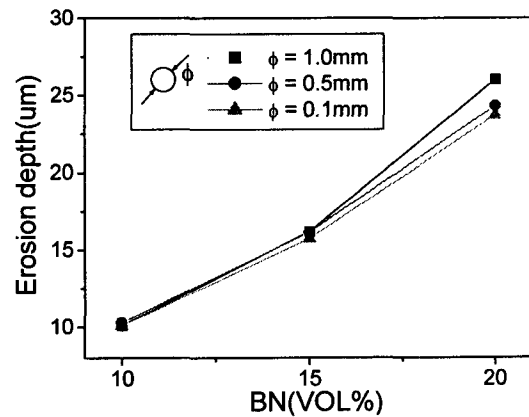
- 1) 마스크가 없는 시편에서 BN함량이 0% 일 경우는 거의 가공이 일어나지 않았으며 BN 함량이 증가함에 따라 동일 주사횟수에 대하여 제거 깊이가 거의 직선적으로 증가함을 알 수 있었다.
- 2) 머시너블 세라믹에 대한 마스크 작업이 효율적으로 가능하다는 것을 확인하였다.
- 3) 마스크가 있는 3종류의 패턴 형상에 대하여 BN 함량이 커질수록 가공깊이 거의 직선적으로 비례하여 커짐을 알 수 있었다. 그러나, 각 패턴의 크기는 가공깊이에 거의 영향을 미치지 않았다.
- 4) 직경이나 폭이 0.1mm까지의 미세패턴까지도 정밀 미세가공이 가능함을 알 수 있었다.



(a) Line groove



(b) Square pocket



(c) Dot pocket

Fig. 8 Effect of BN(Vol%) on the erosion depth
(Nozzle scanning times 10)

참고문헌

1. 이길우, 김순태, "세라믹스의 절삭거동에 관한 실험적 연구," *요업학회지*, 30(5), 420-426, 1993.
2. 高田和哉, "マシナルセラミックスの切削加工," *機械技術* (9月 別冊), 35(12), 130-134, 1989.
3. Kee Sung Lee, Seung Kun Lee, Do Kyung Kim, "Quasi-Plasticity of Si₃N₄-BN Composites," *한국재료학회지*, 8(3), 1998.
4. K.S. Mazdiyasi, R. Ruh, and E.E. Hermes, "Phase Characterization and Properties of AlN-BN Composites," *Am. Ceram. Soc. Bull.*, 64(8), 1149-1154, 1985.
5. K. Komeya, H. Inoue, and A. Tsuge, "Role of Y₂O₃ and SiO₂ Additions in Sintering of AlN," *J. Am. Ceram. Soc.*, 57(9), 411-412, 1974.
6. K.A. Schwetz, H. Knoch, and A. Lipp, "Sintering of Aluminum Nitride with Low Oxide Addition," 245-252 in *Progress in Nitrogen Ceramics*, Ed. by F.L. Riley, Martinus Nijhoff, The Hague, Netherland, 1983.
7. 大門信利, "合成雲母-machinable ceramics-'セミックス', 15(3), 156-159, 1980.
8. C.K. Chyung, "Secondary Grain Growth of Li₂O-Al₂O₃-SiO₂-TiO₂ Glass Ceramics," *J. Am. Ceram. Soc.* 52, pp.242-245, 1969.
9. Sofia Saori Suzuki, Seiichi Taruta, Nobuo Takusagawa, "Sintering and Microstructure of Alumina/Mica and Spinel/Mica Composites", *The Korean Journal of Ceramics*, 4(4), 363-367, 1998.
10. Dong Soo Baik, Kwang Soo No, John Soung-Soon Chun, "Mechanical Properties of Mica Glass-Ceramics", *Journal of the American Ceramic Society*, 78(5), 1217-1222, 1995.
11. 김직상, 하정수, 정덕수, 한경섭, "AlN-BN계 세라믹스의 기계가공성과 강도," *요업학회지*, 31(2), 177-184, 1994.
12. 조원승, 반도체 검사장비용 쾌삭성 세라믹 부품 소재 개발, 산·학·연 컨소시엄 최종보고서 인하대학교 산업과학기술연구소, 2001. 4
13. 최중순, 박경호, 박동삼, "Micro Abrasive Jet Machining 을 이용한 유리의 미세 홈 가공," *한국정밀공학회지*, Vol. 18, No. 10, pp. 178-183, 2001.
14. Henk Wensink, U.W. Berenshot, Henri V. Jan seu, Miko C. Elwenspoek, "High Resolution Powder Blast Micromachining," *Proceedings of the IEEE Micro Electro Mechanical Systems (MEMS) 2000*, pp. 769-774, 2000.
15. H.J. Ligthart, P.J. Slikkerveer, F.H. In't Verd, P.H.W. Swinkels, M.H. Zonneveld, "Glass and Glass Machining in Zeus Panels," *Philips J. Res.*, Vol. 50, No. 3/4, pp. 475-499, 1996.
16. D.Solignac, A.Sayah, S.Constantin, R.Freitag, M.A.M. Gijs, "Powder blasting for the realization of microchips for bio-analytic applications," *Sensor and Actuators A* 3003, pp. 1-6, 2001.