

다이아몬드 코어드릴의 중공비가 절삭력에 미치는 영향

김광민*, 최성대#, 홍영배**

A Study of the Effectiveness of Hollow Ratio on Cutting Force of Diamond Core Drill

Kwang-Min Kim*, Seong-Dae Choi#, Young-Bae Hong**

(Received 1 April 2011; received in revised form 15 April 2011; accepted 18 April 2011)

ABSTRACT

In this study, the variation of the cutting forces generated in the machining process were evaluated experimentally. A material of Al_2O_3 ceramic and a tool of the dynamometer were used for the measurements of the cutting forces. With the constant rates of the feed and the tool rotation, the cutting forces were measured along three axial directions(X, Y, Z axis) for the various values of the hollow ratio. It was found that the cutting force be increasing linearly along the direction of Z axis, but along X, Y axis be not varied. Also from the viewpoint of the precesses of the hole drilling, the cutting force was found to be increasing sharply at the beginning process, but from the eighth process be increasing smoothly. As conclusions, the cutting force generated by machining for the material of Al_2O_3 ceramic are influenced more significantly by the feed rate and the hollow ratio than by the tool rotational speed.

Key Words : Sintered Ceramics(소결 세라믹), Core Drill(코어 드릴), Cutting Force(절삭력), Hollow Ratio(중공비), Tool Dynamometer(공구 동력계)

1. 서 론

알루미나 세라믹스는 물리적, 화학적, 기계적 및 열적으로 높은 안정성을 가지고 있으며, 특히 전기 절연성과 내 부식성이 우수하고 소재의 저비용 등의 장점이 있기 때문에 LCD 산업을 포함한 디스

플레이 분야에서 사용되며, 다수의 구멍이 가공된 세라믹 판은 MCP, 필터, 집적회로에서의 전기절연체 등 다양한 분야에 사용되고 있다^[1,2]. 세라믹 재료에 직접 구멍가공을 수행하는 것은 높은 경도와 취성으로 인하여 생산성이 떨어지기 때문에, 세라믹 성형체에 구멍가공을 수행한 후 소결하는 방법이 연구되고 있다. 세라믹 성형체는 세라믹 분말과 적절한 고분자 결합재의 혼합물이며 소결된 세라믹에 비하여 낮은 경도를 갖는다^[3]. 세라믹 성형체에 구멍 가공을 수행할 수 있는 방법으로 펀치를 이용한 방법이 개발되어 있으나 펀치에 발생하는

* 한국폴리텍VI대학구미캠퍼스 자동화시스템과

교신저자 : 금오공과대학교 지능기계공학과

E-mail : sdchoi@kumoh.ac.kr

** (주)금강퀴츠

높은 압력으로 인하여 깊은 구멍 가공이 어렵기 때문에, 필름 형상의 얇은 세라믹 성형체에만 적용되고 있다^[4]. 취성파괴와 열적 열화 한계성은 내구성 및 신뢰성 저하 문제를 초래하여 물성 제어 기술 확보가 필요하다^[5,6]. 세라믹스는 기계가공에 의한 상처, 유기물의 혼합물, 조대 입자 등의 여러 가지 결함으로부터 파괴가 일어난다^[7]. 연삭가공이 파괴강도에 미치는 영향에 대해서는 이미 많이 검토되었으며 세라믹 성형체의 구멍가공 방법에 대한 연구가 필요하다. 세라믹 성형체의 가공방법에 대해 기존에 수행된 연구는 다음과 같다. Doreau 등은 고분자 결합체의 무게비율에 따른 유리 전이 온도가 세라믹 성형체의 강도에 미치는 영향에 대하여 연구를 수행하였다^[8]. Imen 등은 CO₂ 레이저를 이용하여 알루미늄 성형체에 구멍가공을 수행하였으나, 가공과정 중 레이저의 열에 의하여 입구의 직경이 증가하였으며, 이로 인하여 기울어진 형상의 구멍이 가공되었다. 이와 같이 세라믹 성형체의 가공에 관한 다수의 연구들이 수행되었지만 소결체에 관한 연구 실적은 미미한 실정이다.

본 연구에서는 알루미늄 세라믹 소결체에 양질의 다수의 구멍가공을 수행하기 위한 가공 조건과 세라믹스 가공용 다이아몬드공구의 중공비가 절삭력에 미치는 영향을 분석하기 위하여 3가지 유형의 중공비를 가진 다이아몬드공구를 이용하여 구멍가공을 수행하였다. 절삭력을 측정하기 위하여 공구동력계(Kistler 9257B)를 사용하여 가공 조건과 상이한 중공비를 가진 공구에 따른 구멍 가공 시 부가되는 가공 부하를 관측하였고, 공구의 중공비가 가공 부하에 따른 절삭력에 미치는 영향을 실험적으로 검토하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1 시험편 및 사용 공구

내식성과 내마모성, 고강도 및 높은 전기절연성을 가져 반도체 웨이퍼(wafer)와 리프트 핀(lift pin), 정전 척(chuck)과 핸들링 암(handling arm)등의 재료로 널리 쓰이고 있는 Al₂O₃ 소결체를 시편으로 사용하

Table 1 Al₂O₃ contents and its mechanical properties

Composition		Mechanical properties		
Al ₂ O ₃	Vicker's hardness (GPa)	Flexural strength (MPa)	Young's modulus (GPa)	poisson's ratio
99.7%	17.2	380	380	0.23

Table 2 Dimension of tool

Hollow ratio	t (mm)	φD (mm)	L (mm)	l (mm)	N (mm)
0.82	0.72	8	60	20	5
0.73	1.08	8	60	20	5
0.64	1.44	8	60	20	5

였으며, Table 1에 그 순도와 물성을 나타내었다. 마이크로드릴과 다이아몬드 코어드릴, 티탄(Ti)코팅 고속도강 드릴 등이 구멍 가공에 주로 사용되고 있으나 본 시험에서 구멍가공에 사용된 다이아몬드공구는 칩(chip)배출을 쉽게 하고 연삭효율을 높이기 위해 Table 2와 같이 외경 8mm인 3가지 유형의 중공비(hollow ratio)를 가진 전착 코어 드릴에 200메시(mesh)의 다이아몬드입자를 쾌삭강 재질의 생크에 니켈로 전착하여 제작한 공구의 치수를 나타내었고, Fig. 1은 본 시험에서 사용된 드릴의 형상을 보여주고 있다.

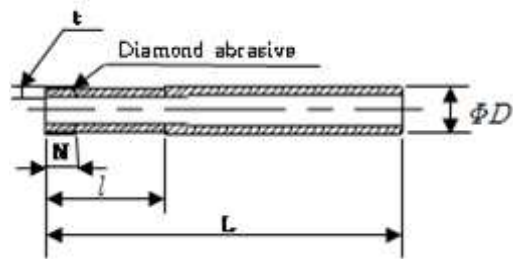


Fig. 1 Shape of core drill and its specification

2.2 실험 방법

정확한 회전수와 이송속도를 구현하고 가공의 균일성을 확보하기 위하여 CNC머시닝센터(TNV-40A)를 이용하여 동일한 공구회전수에서 이송속도를 변경 혹은 동일한 이송속도에서 공구회전수를 변경시

켜 구멍가공을 실행하였으며, 가공 부하는 공구동력계(tool dynamometer)를 이용하여 측정하였으며 구멍가공을 할 경우에는 칩 막힘 현상과 공구마멸 및 파손으로 인하여 공구수명에 영향을 미치기 때문에 구멍 가공 시 발생하는 열을 냉각시키고 연삭효율을 향상시키기 위하여 0.1mm 간격으로 스텝(step)가공을 하였으며, Table 3에는 머시닝센터의 가공조건인 공구회전수와 이송속도, 공구의 중공비에 따른 공구 두께 값을 나타내었다. Fig. 2에는 공구의 중공비 변화에 따른 3가지 유형의 공구 두께의 확대된 사진을 나타내었으며, Fig. 3에서는 머시닝센터에서 구멍 가공 시 공구동력계에 의해서 절삭저항력을 측정하는 모습을 나타내었다.

Table 3 Machining conditions

Cutting speed (rpm)	Feed rate (mm/min)	Hollow ratio (t=Tool thickness)
2,000	5	0.82 (t=0.72)
		0.73 (t=1.08)
		0.64 (t=1.44)
	9	0.82 (t=0.72)
		0.73 (t=1.08)
		0.64 (t=1.44)
3,000	5	0.82 (t=0.72)
		0.73 (t=1.08)
		0.64 (t=1.44)
	9	0.82 (t=0.72)
		0.73 (t=1.08)
		0.64 (t=1.44)

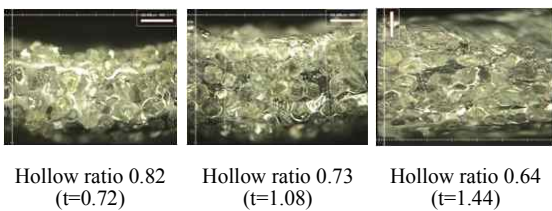


Fig. 2 Tool shape with different hollow ratio (hole no. 16)



Fig. 3 Cutting force measurement using dynamometer

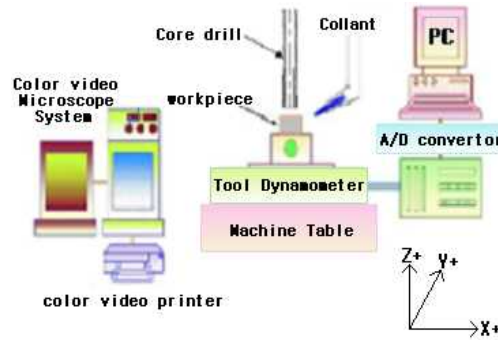


Fig. 4 Experimental set-up of drilling

Fig. 4는 절삭력 측정 실험 장치의 구성도를 나타낸 것이다. 실험 장치는 구멍 가공 시 발생하는 X축, Y축, Z축 방향에서 작용하는 절삭력을 측정하기 위하여 공구동력계(Kistler 9257B)를 머시닝센터(machining center) 테이블에 설치하여 시편을 고정하였다. 시험편으로 사용된 13mm 두께의 Al₂O₃ 소결체를 Table 2에서 제시한 3가지 유형으로 제작된 다이아몬드 코어드릴을 사용하여 공구회전수와 이송속도, 중공비를 변화시켜 가면서 1, 8, 16, 24번째 구멍 가공 후 절삭력의 변화를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 가공조건에 따른 절삭력의 변화

3가지 유형의 중공비로 제작된 다이아몬드공구를 사용하여 구멍 가공조건에 따른 가공 부하인 절삭력을 측정하였다. Fig. 5에서 보면 가공 부하에 따른 절삭력은 X, Y축 방향에서는 평면상에서 회전운동을 하기 때문에 거의 변화가 없으나 Z축 방향은 수직방향의 운동으로 인하여 가공부하에 따른 절삭력은 다

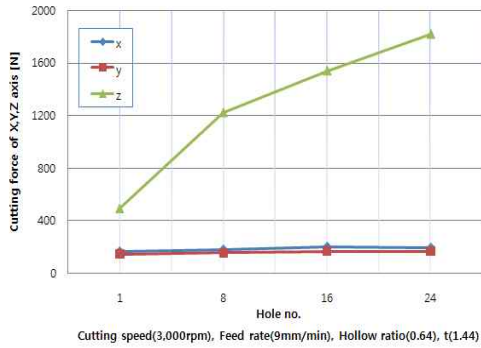


Fig. 5 Cutting force distribution of X, Y, Z axis

감소하

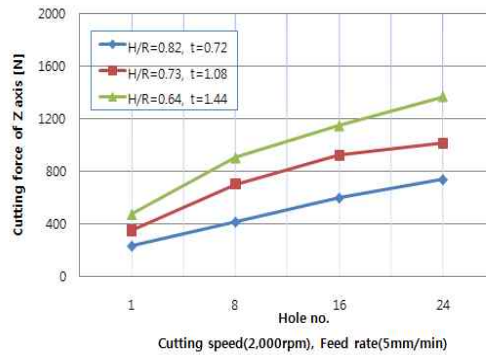


Fig. 7 Cutting force distribution of Z axis with different hollow ratio

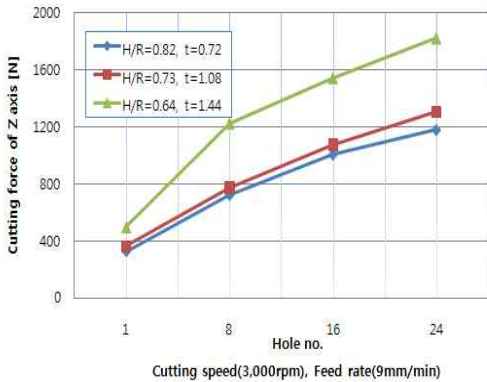


Fig. 6 Cutting force distribution of Z axis with different hollow ratio

큰 X, Y축 방향에 비하여 큰 값이 측정되었다. 본 연구에서는 X, Y축 방향은 고려하지 않고 Z축 방향의 절삭저항력만 검토하였다. 또한, Z축 방향의 절삭저항력은 8번째 구멍 가공까지는 급격히 증가하였으나 그 후는 구멍 가공 횟수가 증가할수록 선형적으로 증가하는 경향을 나타내었다. Fig. 6에서는 공구 회전수와 이송속도에 대한 중공비 변화에 따른 절삭력을 나타내었다. 중공비가 0.82와 0.73일 때에는 절삭력의 변화가 작게 나타나고 있으나 중공비가 0.64일 때는 공구두께의 증가로 인한 단면적의 변화로 가공부하가 커짐에 따라서 현저하게 선형적으로 증가하고 있음을 알 수 있었다. Fig. 7에서는 Fig. 6과 비교하여 공구회전수와 이송속도가 감소할 때 중공비 변화에 따른 절삭력은 중공비가 0.82에서 0.64로

고 공구두께가 증가할수록 8번째 구멍 가공까지는 공구단면적의 변화로 인하여 급격히 증가하고 있으며, 그 이후 가공에서는 선형적으로 증가하였다.

3.2 공구 중공비에 따른 절삭력과 압력의 변화 분석

진착다이아몬드 코어드릴의 중공비의 변화에 따른 Z축 방향에서의 가공부하인 절삭저항력과 압력의 변화 거동을 관측하기 위하여 Table 3에 나타난 가공조건인 공구회전수와 이송속도를 변화시키면서 시편에 24개의 구멍가공을 하였으며 가공부하는 24번째 가공시 측정된 절삭력 중에서 Z축의 최대 가공부하의 값을 선택하였다. Fig. 8에서는 공구회전수에 대한 이송속도와 중공비 변화에 따른 Z축 방향의 절삭력에 대한 변화를 나타내었다. 중공비가 0.72일 때는 이송속도 증가에 따른 절삭력이 근소한 차이로 증가하고 있으나 중공비가 0.64로 감소하면서 단면적의 증가로 인하여 이송속도가 증가되면서 절삭력이 급격히 증가함을 보여주고 있다. 이러한 절삭력의 값은 공구회전수가 일정할 때 변동 이송속도 하에서 최적 중공비를 예측하는데 중요한 자료가 될 것이다. Fig. 9에서는 Fig. 8과 비교하여 공구회전수를 증가시킬 때 이송속도와 중공비 변화에 따른 절삭력의 변화를 나타내었다. 동일한 중공비의 공구로 가공할 때 이송속도에 증가에 따른 절삭력의 변화는 큰 차이가 없었으며 구멍가공

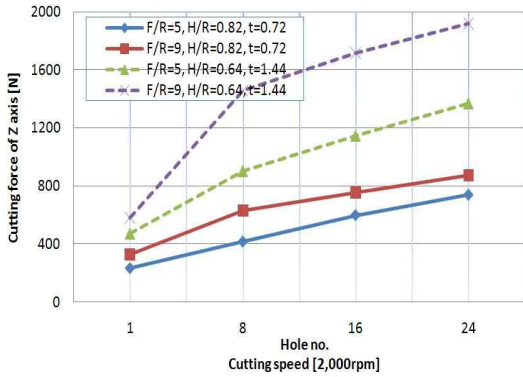


Fig. 8 Cutting force distribution of Z axis with different hollow ratio and feed rate(cutting speed 2000rpm fixed)

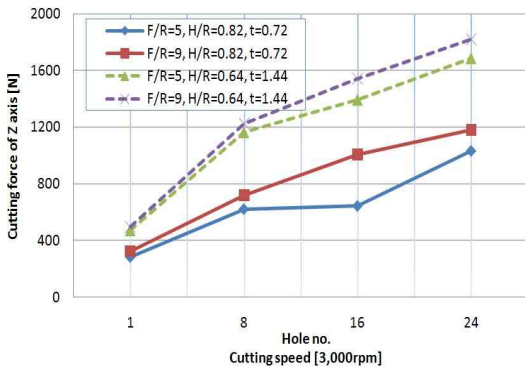


Fig. 9 Cutting force distribution of Z axis with different hollow ratio and feed rate(cutting speed 3000rpm fixed)

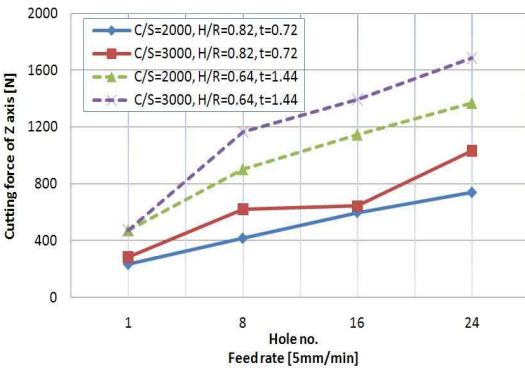


Fig. 10 Cutting force distribution of Z axis with different hollow ratio and cutting speed(feed rate 5mm/min fixed)

횟수의 증가에 따라서 선형적으로 증가하였다. Fig. 10에서는 이송속도에 대한 공구회전수와 중공비가 변할 때 Z축 방향에서의 절삭력의 변화를 나타내었다. 중공비가 0.82에서 0.64로 감소하고 공구 두께가 증가할수록 단면적 변화에 따른 가공부하의 증가로 인하여 절삭력은 증가하였으며, 공구회전수가 증가함에 따라 8번째 구멍 가공까지는 급격히 증가하였으나 이후 가공부터는 완만한 증가 추세를 나타내었다. Fig. 11은 Fig. 10과 비교하여 이송속도의 증가에 대한 공구 회전수와 중공비 변화에 따른 절삭력 값을 나타내었다. 중공비가 감소함에 따라 단면적의 증가로 인하여 절삭력은 초기가공 상태에서는 급격히 증가하였으나 9번째 구멍 가공 이후부터는 선형

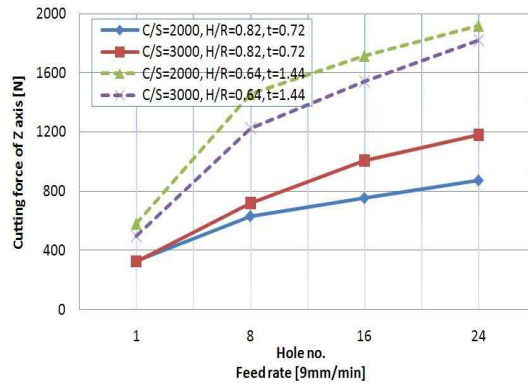


Fig. 11 Cutting force distribution of Z axis with different hollow ratio and cutting speed(feed rate 9mm/min fixed)

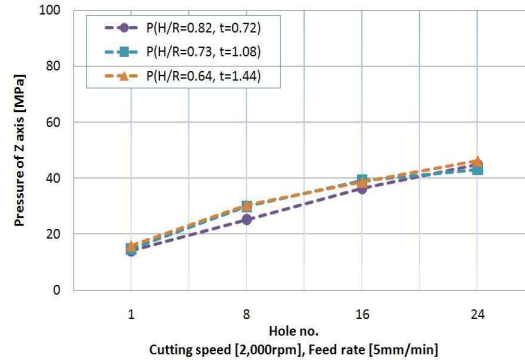


Fig. 12 Pressure of Z axis with different hollow ratio(cutting speed 2000rpm, feed rate 5mm/min fixed)

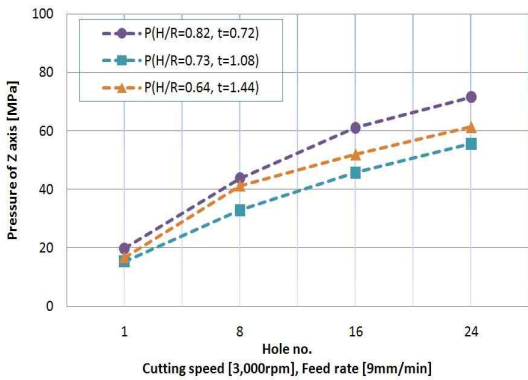


Fig. 13 Pressure of Z axis with different hollow ratio (cutting speed 3000rpm, feed rate 9mm/min fixed)

적으로 증가하고 있으며 동일한 중공비에서는 공구 회전수의 변화에 따른 절삭력의 증감은 근소한 차이를 보이고 있었다. Fig. 12는 공구회전수와 이송속도가 가장 낮은 상태일 때 중공비 변화에 따른 압력값을 나타내었다. 이때의 압력값은 공구동력계에서 측정된 Z축 절삭저항력은 중공비가 다른 3가지 유형의 단면적으로 나누어진 것으로 단위면적당 작용하는 절삭저항력으로 표시될 수 있다. Fig. 12에서 중공비 변화에 따른 압력값의 변화는 근소한 차이로 비슷한 경향을 나타내었다. 그러나 Fig. 13에서는 공구회전수와 이송속도의 증가에 대한 압력값의 변화를 나타내었다. 이것으로 공구회전수와 이송속도가 증가함에 따라 즉 절삭가공속도가 증가함에 따라 중공비의 영향이 나타남을 알 수 있다. 또한 Fig. 13에서 구멍가공 횟수가 증가함에 따라 압력은 선형적으로 증가 하였으나, 중공비가 0.73 일 때 가장 작은 압력값을 나타내었다. 이것은 공구에 걸리는 단위 면적당의 절삭저항이 가장 적은 것이 공구치수의 최적조건으로 나타낼 수 있다. 본 연구에서 세라믹스 가공에서 중공비는 0.73 부근에서 가장 적절하다는 것을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 난삭재인 Al_2O_3 소결체인 시편을 외경 8mm인 중공비가 다른 중공축을 지닌 전착 다

이아몬드 코어드릴을 이용하여 시편에 구멍을 가공하면서 공구 동력계를 이용해 가공 부하인 절삭저항력을 측정하여 분석하였으며, 공구의 중공비를 포함한 가공조건에 따른 절삭력의 변화를 조사하였으며 본 논문의 시험범위 내에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 공구회전수와 이송속도에 대한 가공부하에 따른 절삭력의 변화는 X, Y축 방향에서는 평면상에서 회전 운동을 하기 때문에 거의 변화가 없는 것으로 측정되었고 Z축 방향에서는 수직 방향 운동으로 인하여 구멍가공 횟수가 진행 될수록 선형적으로 증가하는 경향을 나타내었다.
2. 이송속도를 일정하게 유지하고 공구회전수와 중공비가 변할 때 Z축 방향에서의 절삭력의 변화는 중공비가 감소하고 공구두께가 증가할수록 단면적 변화에 따른 가공부하의 증가로 인하여 절삭력은 증가하였으며 공구회전수가 증가함에 따라 구멍가공 초기에는 급격히 증가하였으며 이후 가공부하는 완만한 증가 추세를 나타 내었다.
3. 공구회전수와 이송속도가 일정 할 때는 중공비 변화에 따른 압력은 근소한 차이로 비슷한 경향을 보이나 공구회전수와 이송속도가 증가함에 따라 압력은 선형적으로 증가하였으며 중공비가 0.73 일 때 가장 작은 압력값을 나타내어 가공부하가 가장 작은 최적의 중공비를 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교의 지원에 의한 연구결과입니다. 관계자 여러분께 감사사를 드립니다.

참고문헌

1. Park, S. H., Kim, K. M., Choi, S. D., and Hong, Y. B., "A Study on the Wearing Behavior of Diamond Tool used to Machining of Ceramics", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 10, No. 1, pp. 73-79, 2011.
2. Kim, T. Y., Shin, H. G., Kim, J. T., Kim, M. H., and Lee, H. G., "A Study on the Drilling

- Characteristics of a TiAlN Coated Twist Drill", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 3, No. 4, pp. 29-36, 2004.
3. Tuersley, I. P., "Various Methods of Machining Advanced Ceramic Materials" Journal of Materials Processing Technology, Vol. 42, pp. 377-390, 1994.
 4. Imen, K., and Allen, S. D., "Pulse CO₂ Laser Drilling of Green Alumina Ceramic", IEEE Transactions on Advanced Packaging, Vol. 22, No. 4, pp. 620-623, 1999.
 5. K. Masaki, N. Hisao, and K. Yuraka, "Large-sized Alumina Products for Next Generation LCD Manufacturing(in Japan)", Shinagawa Technical Report 48, pp. 139-140, 2005.
 6. H. Toshio, O. Seizo, H. Akemi, K. Kazumasa, K. Nobuhisa, O. Kiichi, S. Suguru, "Preparation of Large Alumina Ceramics by Slip Casting", Annual Report 10, Ceramics Res Lab., Nagoya Institute of Technology, pp. 23-29, 2001.
 7. F. F. Lange, "Power Processing Science and Technology for Increased Reliability", J. Am. Soc., 72(1), pp. 3-15, 1989.
 8. Doreau, F., Tari, G., Guedes, M., Chartier, T., Pagnoux, C. and Ferreira, J.M.F, "Mechanical and Lamination Properties of Alumina Green Tapes Obtained by Aqueous Tape-casting", Journal of the European Ceramics Society, Vol. 19, pp. 2867-2873, 1999.