

초경공구를 사용한 Si_3N_4 -hBN 머시너블 세라믹 가공에서 절삭 파라미터 분석과 결정

장성민*, 조명우⁺, 조원승⁺⁺, 박동삼⁺⁺⁺
(논문접수일 2003. 6. 2, 심사완료일 2003. 8. 27.)

Analysis of Cutting Parameters for Si_3N_4 -hBN Machinable Ceramics Using Tungsten Carbide Tool

Sung Min Jang*, Myeong Woo Cho⁺, Won Seung Cho⁺⁺, Dong Sam Park⁺⁺⁺

Abstract

In machining of ceramic materials, they are very difficult-to cut materials because of their high strength and hardness. Machining of ceramics are characterized by cracking and brittle fracture. Generally, ceramics are machined using conventional method such as grinding and polishing. However these processes are generally costly and have low MRR(material removal rate). This paper focuses on determining the optimal levels of process parameters for products with CNC machining center. For this purpose, the optimization of cutting parameters is performed based on experimental design method. A design and analysis of experiments is conducted to study the effects of these parameters on the surface roughness by using the S/N ratio, analysis of ANOVA, and F-test. Cutting parameters, namely, cutting speed, feed and depth of cut are optimized with consideration of the surface roughness.

Key Words : Difficult-to Cut Material(난삭재), Cracking and Brittle Fracture(균열과 취성파괴), Machinable Ceramics(가공성 세라믹), MRR(재료제거율), S/N Ratio(신호대 잡음비), ANOVA(분산분석)

* 주저자, 인하대학교 기계공학과 대학원 (g2002080@inhavision.inha.ac.kr)
주소: 402-712 인천시 남구 용현3동 253
+ 인하대학교 기계공학부
++ 인하대학교 재료공학부
+++ 인천대학교 기계공학과

1. 서론

다른 금속재료보다 강도, 고온에 대한 내열성, 내마모, 내부식성과 같은 세라믹재료의 우수한 특성 때문에 산업분야에서 그 용도는 절삭공구, 자동차의 스파크 프러그, 실린더 라이너와 기타 열기관 등에 있어 그 적용분야가 확대되어 가고 있다. 특히, 다품종 소량생산이 증가되어 가고 있는 산업시스템에서 형상이 복잡한 부품에도 적극적으로 적용 시키고자하는 요구와 필요성에 의해 그 용도가 광범위 해지고 있다. 또한 생명공학측 측면에서 세라믹은 칼라, 텍스처, 기계적 특징 등에 있어서도 인간의 치아와 인공관절 등에 사용이 가능할 만큼 그 우수성이 인정되고 있다. 그러나 이러한 세라믹은 그 우수성에도 불구하고 제품 생산에 있어 어려움이 많아 그 사용빈도가 적은 실정이다. 또한 세라믹 제품은 소결공정을 통하여 1차적인 제품을 생산하고 정밀한 형상치수를 위해서는 후공정으로써 기계적인 정밀가공이 요구된다. 그러나 제품생산에 미치는 가장 큰 어려움 중에 하나가 바로 기계가공성이 쉽지 않다는 것이다. 세라믹 가공에 있어서 일반적인 칩형성 메카니즘은 미세 균열과 취성 파괴이다. 이러한 메카니즘은 일반적인 금속재료와는 확연한 차이가 있다. 위와 같은 이유 때문에 세라믹은 초경공구 등을 이용한 절삭공정으로는 제품 생산이 부적절하며 취성 파괴가 크게 작용할수록 가공된 세라믹의 표면정도는 악화된다. 일반적으로 세라믹에 적용되는 기계가공은 다이아몬드 휠을 사용한 연삭공정을 주로 사용한다. 그러나 이러한 공정은 재질에 따른 다이아몬드 휠의 선정과 연삭조건을 적절하게 선택·사용되어야 하지만 아직까지는 명확하게 체계화되어 있지 않은 실정이다. 또한 지립자에 의한 가공은 낮은 재료제거율(MRR)로 인하여 세라믹을 소재로 하는 정밀제품의 생산에 있어 경제적 효율성이 높지 않은 단점을 안고 있다. 따라서 소비자의 입장에서 제품에 따른 훌륭한 기능, 신뢰성, 내구성 등을 만족시키며 동시에 세라믹 제품의 경제적이고 효율적 생산을 위해서는 기계가공성이 우수한 세라믹 재료를 개발할 필요성이 요구된다.

Zhang⁽¹⁾ 등은 그레인 크기에 따른 미세구조적 특징과 적당한 절삭조건 선택이 세라믹 재료의 취성으로 인한 파괴와 변형을 조절할 수 있으며, 엔드밀을 사용한 덴탈 세라믹(dental ceramics)가공에서 운모 크기에 따른 가공성과 가공전후의 기계적 특징을 비교하였다⁽²⁾. 또한 세라믹을 절삭가공할 때 발생하는 칩은 공구와 공작물사이에서 지립자 역할을 하여 공구마모를 촉진시킨다. 따라서 이러한 공구마모를 억제하기 위해서 더운 공기로 칩을 흡입 제거하도록 하

면 칩 제거가 효율적으로 되어 공구마모율이 감소되는 특징을 보인다⁽³⁾.

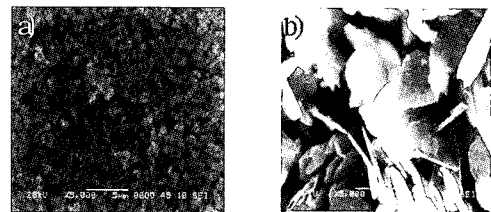
머시너블 세라믹의 초정밀래핑등 입자가공에 의한 연구는 진행되고 있다⁽⁴⁾. 그러나 절삭가공에 관한 연구가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 기계가공성에 관한 문제점과 세라믹 제품의 폭넓은 수요·공급을 기대할 수 있는 BN이 첨가된 Si₃N₄-hBN 가공성 세라믹을 개발하였으며, 개발된 세라믹을 드로우 어웨이 형태의 초경 엔드밀 공구에 의해 CNC 머시닝 센터를 사용하여 가공면의 표면거칠기에 미치는 인자들에 대한 정량적인 분석을 통해 인자들을 제어하고 최적의 가공조건을 도출하고자 한다. 실험에 적용된 절삭 파라미터는 절삭속도, 이송속도, 절삭깊이로 정하였으며 BN이 10,20,30%Vol이 함유된 Si₃N₄-hBN 가공성 세라믹에 대하여 실험계획법 이론을 적용하였다.

2. 기초실험

본 연구에서 머시너블 세라믹의 주성분인 Si₃N₄ 파우더와 BN파우더를 Fig. 1에 나타내었다.

BN함유량에 따른 비커스 경도값 변화와 파괴인성값을 Fig. 2에 나타내었다. 경도와 파괴인성값은 BN이 전혀 첨가되지 않은 경우의 Si₃N₄의 경우에 각각 1,402kg/mm²와 7.58MPa·m^{1/2}의 높은 값에서 BN의 함유량이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 BN의 벽개성에 기인하는 것으로 판단되는데, BN입자의 첨가량이 증가할수록 미세균열이 판상의 BN입자의 벽개면을 따라 전파되기 쉬워짐을 의미한다.

기계가공이 가능한 머시너블 세라믹은 일반적인 금속재료에서 연속적인 전단 소성변형에 의해 칩이 발생하는 것과는 달리 미세균열의 발생과 전파로 인하여 칩이 형성되어 재료가 제거된다. 머시너블 세라믹의 가공 메카니즘 모드는



(a) Si₃N₄ powders (lower magnification, ×5,000) (b) BN powders (lower magnification, ×5,000)

Fig. 1 SEM micrographs of Si₃N₄ and BN powders

Fig. 3에 나타내었다⁽⁵⁾.

가공이 시작되어 임계응력값에 도달할 때 미세균열이 발생하면 연속적인 이송력에 의해 균열이 진전되며 균열 확장이 공작물의 자유표면에 도달함에 따라 칩이 형성되는 것을 반복한다.

Fig. 4는 칩이 형성되는 경로를 대략적으로 나타낸 것이다.

머시너블 세라믹을 엔드밀 공구를 사용하여 가공할 때 얻어지는 절삭력을 측정하기 위해 공구동력계(Kistler 9272)를 이용하여 절삭가공 실험을 수행하였다.

Fig. 5는 BN의 함량이 각각 10, 20, 30%Vol 함유된 Si₃N₄ 머시너블 세라믹에 대하여 이송방향 절삭력과 축방향 절삭력에 대한 실험결과이다. Fig. 5(a)와 (b)를 살펴보면 BN함량이 10%Vol에서 이송방향과 축방향 절삭력이 크게 차이가 났으나 20, 30%Vol에서는 거의 차이가 없었다.

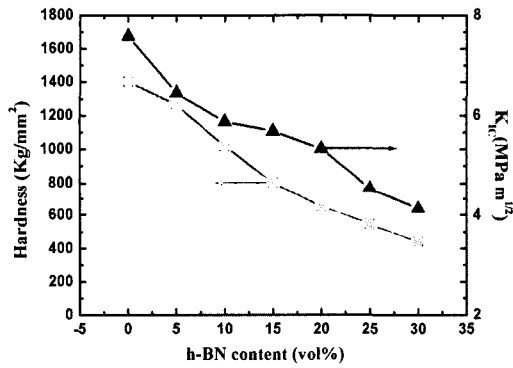


Fig. 2 Effect of BN contents on the Vickers hardness of Si₃N₄-BN composites

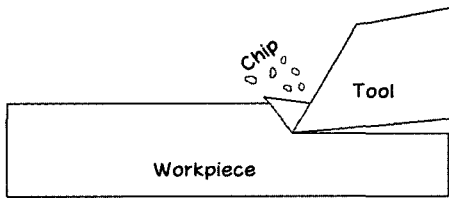


Fig. 3 Machining mechanism mode of machinable ceramics

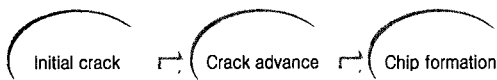
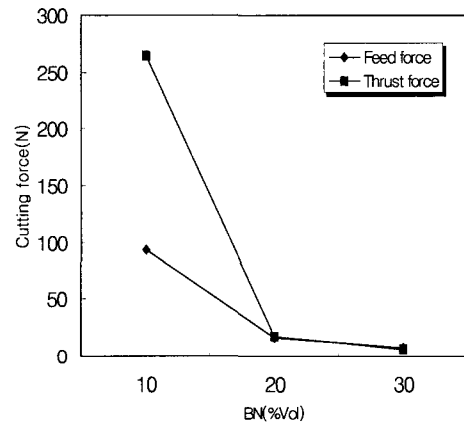
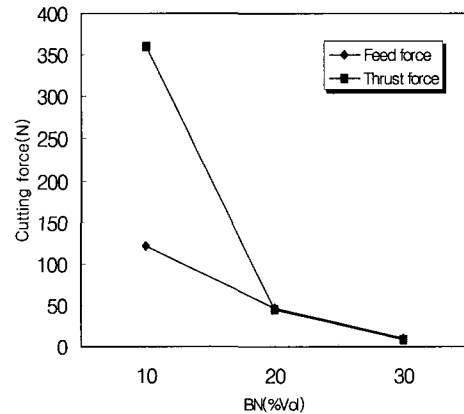


Fig. 4 Chip formation process of machinable ceramics

이것은 BN의 함량이 작을수록 시편의 기계적 강도를 강하게 하고 이것이 축방향 절삭력에 크게 영향을 미친다는 것을 의미한다. 또한 20%Vol이상의 BN이 함유된 경우에 절삭력의 변화가 급격하게 떨어지는 것을 알 수 있는데, 이러한 결과는 축방향 절삭력에서 두드러지게 나타났다. 이것은 BN의 함유량이 20%Vol이상에서 균열발생에 의한 취성 파괴 메커니즘이 많이 감소된 것으로 판단되며, 따라서 절삭가공시에 얻어지는 표면거칠기값도 양호하게 되리라 짐작할 수 있다. 더불어서 가공후 시편의 안정화를 더욱 크게 할 수 있기 때문에 결과적으로 파괴강도의 저하를 최소화 할



(a) cutting speed: 40m/min, feed rate: 30mm/min, depth of cut: 0.1mm, radial depth of cut: 8mm



(b) cutting speed: 40m/min, feedrate: 30mm/min, depth of cut: 0.2mm, radial depth of cut: 8mm

Fig. 5 Variation of cutting force with BN contents of Si₃N₄-BN composites

수 있다. BN의 함량이 10%Vol로 작은 경우에 축방향 절삭력의 크기는 특히 절삭깊이의 변화에 크게 영향을 받는 것으로 나타났는데, 그 원인은 절삭깊이가 클수록 공구의 파손이 증가되어 공작물과의 접촉면을 상대적으로 증가시켰기 때문이다.

Fig. 6은 BN을 함유한 Si_3N_4 머시너블 세라믹을 엔드밀 가공후 표면의 SEM 촬영결과를 나타낸 사진이다. Fig. 6(a)는 BN이 10%Vol 함유되어 있는 경우로써 20, 30%Vol을 함유한 것 보다 본래 세라믹이 갖고 있는 특징을 가장 잘 나타내고 있으며, 초경공구로 가공한 후의 표면은 가공물의 높은 경취성으로 인해 공구와 상호간의 접촉으로 가공

물에 균열발생을 뚜렷하게 남기는 특징을 보였다. Fig. 6(b)는 BN이 20%Vol 함유되어 있는 경우로써 Fig. 6(a)보다는 덜하지만 칩이 발생되어 재료가 제거되는 메카니즘이 여전히 초기 균열이 성장하여 칩이 발생하는 절삭메카니즘을 뚜렷하게 보이고 있다. 이러한 메카니즘을 갖는 절삭가공에서는 표면의 품질을 떨어뜨릴 뿐만아니라 상대적으로 높은 소요동력이 요구되며 가공변형으로 인해 표면에 높은 응력을 유발시킴으로써 가공후 시편의 기계적 강도를 약화시키는 원인이 된다. 또한 무리한 절삭깊이와 이송은 시편이 갖는 경취성에 기인하여 표면정밀도를 심각하게 손상시키는 원인이 될 뿐만아니라 시편에 파손을 초래한다. Fig. 6(c)는 30%Vol의 BN이 함유되어 있는 경우로 BN함량이 적은 세라믹 시편에 비해 상대적으로 균열성장이 적게 발생되었으며 특히 가공면이 매끄럽게 형성되었다. 따라서 BN함유량의 증가는 가공후 표면품질을 향상시킨다.

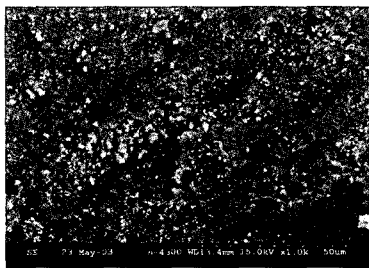
3. 최적절삭 조건의 도출

3.1 실험계획법 이론

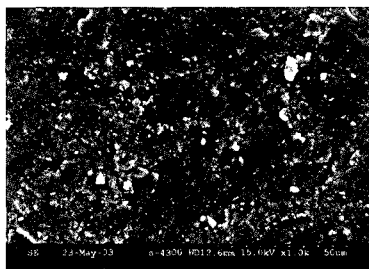
품질개선을 위한 효율적이고 체계적인 새로운 접근방법이라고 일컬어지는 다구찌방법에서는 적은 수의 실험으로 효율적이고 최적조건의 요인을 선정하기 위해서 수학자들에 의해 작성된 직교배열표를 이용했다. 다구찌방법에서는 제품의 특성치가 이상적인 목표값에서 벗어나면 정도에 따라 손실발생을 일으키는 것으로 판단하며 다구찌에 의해 추천된 손실함수는 2차함수로 근사시켜 사용된다.

손실함수의 값은 신호대 잡음비(signal to noise ratio; S/N ratio)로 변환된다. S/N비는 공정특성에 대한 잡음인자의 영향을 효과적으로 추정할 수 있는 기법으로, 품질 특성값으로부터 S/N비를 계산하고 이를 분석하여 제일 큰 값을 갖는 S/N비를 최적수준의 조합으로 선정한다. 본 연구는 최적의 표면거칠기를 얻기 위한 목적으로 수행되었다. 표면거칠기는 그 값이 작을수록 결과적으로 표면품질은 향상되는 것이므로 손실함수는 망소특성으로 하였다. 망소특성은 성능 특성치의 목표값이 0인 경우로 성능특성치가 작을수록 좋다.

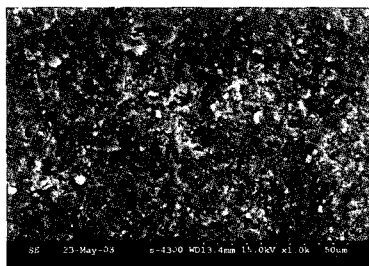
인자들에 관한 최적의 설계를 위해서는 실험의 특성치에 영향을 크게 미치는 인자와 그 수준을 결정하고 결정된 인자들에 대하여 작업자가 제어할 수 없는 인자들에 의한 잡음의 영향을 최소화 하여 최적의 특성치를 얻고자 하는 것이다. 따라서 S/N비의 값이 크면 클수록 잡음에 둔감하다고



(a) BN 10%Vol



(b) BN 20%Vol



(c) BN 30%Vol

Fig. 6 Micrographs($\times 1000$) after machining of Si_3N_4 -hBN composite ceramics

할 수 있다. MSD(mean squared deviation)는 데이터의 반복적인 측정값을 y_1, y_2, \dots, y_n 라 할 때 다음식으로 나타낸다.

$$MSD = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \quad (1)$$

여기서 n 은 실험의 수, y_i 는 i 차 실험에서 실험값이다. 결과적으로 망소특성에 대한 S/N비는 다음 식으로 표현된다.

$$S/N = -10 \log \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right] \quad (2)$$

실험후에 표면거칠기에 영향을 주는 요인을 분석하기 위한 방법으로 분산분석(ANOVA)을 하여 통계적으로 분석하였다. 본 연구에서는 분산분석과 S/N비를 계산하여 분석한 후 최적수준의 조합을 선정하였다. Fig. 7은 다구찌 실험계획법에 대한 실험순서와 분산분석 이후의 과정을 플로우 차트로 나타내었다.

다구찌 실험계획법 이론을 적용한 기존의 연구형태를 보면 MMCs(Metal-matrix composites)의 드릴링에서 절삭력과 표면거칠기에 관한 파라미터를 분석⁽⁶⁾, 선삭공정에서 절삭파라미터의 최적화를 위한 목적^(7,8) 뿐만아니라 코팅공구에서 텅스텐 카바이드 밀링커터의 마모최소화⁽⁹⁾를 위한 파라미터 분석 등 폭 넓은 분야에서 실험계획법 이론이 적용되어지고 있다.

본 연구에서는 표면거칠기를 특성치로 하여 최적 절삭조

건을 도출하고자 열의 수가 4 그리고 줄의 수가 9인 $L_9(3^4)$ 직교배열이 적용되었으며 각각의 인자들에 대한 교호작용은 없는 것으로 하였다. Table 1은 $L_9(3^4)$ 다구찌 직교배열표를 나타내었다.

3.2 절삭변수설계

실험계획은 제조공정 수행을 개선해 품질을 향상시키기 위한 엔지니어링분야에서 널리 적용되고 있다. 본 연구에서 직교배열은 변수 설계의 목적에서 도입되었다. 설계방법에 관한 중요특성은 실험결과의 신뢰성을 잃지 않으면서 최소의 경제적 실험횟수를 요구한다는 것이다.

본 실험은 제품의 품위를 높이기 위하여 최적의 절삭변수를 결정하여 표면거칠기를 최적화하는데 초점을 맞추어 수행하였다. 절삭가공 실험은 CNC 머시인 센터에서 수행되었으며 드로우 어웨이형식의 엔드밀 밀링공구를 사용하였다. 인서트 타입은 초경재질인 TECN32R을 사용하였으며 공작물 재료는 Si_3N_4 를 주성분으로 하여 BN을 각각 10%Vol, 20%Vol, 30%Vol을 함유한 시편을 사용하였다. 절삭 가공 방식은 절삭유를 사용하지 않는 건식·상향절삭방법을 적용하였다. 절삭인자와 인자에 대한 각각의 수준은 Table 2와 같다.

3.3 실험결과 및 분석

인자의 배열은 변화에 대한 분석을 사용하여 인자영향을 결정하도록 하는 충분한 정보를 제공하기 위해 선택된다.

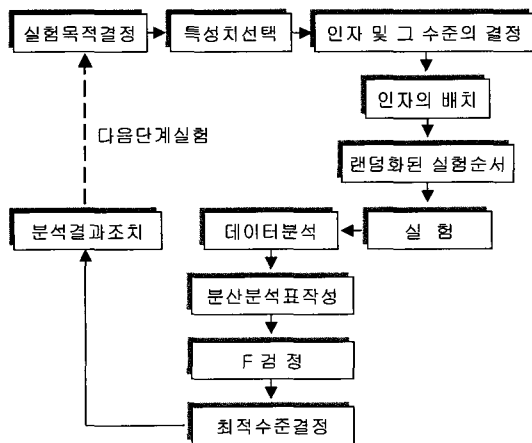


Fig. 7 Flow chart for the experimental design method application

Table 1 Orthogonal array of Taguchi $L_9(3^4)$

Experimental number	Cutting parameter level			
	A	B	C	D
	Feed rate	Cutting speed	Depth of cut	Error
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

각각의 주요한 인자들은 자유도 2와 3수준을 갖는다. 가공 후 표면거칠기는 Taylor Hobson Surtronic 3+를 사용하여 산술적 평균 값 R_a 를 측정하였다.

형태에 관계없이 더 큰 S/N비 값을 가지면 수행특성을 더 개선하였다는 것을 나타낸다. 따라서, 공정변수의 최적 수준은 더 높은 S/N비를 갖는 수준이 된다. 이론적으로 더 높은 평균 S/N비 값을 갖는 제어인자들의 수준으로 선택되어 지도록 하는 것이 요구된다.

S/N비 응답그래프에서 가장 높은 값의 S/N비는 가장 영향력이 강한 인자의 수준을 나타내는 것이다. Fig. 8, 9, 10은 BN함유량이 10%Vol, 20%Vol, 30%Vol을 갖는 Si_3N_4 세라믹에 대한 S/N비 응답그래프를 나타내었다. Fig. 8은 A인자인 이송속도에 관한 응답그래프이다. Fig. 8에서 나타내었듯이 10, 20, 30%Vol의 BN을 함유한 Si_3N_4 세라믹에 대하여 응답성 결과는 모두 첫 번째 수준에서 강하게 나타났다. 20, 30%Vol은 수준 변화에 따라 비슷한 기율기 결과를 보이고 있으나 10%Vol의 BN을 함유한 경우에는 뚜렷하게 다른 경향을 보이고 있다. 이것은 BN이 적게 함유하게 되면 세라믹의 재질특성이 경도가 크고 취성이 강하게 나타나는데, 이러한 이유에서 표면에 발생하는 취성파괴 메카니즘의 다소 불규칙한 원인이 되며, 이송속도가 이러한

Table 2 Cutting parameters and their levels

Symbol	Cutting parameter	Level 1	Level 2	Level 3
A	Feed rate(mm/min), F	30	60	90
B	Cutting speed(m/min), V	40	80	120
C	Depth of cut(mm), D	0.05	0.1	0.2

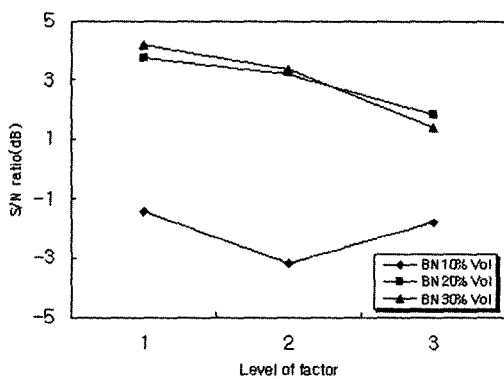


Fig. 8 S/N ratio graph showing the effect of factor A

불규칙성을 일으키는 데 강하게 작용하였던 것으로 판단된다.

Fig. 9는 B인자인 절삭속도에 관한 S/N비 응답그래프로서, 절삭속도가 증가될수록 이에 비례하여 S/N비 응답이 모두 증가되는 결과로 나타났다. 이러한 결과는 일반 금속가공의 결과와 가장 유사한 결과로서, 절삭속도를 증가시키는 것으로 표면악화를 감소시킬 수 있다는 실험적 결과로 받아들여진다.

절삭깊이를 의미하는 C인자에 관한 S/N비 응답그래프는 Fig. 10에 나타내었는데, S/N비 응답결과 BN의 함유량이 적은 10%Vol에서 절삭깊이의 영향이 가장 크게 작용하였다. 그러나 BN이 20, 30%Vol에서는 절삭깊이의 영향이 그다지 크지 않은 것으로 나타났다. 절삭깊이의 영향은 다른 절삭 파라미터에 비하여 불규칙성을 가지는 것으로 나타났다.

절삭인자들에 관하여 BN의 함유량이 10%Vol으로 작은 경우는 20, 30%Vol을 함유한 경우보다는 S/N비 응답성이 전체적으로 비교적 낮게 나타났다. 결과적으로, 분석결과를

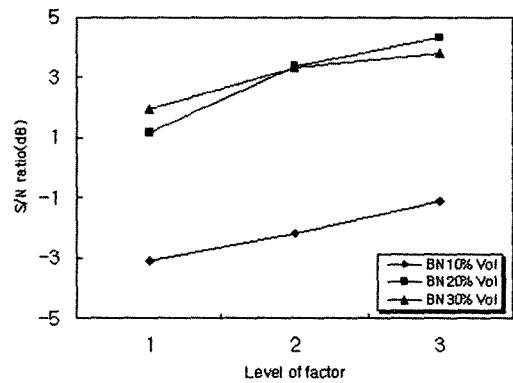


Fig. 9 S/N ratio graph showing the effect of factor B

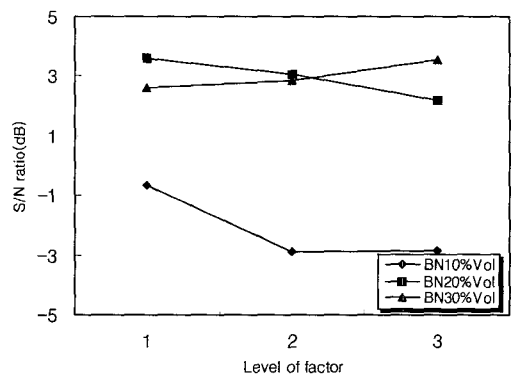


Fig. 10 S/N ratio graph showing the effect of factor C

Table 3 Results of the ANOVA for surface roughness

BN %Vol	Source	Sum of Squares	DOF	Mean Square	F ₀	Contribution (%)
10	A	246.26	2	123.13	18.30	89.46
	B	5.74	2	2.87	0.43	2.09
	C	9.82	2	4.91	0.73	3.57
	error	13.45	2	6.73		4.88
	Total	275.27	8	137.64		100
20	A	5.49	2	2.75	5.61	22.46
	B	15.50	2	7.75	15.82	63.42
	C	2.47	2	1.24	2.53	10.11
	error	0.98	2	0.49		4.01
	Total	24.44	8	12.22		100
30	A	12.66	2	6.33	6.39	57.34
	B	5.73	2	2.87	2.90	25.95
	C	1.71	2	0.86	0.87	7.74
	error	1.98	2	0.99		8.97
	Total	22.08	8	11.04		100

살펴보면 Si₃N₄-hBN 머시너블 세라믹을 가공후 표면의 품질을 높이기 위한 표면거칠기를 향상시키기 위해 최적의 절삭가공조건은 10%Vol과 20%Vol에 대하여 A1B3C1이며 30%Vol에 대하여 A1B3C3이다.

Table 3은 직교배열을 이용한 실험후 분산분석 결과를 나타내었다. 표면정밀도에 기여하는 인자를 백분율로 환산하면 이송속도의 영향은 10%Vol에서 가장 크게 나타났으며 20%Vol에서는 절삭속도가 가장 크게 영향을 주었다. 10%Vol의 BN 함유에서 절삭속도보다 절삭깊이의 영향이 약간 더 영향을 주고 있으나 전체적으로, 절삭깊이의 영향은 적은 것으로 나타났다. 표면거칠기에 기여하는 주요한 인자는 금속재료의 절삭가공에서와 같이 어느 한가지 인자에 영향을 크게 받는 것이 아니라 BN의 함유량에 따라 크게 변화가 발생된 것으로 보아 가공중 재료에서 제거되는 칩형성 메카니즘의 변화가 다소 크게 일어난 것으로 판단된다.

3.4 확인실험

직교배열에 의한 실험 분석결과 최적조건은 BN의 함유량이 각각 10,20,30%Vol에서 각각, A1B3C1 A1B3C1, A1B3C3로 나타났다. 따라서 도출된 최적의 조건이 실제로

Table 4 Result of the confirmation experiment for surface roughness

Si ₃ N ₄ -hBN(BN 10%Vol)	Optimal cutting parameter	
	Prediction	Experiment
Factor and Level	A1B3C1	A1B3C1
Surface roughness(μm)	0.88	0.92
S/N ratio(dB)	1.09	0.72
Si ₃ N ₄ -hBN(BN 20%Vol)	Optimal cutting parameter	
	Prediction	Experiment
Factor and Level	A1B3C1	A1B3C1
Surface roughness(μm)	0.54	0.57
S/N ratio(dB)	5.40	4.88

최적의 결과로 나타나는지 여부는 실험을 통하여 검증을 해야 한다. 따라서 본 연구에서는 도출된 최적의 조건에서 직접적인 실험을 통해 최적조건이 표면의 질적 향상에 기여하는지를 검증하였다. 결정된 최적수준조합에 관한 이론적인 S/N비는 이미 계산된 S/N비를 이용하여 수식을 통해 얻을 수 있다.

실험에 적용된 직교배열표에서 $\eta_m, \bar{\eta}_i, o$ 를 각각 전체 평균 S/N비, 제어인자들의 최적수준에서 평균 S/N비, 품질 특성에 영향을 주는 주요 설계 파라미터의 수라고 하면 최적수준조합에 의한 이론적인 S/N비 $\hat{\eta}$ 는 아래식으로 얻어진다^(7,8).

$$\hat{\eta} = \eta_m + \sum_{i=1}^o (\bar{\eta}_i - \eta_m) \quad (3)$$

계산된 이론적인 S/N비를 근거로 하여 표면거칠기값은 얻어진다. 또한 얻어진 최적 조합의 조건에서 직접 실험하여 실제 표면거칠기를 측정하였으며, 이론적인 결과와 비교하였다.

본 연구에서는 직교배열표를 적용하여 실험한 후 그 결과를 분석하여 얻어진 최적조건으로 이론적인 S/N비와 실제 실험을 수행한 결과를 Table 4에 나타내었다. Table 4에서 확인실험결과 S/N비 계산식에 의해 예상되는 값보다 S/N비 값이 다소 작게 나타났으나, 실험계획법을 적용하여 최적조건을 도출하기 위한 실험이 유효하다는 결론을 내렸다.

4. 결론

Si₃N₄-hBN 머시너블 세라믹을 대상으로 가공특성 파악을 위한 기초실험을 수행하였으며, 실험계획법 이론을 적용하여 제품에 관한 질적 향상을 위해 L₉(3⁴) 직교배열표를 이용하여 절삭실험을 수행하여 최적의 조건을 도출하였다. 또한 선택된 절삭 파라미터로써 각각의 인자와 그 수준이 결과에 어떠한 영향을 미치는지 분석하였고 그 결과는 아래와 같다.

- (1) BN의 함량에 따른 절삭력 측정결과 BN함유량이 10%Vol에서는 이송방향과 축방향 절삭력의 차이는 크게 나타났으며, 특히 축방향 절삭력이 더 크게 나타났는데 이것은 BN의 함유량이 축방향 절삭력에 더 크게 영향을 주기 때문이다.
- (2) 절삭깊이가 크면 BN의 함유량이 작은 10%Vol에서 공구파손을 증가시켜 축방향 절삭력을 크게 하였으며, 20, 30%Vol의 BN을 갖는 경우 이송방향과 축방향 절삭력의 크기는 거의 차이가 없었다.
- (3) BN의 함유량이 많아지면 절삭성은 좋아지며 균열발생을 감소시켜 표면품위를 향상시킨다. 그러나 파괴인성 등 기계적 특성의 저하를 유발시키므로 부품요소에 요구되는 적절한 BN함량 결정을 위한 추가 연구가 요구된다.
- (4) BN의 함유량이 표면거칠기에 미치는 영향은 함유량이 많을수록 더 향상되었으며 절삭력도 크게 떨어졌다.
- (5) 금속의 절삭과는 칩형성 메커니즘이 다르며, 표면거칠기에 미치는 영향은 이송속도와 절삭깊이에서 크게 나타났다.
- (6) BN의 함유량이 10,20,30%Vol에서 최적조건은 각각 A1B3C1, A1B3C1, A1B3C3이다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구과제(R01-2001-000-00257-0) 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) Zhang, G., Cao, Y. and Qi, L., 1999, "Single Point Cutting of Machinable Glass Ceramics", *Trans. of NAMRI/SME*, Vol. 27, pp.159~164.
- (2) Zhang, G., Qi, L. and Cao, Y., 1998, "Assessment of Machining Performance of Dental Ceramics", *Trans. of NAMRI/SME*, Vol. 26, pp. 105~110.
- (3) Yan, B. H., Guang, F. Y. and Chow, H. M., 1995, "Study on the Turning Characteristics of Alumina-based Ceramics", *J. of MPT*, Vol. 54, pp. 341~347.
- (4) Won, J. G. and Lee, E. S., 2003, "Ultra Precision Lapping of Machinable Ceramic by In-Process Electrolytic Dressing", *Trans. of KSMTE*, Vol. 12, No. 3, pp. 1~7.
- (5) Wang, Z. Y. Rajurkar, K. P. and Murugappan, M., 1996, "Cryogenic PCBN Turning of Ceramic(Si₃N₄)", *Trans. of Wear*, Vol. 159, pp. 1~6.
- (6) Davim, J. P., 2003, "Study of Drilling Metal-Matrix Composites Based on the Taguchi Techniques", *J. of MPT*, Vol. 132, pp. 250~254.
- (7) Yang, W. H. and Tang, Y. S., 1998, "Design Optimization of Cutting Parameters for Turning Operations Based on the Taguchi method", *J. of MPT*, Vol. 84, pp. 122~129.
- (8) Hong, M. S. and Lian, Z. M., 2001, "The Optimal Selection of Cutting Parameters in Turning Operations", *Trans. of NAMRI/SME*, Vol. 24, pp. 319~325.
- (9) Su, Y. L., Yao, S. H., Wei, C. S. and Wu, C. T., 1998, "Analyses and Design of a WC Milling Cutter with TiCN Coating", *Trans. of Wear*, Vol. 215, pp. 59~66.