



고경도 세라믹 가공을 위한 다이아몬드 드릴의 절삭성에 관한 연구

최상준^a, 김재선^a, 신재훈^a, 윤재웅^{b*}

Evaluation of the Machinability of Diamond Drills for High-hardness Ceramics

Sang-Joon Choi^a, Jae-Seon Kim^a, Jae-Hun Shin^a, Jae-Woong Youn^{b*}^a Department of Mechanical Engineering, Graduate School of Daegu University,
201, Daegudaero-ro, Gyeongsan, Gyeongbuk-do, 38453, Korea^b Division of Mechanical Engineering, Daegu University, 201, Daegudaero-ro, Gyeongsan, Gyeongbuk-do, 38453, Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	26	December	2018
Revised	11	April	2019
Accepted	12	April	2019

Keywords:

Diamond drill
High-hardness ceramic
Machinability
Drilling torque
Drill shape

ABSTRACT

There has been a recent increase in the use of diamond tools with the increase in the use of high hardness materials. In this study, the machinability of high hardness ceramic materials was evaluated using an electro-deposited diamond drill. Specifically, the machinability of four types of drills was analyzed by changing the drill shape and electro-deposition method of the diamond particles to address the limitations of commonly used diamond drills. In addition to varying the cutting speed and feed rate, the cutting torque, diamond particle fall-out rate, and roughness of the machined surfaces were compared and analyzed. The results of this study will be helpful in tool design and setting the appropriate machining conditions to improve the machinability of high hardness ceramics using electrodeposited diamond tools.

1. 서론

최근 반도체 및 디스플레이 산업은 기존 알루미늄(Al_2O_3)에서 탄화규소(SiC)로 빠른 소재 전환이 이루어지고 있는 동향이다. 탄화규소의 경우 열전도도와 굽힘강도 등의 물성이 매우 우수한 특성을 가지고 있기 때문이다. 따라서, 현재 반도체 및 디스플레이 부품-소재 제조업계에서는 CVD (chemical vapor deposition) SiC와 같은 고경도 소재를 가공하는 것에 관심이 쏠려있고 그에 따라 사용 수명이 길고 연삭과 절삭에서 효율이 보다 뛰어난 CVD SiC 소재 전용 다이아몬드 전착 가공공구의 개발이 매우 중요한 실정이다^[1].

다이아몬드 전착 드릴은 Fig. 1과 같이 샹크바디(shank body) 표면에 전기도금 공법을 이용하여 석출시킨 니켈 금속을 이용하여 다이아몬드 입자(particle)를 통상 단층으로 고정시킨 공구이다. 이와 같은 방법으로 제조된 다이아몬드 전착 드릴은 다이아몬드 입자의 에지(Edge)가 돌출되어 있고 집중도가 더 높다는 것이 특징이다. 이것은 가공 시 예리한 인선으로 인하여 절삭 및 연삭가공 효율을 크게 향상시키게 된다^[2,3].

다이아몬드 드릴이 주목 받으면서 공구의 수명이나 손상, 공구의 절삭성에 관한 기초 연구가 국내·외에서 활발히 진행되고 있다. 공구의 회전속도 및 이송속도 등의 변화에 따른 공구 마멸을 분석하는 연구와 드릴과 소재의 접촉면적 등 공구의 기초 형

* Corresponding author. Tel.: +82-53-850-6684

Fax: +82-53-850-6689

E-mail address: jwyoun@daegu.ac.kr (Jae-Woong Youn).

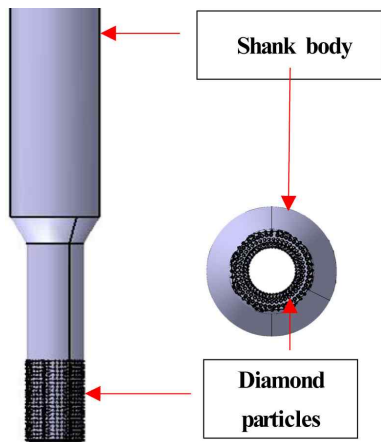


Fig. 1 General shape of electro-deposited diamond drill

상 변화에 따른 절삭력 변화에 대한 연구⁴⁵⁾ 등이 많이 진행되고 있다. 또한, 다이아몬드 드릴을 이용한 세라믹 가공 시 회전속도, 입자의 크기에 따른 소재 제거율(material removal rate)에 대한 연구⁶⁾, 절삭능력을 평가하기 위한 절삭력 분석 연구⁷⁸⁾ 등 많은 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히, 고경도 세라믹 드릴링의 절삭성을 비교하기 위해 Z방향의 절삭 추력(thrust force)을 분석한 연구가 수행된 바 있다⁸⁾. 그러나 다이아몬드 입자를 이용한 드릴가공의 경우에는 이송속도가 매우 느려 추력의 변화가 매우 작기 때문에 일반 드릴가공과는 달리 추력보다는 절삭 토크를 비교하는 것이 절삭성 판단을 위해 더 바람직하다고 판단된다.

본 연구에서는 다이아몬드 입자가 전착된 드릴을 이용한 고경도 세라믹 재료의 절삭성 평가에 대한 연구를 수행하였다. 일반적으로 사용되는 다이아몬드 전착 드릴의 경우, 약 20 mm 깊이의 홀(hole) 가공 한번으로 공구의 수명이 끝나는 상황이므로 공구의 수명을 늘리고 가공된 단면의 표면거칠기를 향상시키는 것이 매우 중요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 Fig. 1에서와 같이 일반적으로 사용되는 다이아몬드 드릴의 단점을 보완하기 위하여 드릴의 형상과 다이아몬드 입자의 전착 방법을 다르게 하여 총 4가지 드릴에 대한 절삭성 시험을 수행하였다. 홀 가공 시 발생하는 칩 배출을 용이하게 하기 위하여 드릴의 측면에 슬롯(slot)을 둔 경우와, 다이아몬드 입자의 탈락을 최소화하기 위하여 다이아몬드 입자를 13층으로 전착 하는 등의 드릴 형상 변경을 시도하였다. 이러한 4가지 다이아몬드 드릴의 절삭성을 분석하기 위해 절삭속도와 이송속도 등의 가공조건을 변화시키며 절삭 토크, 입자 탈락률, 가공면의 표면 거칠기 등을 비교 분석하였다. 이와 같은 연구 결과는 향후, 다이아몬드 전착 공구를 이용한 고경도 세라믹의 절삭성을 향상시키기 위한 공구 설계 및 가공조건 설정 등에 도움이 될 것이라 판단된다.

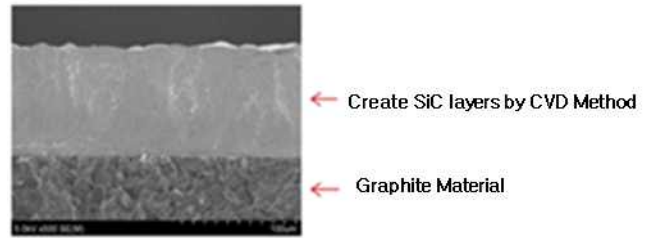


Fig. 2 CVD SiC layer Photograph

Table 1 General properties of CVD SiC material

	CVD SiC	Al ₂ O ₃ /99.5%	Graphite Direct Sintered
Density (g/cm ³)	3.21	3.9	2.80
Specific heat (J/kg·K)	665	880	820
Poisson's Ratio, 20°C	0.21	0.22	0.18
Bending strength (MPa)	468	379	220
Hardness (GPa, kg/mm ²)	27(2,750)	14.1(1,440)	26(2,500)

2. 다이아몬드 전착 드릴의 설계 변경

2.1 다이아몬드 드릴과 CVD SiC 소재의 기본 특성

다이아몬드 전착 드릴은 공구의 샹크(shank) 표면에 정치시킨 다이아몬드 입자를 전기도금 공법을 이용하여 석출시킨 니켈 금속으로 통산 단층으로 고정시킨 공구⁹⁾이다. 이와 같은 전착 드릴은 레진, 메탈, 비트리 하이드 등의 재료로 다이아몬드 입자를 결합시킨 드릴과 비교할 때 각 다이아몬드의 날이 돌출되어 있어 날이 예리한 인선을 가지며 편마모가 적고 연삭가공 효율이 매우 높은 편이다. 그러나 다이아몬드 입자가 단단한 결합이 아닌 니켈금속 사이에 단순히 끼워져 있는 물리적 결합이기 때문에 다이아몬드 전착 드릴 샹크에 존재하는 미소요철, 흠 등의 다양한 요인으로 석출된 니켈금속 층에 기공과 같은 결합이 발생한다¹⁰⁾. 이 결합으로 인하여 입자의 지지력이 약화되어 다이아몬드 입자의 탈락으로 이어져 공구의 수명이 짧다는 단점이 있다.

한편, 최근 알루미늄 소재를 대체하고 있는 탄화규소(CVD SiC) 소재의 경우 Table 1과 같이 열전도도와 굽힘강도 등에서 매우 우수한 특성¹¹⁾을 가지고 있어 반도체 및 디스플레이 부품, 소재 제조업계에서 활용도가 높아지고 있는 추세이다. 이와 같은 고경도 세라믹 소재를 가공하기 위하여 가공 효율이 뛰어난 전용 다이아몬드 전착 공구가 필요하며, 효율적인 가공을 위한 드릴의 형상 설계 및 가공조건에 도출이 필요하다고 할 수 있다.

2.2 1.3층 다이아몬드공구

드릴 샹크 표면에 석출된 니켈 도금층이 다이아몬드 입자를 지지하게 되는 다이아몬드 전착 드릴의 경우 기존엔 샹크에 다이아몬드

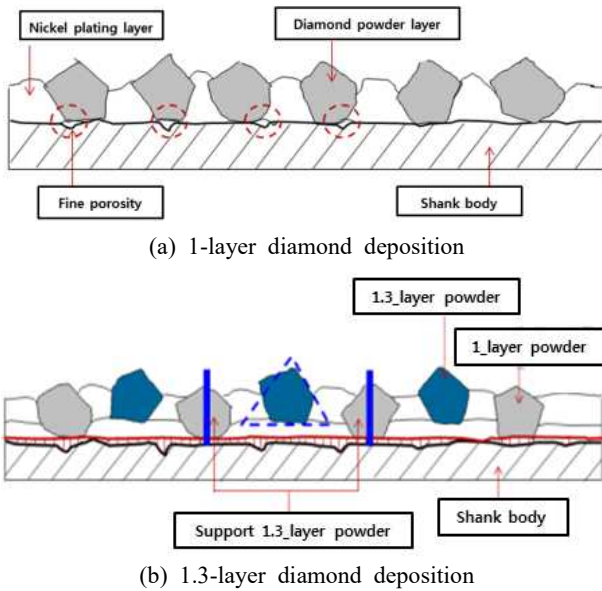


Fig. 3 Two different types of diamond powder deposition

입자를 단층으로 전착하는 방식으로 제조되었다. 이러한 다이아몬드 전착 공구를 사용하여 탄화규소 소재를 연삭할 경우 탄화규소의 우수한 내마성고 높은 강도로 인해 드릴이 빠른 속도로 마멸된다. 드릴 가공이 일정시점을 경과하게 되면 다이아몬드 입자의 탈락과 함께, 니켈 도금 층에도 피삭재와의 직접적인 접촉이 이루어져 공구의 빠른 마멸이 시작되고 가공면도 좋지 않게 나온다. 다이아몬드 입자의 마멸과 탈락현상은 탄화규소의 높은 경도 때문에 더욱 크게 일어난다. 이러한 현상은 결과적으로 다이아몬드 전착 드릴의 연삭 성능 저하와 사용수명 단축이란 문제점을 야기한다.

이를 방지하기 위하여, Fig. 3에서와 같이 CVD SiC 소재를 가공하기 위한 다이아몬드 입자의 1.3층 전착 드릴을 단층 드릴과 비교하여 나타내었다. 다이아몬드 입자에 대한 지지력 보장을 위해 Fig. 2의 (a)와 같은 일반 1층 구조에서 추가로 다이아몬드 입자를 더 전착시킨 Fig. 3의 (b) 1.3층 구조가 되도록 제조 되었다. '1.3층'의 의미는 전체 전착 높이의 약 30% 되는 높이에서 한번 더 다이아몬드 입자를 전착시킨 것을 의미한다, 이러한 구조의 1.3층 전착 드릴의 경우 이중전착을 통해 다이아몬드 입자의 지지력을 견고하고 더 많은 입자들로 인해 가공성능을 더 우수하게 한다.

이와 같은 1.3층 전착 드릴은 가공 시 다이아몬드 입자의 탈락을 감소시킴으로써, 탄화규소와 같은 난삭재의 연삭가공에 효과적인 성능을 발휘할 것으로 기대된다. 이와 같은 전착 방법의 변경을 통해 기존 1층 전착 다이아몬드공구와 1.3층 전착 다이아몬드 공구를 비교하는 실험을 수행하여 가공 특성을 알아보고자 한다.

2.3 다이아몬드 드릴 칩 배출구 형상변화

다이아몬드 드릴의 CVD SiC 소재에 대한 홀 가공 작업은 실질

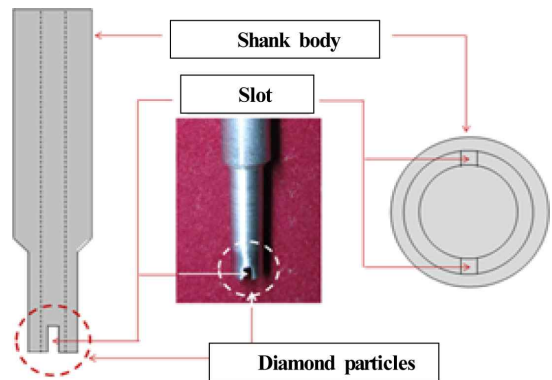
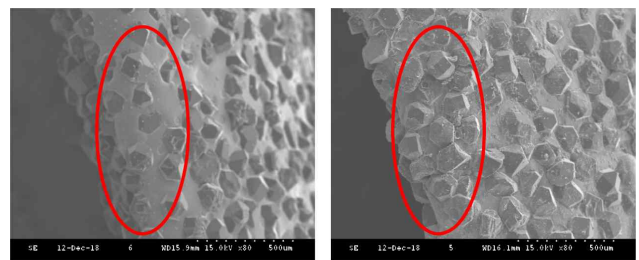


Fig. 4 Geometry of slotted drill



(a) 1-layer (b) 1.3-layer

Fig. 5 Surface photographs of electro-deposited diamond drill

적으로는 연삭가공에 의해 이루어진다. 연삭가공은 다이아몬드 전착공구 생크에 돌출되어 있는 불규칙 형상의 다이아몬드 입자에 의한 절삭작용에 의해 이루어지는 가공공정을 의미한다. 세라믹소재 홀 가공에 적용되는 다이아몬드 전착공구의 경우 Fig. 1과 같이 원통형의 형상으로 이루어져있다. 하지만 이러한 형상의 경우 칩 배출이 용이하지 못해 절삭력이 크게 증가하고, 내부의 칩이 배출되지 못하는 단점을 가지고 있다.

이에, Fig. 4와 같이 코어드릴 생크에 홀 가공 시 발생하는 피삭재의 칩 배출이 용이하도록 드릴 본체 선단부의 다이아몬드 입자가 전착되는 끝부분에 배출구 역할을 하는 길이방향의 홈을 설계에 반영시키고자 한다. 생크 표면에 존재하는 미소요철과 홈 등을 평활하게 조정하는 전기도금 방법으로 니켈금속을 1 μm 내외의 두께로 석출시켜 매우는 '평활처리'를 하여 생크바디 표면을 매끈하게 조정된 공구를 사용하여 홈이 있는 경우와 없는 경우에 대하여 가공 특성의 변화를 비교하였다.

2.4 다이아몬드 드릴 형상 SEM 비교

다이아몬드 드릴의 형상을 비교하기 위하여 SEM촬영을 통하여 다이아몬드 드릴의 동일한 부위를 Fig. 5와 같이 촬영하였다. 촬영된 SEM 사진 Fig. 5에서 (a) 1층 전착 다이아몬드 드릴, (b) 1.3층 전착 다이아몬드 드릴을 서로 비교하면 드릴링 되는 면의 입자수가 1층 드릴에는 다이아몬드 입자가 약 19개가 존재하였으며 1.3

층 드릴에서는 약 23개가 존재하는 것을 확인하였다.

13층 공구에서 다이아몬드 공구의 입자수가 실제 드릴링 가공에 사용되는 밀면을 기준으로 동일 면적 대비 약 21% 더 많으며 이로 인하여 SiC소재 가공 시 절삭을 하는 다이아몬드 입자가 더 많기 때문에 절삭력과 절삭면의 품질에 영향을 미칠 것으로 보인다.

3. 절삭 조건 변화에 따른 가공 특성

3.1 절삭 속도 변화에 따른 가공 특성

드릴 가공의 절삭성을 평가하기 위하여 Fig 6과 같이 실험 장치를 설치하였다. 가공은 범용공작기계 Sirius-650 머시닝센터를 이용하였고 Kistler 4축 공구동력계(Kistler 9272)를 이용하여 토크 신호를 측정하였고 앰프(Kistler 5019B)에서 신호를 증폭하고, A/D 변환기(National Instrument DAQ9171) 및 Labview S/W를 통하여 신호를 분석하였다. 절삭 토크는 실시간으로 보면서 저장하여 분석하였다. 전체 홀 가공 조건은 Table 2와 같이 1층 Slot, 1층 No-Slot, 1.3층 Slot, 1.3층 No-Slot 으로 총 4개의 공구를 비교하였고 소재의 경우 CVD SiC로 진행하였다.

절삭속도의 경우 500 RPM에서부터 1,800 RPM까지 점점 증가시키며 절삭 토크를 측정하는 실험을 실시하였다. 이송속도를 0.6 mm/min으로 2 mm의 길이를 가공하였을 때를 기준으로 신호값을 받았다. 받은 신호 값의 평균값을 계산하여 Table 3과 같이 정리하였으며 정리한 값을 Fig. 7과 같이 나타내었다. 절삭속도를 증가시키며 따라 절삭토크는 모든 드릴에서 점차 감소하는 모습을



Fig. 6 Experimental setup

Table 2 Experimental conditions

Tool	1-Layer, 1.3-Layer diamond drill
Tool diameter/length	∅4 mm/80 mm
Workpiece material	CVD SiC
Feedrate	0.4~0.8 mm/min
RPM	500~1,500 RPM
Data sampling time	1 kHz
Number of data	4096

보여주고 있다. 그러나 1,200 RPM 이상으로 절삭속도가 높아질 경우 토크가 점점 다시 커지는 경향을 보이고 있다. 이것은 절삭속도가 특정한 임계값을 넘어서게 될 경우, 열 발생에 의해 다이아몬드 입자 탈락이 심해지고 그로 인한 절삭토크의 증가로 판단된다.

한편, Fig. 7에서 볼 수 있듯이, 전체적으로 1층 전착 공구에 비해 13층 전착 공구의 절삭토크가 작게 나타나며, 슬롯이 있는 경우가 슬롯이 없는 경우보다 절삭 토크가 현저히 낮아짐을 볼 수 있다.

따라서 13층으로 전착된 드릴이 1층 전착 드릴에 비해 다이아몬드 입자의 지지력을 견고하게 만들어 입자 탈락률을 감소시키고, 슬롯의 존재가 칩의 원활한 배출로 절삭성이 우수해짐에 따라 절삭 토크가 더 작게 나오는 것으로 판단된다. 이와 같은 결과를 통해 다이아몬드 입자의 유지와 칩 배출이 절삭성에 영향을 미침을 확인할 수 있었다.

3.2 이송속도 변화에 따른 가공 특성

CVD SiC소재의 경도가 27.0 Gpa로 매우 높아 이송 속도에 따른 입자 탈락이 매우 심하게 나타나므로 본 소재의 가공을 위해서는 이송속도를 매우 느리게 하여 가공하여야 한다. 이송속도 변화에 따른 공구의 특성을 알아보기 위하여 0.4~0.8 mm/min까지 0.2 mm/min 증가시키며 실험을 실시하였다. 절삭속도는 1,200

Table 3 Drilling torque for the RPM change

[Unit : N-cm]

RPM	1-Layer, No Slot	1.3-Layer, No Slot	1-Layer, Slot	1.3-layer, Slot
500 RPM	97	86	60	48.2
800 RPM	85	82.6	56.6	46.4
1,200 RPM	69.3	65.6	50.3	42.4
1,500 RPM	70.2	68.7	52.1	56.5
1,800 RPM	72.1	70.5	55.1	58.1

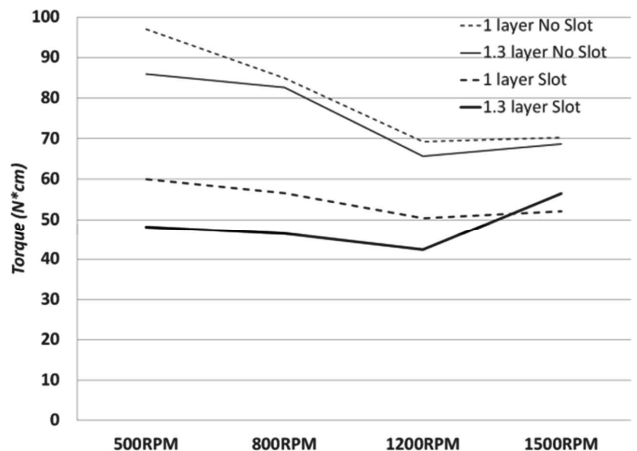


Fig. 7 Drilling torque for the machining speed change

RPM으로 하고 2 mm 깊이의 홀 가공을 실시하였을 때 신호값을 받아 분석하였다.

이송속도의 변화에 따른 신호의 평균값을 Table 4와 같이 정리하였고 Fig. 8과 같이 그래프로 나타내어서 비교하였다. 이송속도가 0.8 mm/min일 때까지의 신호를 비교한 이유는 0.8 mm/min 이상으로 이송속도를 높일 시 가공 초기부터 다이아몬드 입자의 완전한 탈락이 일어나 공구로서의 역할을 할 수 없었다.

Fig. 8에서 볼 수 있듯이, 이송속도의 증가에 따라 절삭 토크는 거의 비례하여 증가하는 모습을 볼 수 있다. 또한, RPM 변화와 마찬가지로 전체적으로 1층 전착 드릴에 비해 1.3층 전착 드릴의 절삭 토크가 낮게 나타나며, 슬롯 있는 경우에 없는 것 드릴에 비해 절삭 토크가 현저하게 낮게 나타남을 알 수 있다. 이것은 1.3층 전착으로 다이아몬드 입자의 지지력이 견고하게 되어, 입자 탈락률을 감소시키고 슬롯의 존재가 칩 배출을 용이하게 함으로써 절삭성이 우수해지게 되는 것으로 판단된다.

4. 다이아몬드 드릴 타입에 따른 입자 탈락률

4.1 입자 탈락률(Particle fall-out rate)

드릴의 입자 탈락률을 비교하기 위하여 2 mm 가공마다 분해능이 0.0001 g인 OHAUS (EX324G)사의 정밀 저울을 사용하여 공구의 무게를 측정하였다. 실험조건으로는 절삭속도 1,200 RPM

Table 4 Drilling torque for the feedrate change

[Unit : N-cm]

Feedrate	1-Layer, No Slot	1.3-Layer, No Slot	1-Layer, Slot	1.3-layer, Slot
0.4 mm/min	47.6	42	40.5	23.5
0.6 mm/min	69.3	65.6	50.3	42.4
0.8 mm/min	89.4	86.6	86.3	74.5

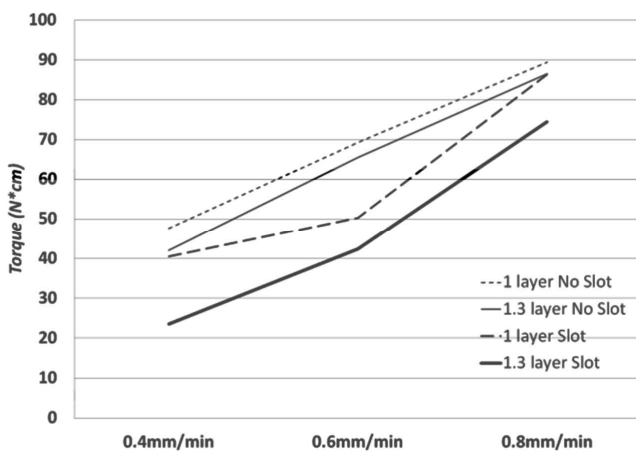


Fig. 8 Drilling torque for the feedrate change

일 때 이송속도 0.4 mm/min, 0.6 mm/min 두 번에 대한 입자 탈락률을 확인하였다. 그러나 0.4 mm/min일 경우에는 공구의 탈락이 눈에 띄게 발생하지 않아 전체적인 비교를 위해서 0.6 mm/min을 기준으로 비교하였다^[12-14]. 전체적인 결과 값은 Table 5와 같이 2 mm가공 마다 처음 무게와 비교하여 얼마나 탈락하였는가를 나타냈으며 Fig. 9와 같이 전체 그래프로 정리하여 비교하였다. 크게 슬롯의 유무에 따라 그래프의 경향이 비슷하게 나오는 것을 확인할 수 있다.

1.3층 전착 드릴의 경우 1층 전착 드릴에 비해 더 많은 다이아몬드 입자가 전착되어 있다. 따라서 입자의 탈락에 있어서 1층 전착 드릴보다 더 많을 것으로 판단된다. 그러나 Fig. 9와 같이 다이아몬드 입자가 1.3층의 경우 1층보다 초반의 탈락률은 오히려 적게 나타나다가 가공이 진행될수록 비슷한 양의 다이아몬드 입자가 탈락되어 공구 무게 감소량은 1층, 1.3층이 비슷하게 나타났다. 이것은 1.3층 전착 드릴의 가공 효율이 높고 절삭 토크도 낮기 때문에 다이아몬드 입자의 탈락에 있어서 두 드릴이 비슷하게 나타나는

Table 5 Diamond particle fall-out rate

[Unit : gram]

Machining depth	1-Layer, No Slot	1.3-Layer, No Slot	1-Layer, Slot	1.3-layer, Slot
0 mm	0	0	0	0
2 mm	0.01	0.027	0.037	0.007
4 mm	0.022	0.034	0.047	0.053
6 mm	0.052	0.045	0.067	0.062
8 mm	0.144	0.053	0.115	0.073
10 mm	0.16	0.107	0.125	0.075
12 mm	0.162	0.154	0.133	0.095
14 mm	0.168	0.168	0.137	0.131
16 mm	0.17	0.175	0.139	0.155

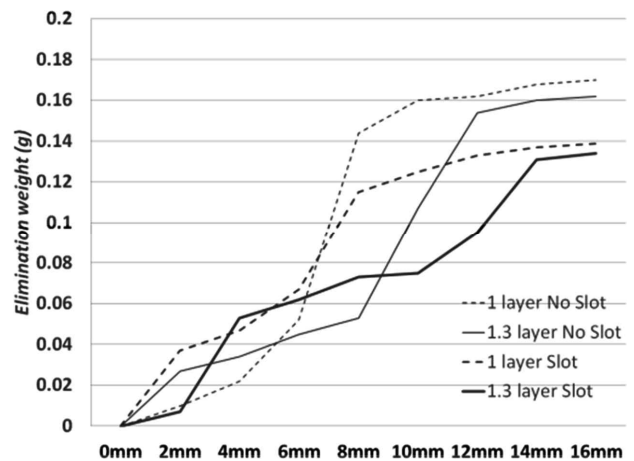
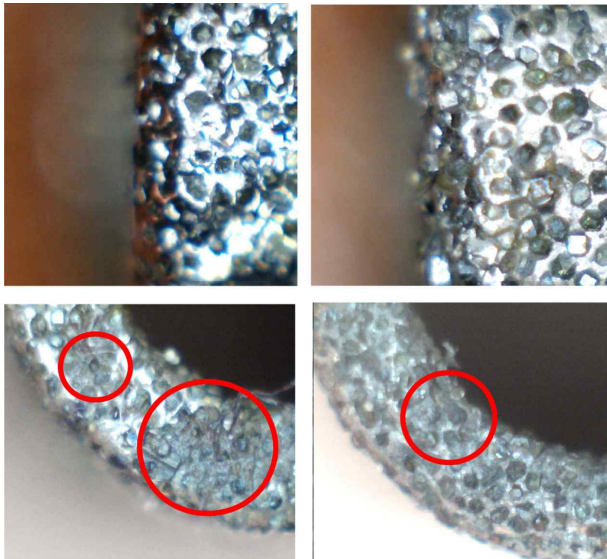


Fig. 9 Particle fall-out rate



(a) 1.3-Layer, No Slot

(b) 1.3-Layer, Slot

Fig. 10 Photographs of the remained particles after drilling

것으로 판단된다. 이와 같은 결과로부터, 입자수가 더 많은 1.3층 전착 드릴이 1층 전착 드릴과 탈락되는 입자 양이 비슷하다고 하여도 남아있는 잔여 입자수가 더 많아 공구를 더 오래 사용할 수 있다는 것을 의미한다고 볼 수 있다.

한편, Fig. 9에서 볼 수 있듯이, 슬롯이 없는 드릴의 경우, 입자 탈락율이 급격히 증가하는 구간이 있음을 확인할 수 있다. 1층 전착 공구의 경우에는 가공 깊이 6 mm 부분에서, 1.3층 전착 드릴의 경우에는 가공 깊이 10 mm 근처에서 입자 탈락율이 급격히 증가하고 있는데, 이것은 다이아몬드 입자의 결합력이 이 지점에서 급격히 약화되어 입자의 탈락이 가속화되고 있음을 의미한다. 그러나, 1층 및 1.3층 전착 드릴의 슬롯이 있는 경우에는 모두 이러한 급격한 입자 탈락이 나타나고 있지 않고 있으며, 이것은 칩 배출이 상대적으로 용이하여 가공의 열 발생 및 급격한 마모에 따른 절삭 토크의 증가가 나타나지 않고 있기 때문이라고 판단된다. 이는, 앞서 실험과 같이 슬롯이 있는 경우 절삭성이 향상되는 결과와 일치하는 것으로 보인다.

다이아몬드 입자의 탈락율을 확인하기 위하여 가공 깊이 12 mm를가공한 후의 공구 형상을 현미경으로 촬영한 결과가 Fig. 10에 나타나 있다. Fig. 10은 1.3층으로 전착된 드릴의 각각 슬롯이 없는 경우와 슬롯이 있는 경우의 비교 사진이다. Fig. 10(a)는 슬롯이 없는 경우이며, (b)는 슬롯이 있는 경우이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 슬롯이 없는 경우에는 다이아몬드 입자의 탈락이 훨씬 더 심한 것을 볼 수 있다.

4.2 가공면의 표면 거칠기

다이아몬드 전착 드릴로 가공된 홀의 가공벽면 표면거칠기를 측

Table 6 Surface roughness (R_a) of machined part[Unit : μm]

Samples	1-Layer, No Slot	1.3-Layer, No Slot	1-Layer, Slot	1.3-Layer, Slot
1	1.25	0.6	0.83	0.55
2	2.02	0.36	0.94	0.49
3	1.52	0.56	0.65	0.36
4	1.75	0.49	1.17	0.48
5	1.25	0.63	1.05	0.65
6	1.3	0.52	1.02	0.45
7	1.6	0.43	1.05	0.37
8	1.8	0.61	0.64	0.55
9	1.9	0.38	0.75	0.51
10	1.68	0.37	0.65	0.46
11	1.73	0.35	0.82	0.38
12	1.95	0.47	0.85	0.59
Average	1.646	0.481	0.868	0.487
Standard Deviation	0.257	0.099	0.171	0.086

정하기 위하여 극소홀 표면거칠기 측정기(Mitutoyo 178-392)를 이용하였다. 측정 방법은 1층 Slot, 1층 No Slot, 1.3층 Slot, 1.3층 No Slot 각각의 공구별로 3개의 홀을 가공한 후, 1개의 홀당 4회 측정으로 총 공구당 12회 측정하여 각 공구별 측정값을 Table 6로 정리 하였다.

Table 6에서와 같이, 가공면의 표면 거칠기를 다이아몬드 공구에 전착된 다이아몬드 입자의 층수로 비교해보면 1층의 공구보다 1.3층의 공구가 가공면이 $0.773 \mu\text{m}$ 로 약 61.5% 더 좋게 나온다. 또한 슬롯의 여부에 따라서는 1층 공구에서는 슬롯이 없는 경우 평균 $1.646 \mu\text{m}$ 로 가장 거칠기가 크게 측정되었고, 슬롯이 있는 경우 평균 $0.868 \mu\text{m}$ 으로 슬롯에 따라 약 47%의 표면 거칠기가 향상되고 있음을 알 수 있다. 또한 12회 측정된 측정값의 표준편차를 보면, 1층 전착 드릴에 비해 1.3층 전착 드릴이 낮게 나타났고, 슬롯이 있는 경우가 없는 경우보다 낮게 나타나고 있다. 이것으로부터, 1.3층 전착 드릴 및 슬롯이 있는 드릴이 가공면의 표면거칠기 산포가 적게 나타나게 되어 가공 표면이 우수함을 알 수 있었다.

5. 결론

최근 고경도 세라믹 소재의 가공을 위한 다이아몬드 공구의 사용이 늘어나고 있다. 본 연구에서는 고경도 세라믹 소재인 SiC 소재의 홀 가공을 위한 다이아몬드 전착 드릴의 절삭성을 평가하고 분석하였다.

먼저, 기존에 사용되고 있는 일반적인 다이아몬드 전착 드릴의 한계를 극복하고자 다이아몬드 입자의 전착 방법을 변경한 새로운 1.3층 전착 드릴과, 칩 배출을 원활하게하기 위해 드릴 끝단에 슬롯을 준 새로운 형상의 드릴을 제안하였고, 총 4가지 공구에 대한 절삭성을 시험하였다. 절삭성 시험은 드릴 가공의 주요 절삭조건인 절삭속도와 이송속도를 변화시키며 절삭 토크의 변화를 측정하고 분석하였다. 또한, 4가지 타입의 새로운 공구에 대해 각각 다이아몬드 입자의 탈락율과 가공면의 표면거칠기를 측정함으로써 드릴 가공에서의 전체적인 절삭성을 평가하였다.

절삭속도를 변화시키며 실험한 경우, 전반적으로 1,200 RPM까지는 절삭속도의 증가에 따라 절삭 토크가 낮아지는 경향을 볼 수 있었지만 1,200 RPM 이 넘어가는 순간부터 오히려 토크가 증가하는 것을 볼 수 있었다. 이것은 절삭속도가 어떤 임계값을 넘어가면 과열에 의해 다이아몬드 입자탈락이 심해지는 공구 마멸에 의해 절삭 토크가 증가하는 것으로 판단되었다. 한편, 이송속도 변화의 경우, 이송속도의 증가와 절삭토크의 증가는 비례하는 모습을 보였다. 절삭토크의 관점에서, 1층 전착 드릴에 비해 1.3층 전착 드릴이, 슬롯이 없는 경우에 비해 슬롯이 있는 드릴이 모든 경우에 절삭 토크가 낮아지는 모습을 볼 수가 있었다. 이것은 1.3층 전착 드릴의 입자 탈락이 적어 절삭효율이 증가하는 것으로 판단되고, 슬롯이 있는 경우에는 칩 배출이 용이해져서 절삭성이 향상되기 때문이라고 판단된다.

한편, 4가지 공구에 대해 드릴 가공 시 발생하는 입자 탈락율과 가공된 표면의 표면거칠기도 측정하고 분석하였다. 본 실험으로부터 1.3층 전착 공구의 슬롯이 있는 경우가 입자탈락율과 표면거칠기 면에 있어서 매우 우수함을 확인할 수 있었다. 또한, 슬롯이 있는 드릴의 경우, 급격한 입자의 탈락도 감소되어 드릴의 마멸 면에서도 우수함을 확인할 수 있었다.

이와 같은 결과를 종합적으로 보면, 1.3층으로 전착된 다이아몬드 드릴의 절삭성이 기존 드릴에 비해 모든 면에서 우수하며, 드릴 끝단의 슬롯 존재가 칩 배출을 원활하게 하여 절삭성이 우수하게 됨을 확인할 수 있었다. 향후, 좀 더 다양한 드릴 형상의 변화를 통해 최적의 다이아몬드 전착 드릴의 형상 설계와 그에 따른 절삭성 평가 연구가 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] MFG Korea, 2007, Current Status and Future Prospect of Cutting Tool Industry in Korea and Oversea, <<http://www.ei.co.kr/content/view.asp?id=6626>>.
- [2] Kang, S. K., Song, M. S., Jee W. H., Cheong, K. J., Chung, S. C., 2007, Drilling Performance of the Diamond Tool, Proceedings of the KSMTE Spring Conference, 617-618.
- [3] Kwan, W. Y., Chang, S. C., 2008, Drilling Characteristics and Modeling of Diamond Core Drilling Processes, Journal of the Korean society of Manufacturing Technology Engineers 17:4 95-103.
- [4] Cabade, U. A., Dapkekar, D., Joshi, S. S., 2009, Modeling of Chip-tool Interface Friction to Predict Cutting Forces in machining of Al/SiCp Composites, International Journal of Machine Tools and Manufacture, 49 690-700.
- [5] Kwan, S. C., 2007, Condition Monitoring of Diamond Drilling Processes, Proceedings of the KSMTE Autumn Conference, 137-142.
- [6] Kim, K. M., Choi, S. D., Hong, Y. B., 2011, Influence of the Thickness of Diamond Core Drill on the Cutting Force, Proceedings of the KSMPE Spring Conference, 88-89.
- [7] Zhang, Q. H., Zhang, J. H., Sun, D. M., Wang, G. D., 2002, Study on the Diamond Tool Drilling of Engineering Ceramics, Journal of Materials Processing Technology, 112:2-3 232-236.
- [8] Zhou, L., Huang, S., Xu, L., Bai, D., Zhao, P., 2013, Drilling Characteristics of SiCp/Al Composites with Electroplated Diamond Drills, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 69:5-8 1165-1173.
- [9] Tsubota, T., 2005, Composite Electro-plating of Ni and Surface-modified Particles with Silane Coupling Regent, Article in Diamond and Related Materials, 14:3 608-612.
- [10] Liu, W., Zhang, F. L., Lu, J. F., Chen, J. H., Huang, H. P., Zhou, Y. M., Tang, H. Q., 2018, Preparation of Ni3Al Bonded Diamond Core Drill with Ni-Cr Alloy and its Performance on Glass-Ceramic, Ceramics International, 44:18 23080-23087.
- [11] Churi, N., 2010, Rotary Ultrasonic Machining of Hard-to-Machine Materials, Department of Industrial and Manufacturing Systems Engineering College of Engineering, Doctor of Philosophy, Kansas State University, USA.
- [12] Yu, K. H., Cheong, C. Y., 1998, A study on the Precision Cutting Characteristics by the Diamond Tool on the Cutting Distance, Journal of the Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 7:5 127-133.
- [13] Lee, J. W., 2006, Tool-Wear Characteristics of Ceramic, CBN and Diamond Tools in Turning of the Pre Sintered Low Purity Alumina, Journal of the Korean Society of Precision Engineering, 23:1 80-88.
- [14] Kim, K. M., Choi, S. D., Kim, G. M., 2010, A Study on the Wearing Behavior of Diamond Tool Used to Machining of Ceramics, Proceedings of the KSMTE Autumn Conference, 108-109.