

Multi Layer 다이아몬드 전착 공구의 가공특성에 관한 연구

차승환*, 양동호*, 이상협*, 이종찬**,#

*금오공과대학교 기계공학과 대학원, **금오공과대학교 기계설계공학과

Processing Characteristics of Multi Layer Diamond Electrodeposition Tool

Seung-hwan Cha*, Dong-ho Yang*, Sang-hyeop Lee*, Jong-Chan Lee**,#

*Graduate School of mechanical engineering, Kumoh Nat. Inst. Tech., **School of Mechanical Engineering, Kumoh Nat. Inst. Tech.

(Received 16 December 2021; received in revised form 22 December 2021; accepted 28 December 2021)

ABSTRACT

In the semiconductor and display component industries, the use of ceramic materials, which are high-strength materials, is increasing for ensuring durability and wear resistance. Among them, alumina materials are used increasingly. Alumina materials are extremely difficult to process because of their high strength; as such, research and development in the area of mineral material processing is being promoted actively to improve their processing. In this study, the processability of an electrodeposition tool is investigated using the electrodeposition method to smoothly process alumina materials. Furthermore, processing is conducted under various processing conditions, such as spindle speed, feed speed, and depth of cut. In addition, the processing characteristics of the workpiece are analyzed based on the tooling.

Keywords : Machining Center(머시닝센터), Electrodeposition(전착), Grinding Force(연삭저항력), Multi Layer Diamond Tool(적층 전착 다이아몬드 공구) Cutting Force(절삭저항력)

1. 서 론

최근 반도체 산업의 호황과 반도체 제조기술의 고도화로 인한 장비 교체로 반도체제조에 필요한 부품의 수요가 점차 증가하고 있다. 반도체 산업은 기술의 고도화로 인해 고집적화, 고정밀화를 이루

고 있으며, 이로 인해 가혹한 제조 조건에서 뛰어난 내열성, 내식성, 기계적 강도를 가지며 연속적인 반도체 제조공정에서 부품의 변형이 발생하지 않는 세라믹 소재를 다양한 부품에 적용하여 반도체제조 공정에서 사용하고 있다. 이에 따라, 내열성, 내식성, 기계적 특성이 우수한 세라믹 소재 중 알루미늄(Al_2O_3) 소재가 보편적으로 사용되고 있다. 그러나, 알루미늄 소재의 경우 우수한 기계적 특성으로 인해 가공이 까다롭고, 파인세라믹스 소재 중 한가

Corresponding Author : jclee@kumoh.ac.kr

Tel: +82-54-478-7382, Fax: +82-54-478-7319

지로 취성이 매우 크기 때문에 원활한 가공을 위한 공구의 개발 및 소재 가공기술에 대한 연구개발이 활발히 진행되고 있으며, 다양한 분야에 적용하고자 하는 연구가 이뤄지고 있다.

알루미나는 우수한 기계적 특성과 취성을 가지고 있는 세라믹 소재로 연삭가공을 통해 Hole 가공을 진행하지만 연삭가공은 생산성이 매우 낮으며, 소재의 높은 경도로 인해 공구의 마모가 빠르게 진행되어 잦은 공구교체가 필요하다. 이와 같은 세라믹 소재 가공을 위해 가장 우수한 가공성을 가지는 다이아몬드 전착 공구를 사용한다.

다이아몬드 전착 공구를 이용한 가공공정이 활발하게 이루어짐에 따라 가공시간, 가공효율성, 공구 교체주기 등에 따른 생산성 문제가 대두되고 있으며, 공구의 수명향상에 따른 생산성 확보가 필요시 되는 실정이다.

본 연구의 목적은 우수한 가공성을 갖는 다이아몬드 전착 공구의 가공효율성, 공구수명 등의 개선을 통한 경제성 향상을 위해 다이아몬드 입자를 적층 전착한 공구와 기존 단층 전착 공구의 가공성을 비교하고자 하며, 적층 전착 공구의 가공조건을 확립하여 다양한 세라믹 소재 가공에 적용 가능성을 검토하고자 한다.

2. 실험장치 및 조건

2.1 시험편

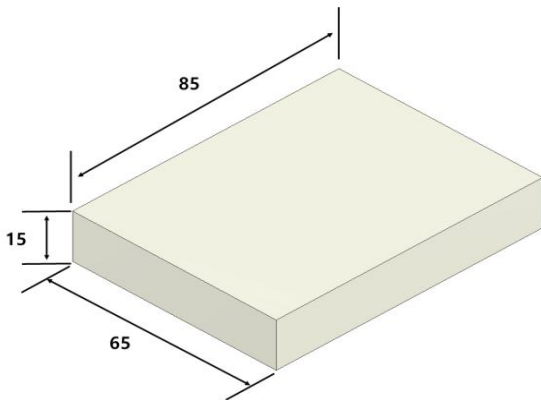


Fig. 1 Grinding force test shape of workpiece

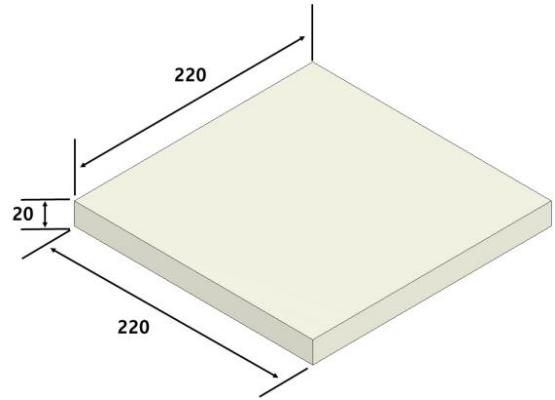


Fig. 2 Tool life test workpiece

Table 1 Mechanical properties of workpiece

Items	Value	Unit
Density	3.90	g/cm^3
Hardness	9.0	Mohs
Young's Modulus of Elasticity	370	GPa
Shear Modulus	140	GPa
Poisson's Ratio	0.22	-
Fracture Toughness	4~5	$MPa \cdot m^{1/2}$

본 연구에 사용된 시험편은 반도체 제조공정에서 사용되는 알루미나(Al_2O_3)를 사용하였으며, 연삭저항력 분석을 위한 시험편과 공구의 수명분석을 위한 시험편 형상을 각각 Fig. 1, Fig. 2에 나타내었으며, 본 연구를 위한 시험 소재인 알루미나 소재의 물성치는 Table 1에 나타내었다.

2.2 장치 구성도

Fig. 3 ~ Fig. 5는 다이아몬드 전착 공구의 연삭저항력을 측정하기 위한 실험 장치 Setup과 연삭저항력 측정 System 개략도, 공구 형상을 나타낸 것이다.

본 실험에서는 Fig. 3과 같이 수직형 머시닝센터 (Model : 두산인프라코어, VM410)을 사용하여 실험 환경을 구성하였으며, 실험 장치는 Fig. 4와 같이 수직으로 작용하는 연삭저항력의 크기를 측정하기

위해 압전형 공구동력계 (Piezo-electric type Tool dynamometer, Kistler 9257B)를 머시닝센터 테이블에 설치한 후 공구동력계 위에 피삭재인 알루미늄편을 바이스에 고정하였다.

연삭저항력 측정 시 공구와 공작물의 상대운동에 의해 발생되어지는 힘은 압전형 공구동력계에서 발생하는 아날로그 신호로 변환되어 다채널 증폭기 (Multichannel charge amplifier)에서 신호가 증폭된 후 아날로그-디지털 변환기(AD converter)를 거쳐 디지털 신호로 변환되어 PC로 전송된다.

PC로 전송된 Data를 이용하여 주분력 F_t , 배분력 F_n 으로 나누어 수치 및 도시화되는데 본 연구에서는 각 가공조건에 따라 단층, 적층 전착 다이아몬드 공구의 주분력을 비교하였다.



Fig. 3 Experiment setting of grinding force

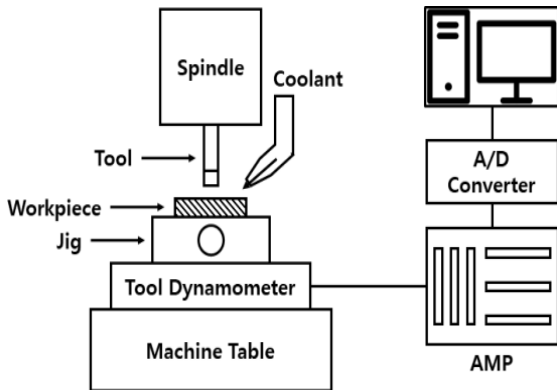


Fig. 4 Grinding force measurement system

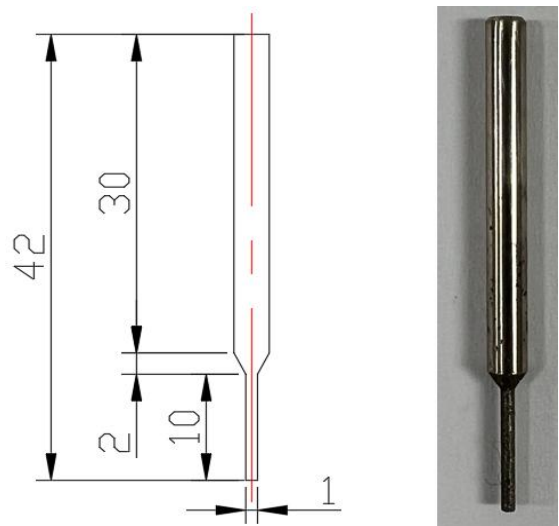
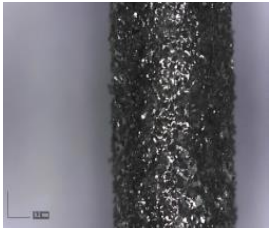
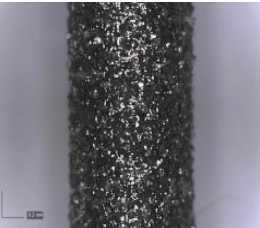


Fig. 5 Shape of diamond electrodeposition tool

Table 2 Condition of diamond electrodeposition method

Single layer diamond electro deposition tool (A Type)	Multi layer diamond electro deposition tool (B Type)
	

2.3 실험 조건

본 실험은 단층 전착 다이아몬드 공구와 적층 전착 다이아몬드 공구를 사용하여 연삭저항력 분석 및 공구 수명실험을 진행하였다. 각 공구의 다이아몬드 입도는 #240으로 동일하게 적용하였으며, 각 공구의 전착 표면을 Fig. 6에 나타내었다. 공구의 직경은 지름 1mm인 공구를 사용하였다.

연삭저항력 측정을 위한 가공조건과 공구수명 실험 조건은 Table 3과 Table 4에 나타내었다. 연삭저항력 측정 실험을 통해 얻은 Data를 바탕으로 공구 수명실험 조건을 선정하였으며, 우수한 가공성을

확보할 수 있는 가공조건을 도출하였다. 다이아몬드 전착 공구의 종류에 따라 편의상 단층 전착 다이아몬드 공구는 A Type, 적층 전착 다이아몬드 공구는 B Type으로 표기하였다.

공구수명 실험은 0.1mm Step depth 조건을 부여하여 스텝가공을 진행하였으며, 주어진 절입깊이 조건에 따라 가공이 완료된 후 피삭재의 가공 상태와 공구의 마모상태를 포터블블 현미경을 통해 표면촬영을 실시하여 분석하였다.

공구의 마모는 버니어캘리퍼스를 이용하여 공구의 길이마모 분석하여 피삭재의 절입깊이에 따라 각 공구의 마모를 비교하였다.

Table 3 Grinding force test condition

Grinding machine	Vertical Machining Center
Workpiece	Alumina
Wheel	Mash : #240
	Diameter : 1mm
Wheel speed	3,000, 3,500, 4,000, 4,500, 5,000rpm
Table speed	0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1mm/min
Depth of cut	100 μ m

Table 4 Tool life test condition

Grinding machine	Vertical Machining Center
Workpiece	Alumina
Wheel	Mash : #240
	Diameter : 1mm
Wheel speed	5,000rpm
Table speed	0.5mm/min
Depth of cut	2, 2.5, 3, 4mm
Step depth	0.1

3. 실험결과 및 고찰

3.1 연삭저항력 분석

단층 전착 다이아몬드 공구와 적층 전착 다이아몬드 공구의 가공특성 분석을 위해 알루미늄 소재 연삭가공과 연삭저항력을 측정하였으며, 주축회전속도와 절입속도의 변화에 따라 연삭저항력을 분석하였다. Fig. 7 ~ Fig. 8은 각각 주축회전속도와 절입깊이에 따른 연삭저항력의 변화를 나타낸다.

Fig. 7의 주축회전속도에 따른 연삭저항력 변화는 단층 전착 다이아몬드 공구와 적층 전착 다이아몬드 공구의 주축회전속도가 증가함에 따라 연삭저항력이 점차적으로 감소하고 있음을 보여주고 있으며, Fig 8의 절입속도에 따른 연삭저항력 변화는 절입속도가 증가함에 따라 연삭저항력이 감소하고 있음을 보여주고 있다. 또한, 동일한 가공조건에서 단층 전착 다이아몬드 공구가 적층 전착 다이아몬드 공구에 비해 상대적으로 높은 연삭저항력이 발생한다는 것으로 확인되는데, 이는 단층 전착 다이아몬드 공구가 연속적으로 가공이 진행되면서 공구의 눈막힘, 열화로 인해 공구의 마모가 가속화되면서 나타나는 경향으로 판단되며, 적층 전착 다이아몬드 공구의 경우 니켈 도금층이 두껍고, 다이아몬드가 적층 형태로 구성되어 있어 외부 다이아몬드 전착층 마모 시 내부 다이아몬드 전착층이 돌출되어 우수한 가공성을 유지하고, 이를 통해 연삭저항력이 비교적 균일하게 나타나는 것으로 사료된다.

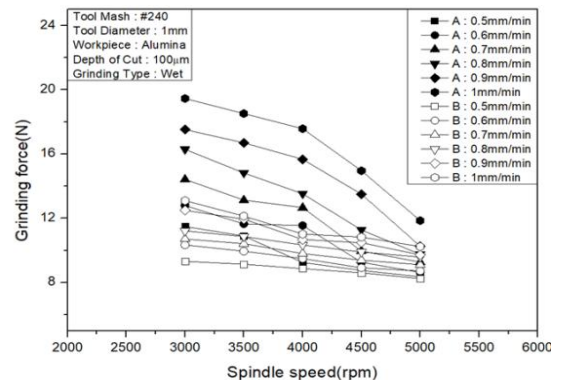


Fig. 7 Grinding force versus spindle speed & feed speed

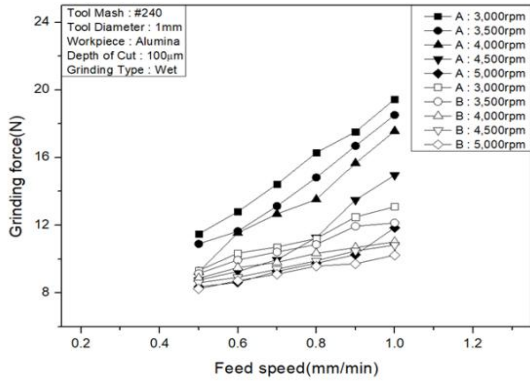


Fig. 8 Grinding force versus feed speed & spindle speed

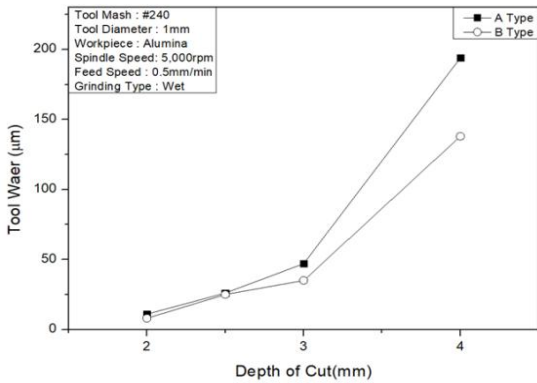


Fig. 9 Tool wear versus depth of cut

3.2 공구수명 및 가공성 분석

Fig. 9는 각 공구의 절입깊이에 따른 공구의 마모를 나타낸 것이다. 절입깊이가 증가할수록 공구의 마모가 점차 증가하는 것을 보이며, 절입깊이 3mm 이상의 구간에서는 급격한 공구의 마모가 발생하는 것으로 나타났다.

공구수명 실험에서 주어진 절입깊이의 모든 구간에서 단층 전착 다이아몬드 공구가 적층 전착 다이아몬드 공구에 비해 마모량이 많은 것으로 확인되었다. 이는, 단층 전착 다이아몬드 공구의 경우 고경도 세라믹 소재가 가공 시 다이아몬드 입자의 마모, 탈락 등으로 인해 니켈 도금층까지 도달하여 연삭보다 연마에 가까워져 가공성이 낮아지는 것이 원인으로 판단된다.

절입깊이에 따른 공구 표면 분석을 위해 포터블 현미경을 이용하여 공구 표면 촬영을 실시하였으며 이에 따른 결과로는 Fig. 10에 나타내었다. 단층 전착 다이아몬드 공구의 공구 표면 분석 결과 절입깊이 2.5mm까지 우수한 성능을 보여주었으나, 절입깊이 3mm 이상 구간부터 공구의 변형, 다이아몬드 입자탈락, 전착층 손실이 발생된 것을 확인하였다. 적층 전착 다이아몬드 공구의 경우 절입깊이 4mm 이상 구간에서 공구의 입자탈락이 발생된 것을 확인하였다.

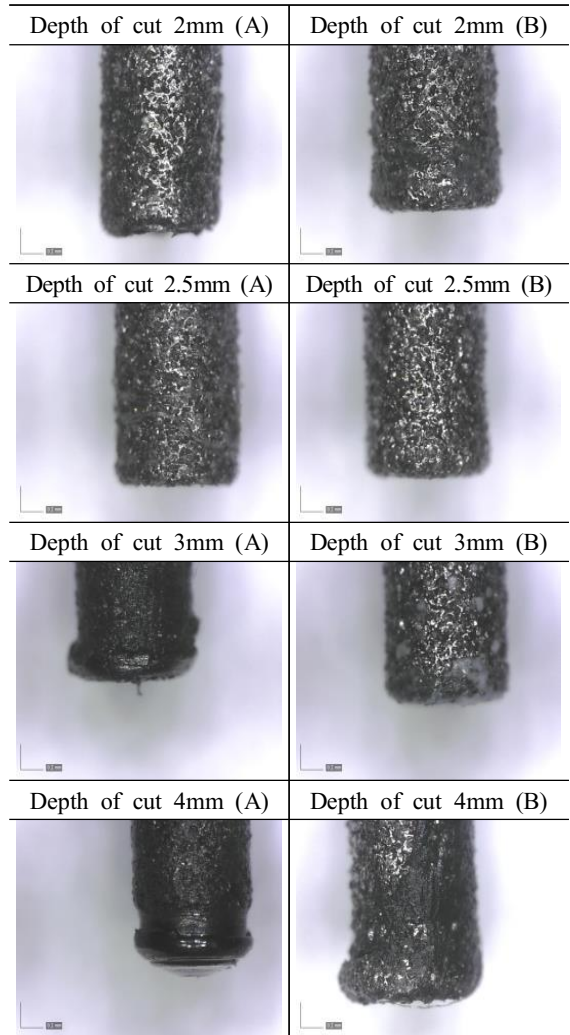


Fig. 10 Result of tool processing surface analysis

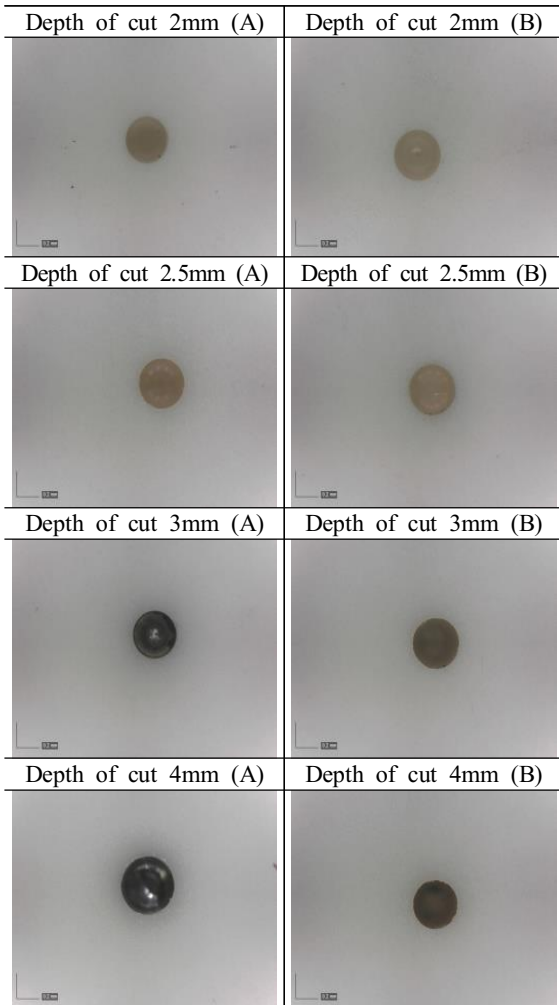


Fig. 11 Result of workpiece processed surface analysis

Fig. 11은 각 공구의 가공특성 분석을 위해 피삭재의 표면을 포터블 현미경을 이용하여 표면 촬영을 실시하였다. 단층 전착 다이아몬드 공구의 경우 절입깊이 3mm 이상부터 공구와 피삭재의 마찰로 인한 열화가 발생하였으나, 적층 전착 다이아몬드 공구의 경우 공구의 열화가 발생하지 않은 것을 확인하였다.

4. 결 론

1. 다이아몬드 전착 공구의 연삭저항력은 주축회전속도가 증가함에 따라 연삭저항력이 감소하고

절입속도가 증가함에 따라 연삭저항력이 증가하는 것을 확인하였다.

2. 적층 전착 다이아몬드 공구가 단층 전착 다이아몬드 공구에 비해 주축회전속도, 절입속도에 따른 연삭저항력 특성이 우수하게 나타난 것을 확인하였다.
3. 절입깊이가 증가함에 따라 공구의 마모가 발생하는 것을 확인하였으며, 3mm 이상부터 급격한 마모가 진행되는 것을 확인하였다.
4. 단층 전착 다이아몬드 공구의 경우 절입깊이 3mm 이상부터 공구의 변형, 다이아몬드 입자탈락, 전착층 손실이 발생하는 것을 확인하였으나, 적층 전착 다이아몬드 공구의 경우 절입깊이 4mm에서 다이아몬드 입자탈락이 발생된 것을 확인하였다.
5. 피삭재의 가공 표면 분석 결과 단층 다이아몬드 공구는 절입깊이 3mm 이상에서 공구 열화가 발생한 반면 적층 다이아몬드 공구는 공구의 열화가 발생하지 않은 것을 확인하였다.
6. 적층 전착 다이아몬드 공구는 알루미늄(Al_2O_3)소재 가공 시 주축회전속도와 절입속도가 증가할 경우 단층 다이아몬드 공구에 비해 우수한 연삭저항력을 나타내는 것으로 확인하였으며, 공구수명 및 가공성 분석 결과 절입깊이가 증가함에 따라 공구의 마모도 또한 천천히 이루어지므로 가공량이 많고 고경도 소재의 가공이 필요한 세라믹 소재에 적용이 가능할 것으로 판단되며, 효율적인 가공이 가능할 것으로 보인다.

후 기

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비(2019-104-099)를 지원받아 수행되었습니다.

REFERENCES

1. Lee, J. C., Grinding & Machining with Superabrasives, Munundang, pp. 96-100, 1998.
2. Lee, J. C., Mechanics for the 21st century, Munundang, pp. 406-416, 2005.

3. Kim, G. M., "study on the wearing behavior of diamond tool used to machining of ceramics Ceramics, Green body, Sintered ceramic", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 10, No. 1, pp. 73-79, 2011.
4. Choi, H. and Kim, C. S., "The Effects on a Side-Cut Grinding depend on the Change of the Quill Rigidity", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 12, No. 5, pp. 36-41, 2013.