

사파이어 절삭용 다층 전착 다이아몬드 공구에 대한 연구

임고운* · 송길용* · 홍주화**†

*스카이다이아몬드(주), **충북대학교 신소재공학과

A Study on Electro-deposited Multi-layered Diamond Tool for Grinding Sapphire Wafers

Goun Lim*, William Song*, Joo Wha Hong**†

*SKY DIAMOND Co., Ltd., Sinjeon-ro 175 beon-gil 154-33, Heungdeok-gu, Cheongju, Chungbuk 28371, Korea

**Dept. of Mater. Eng, Chungbuk National University, Chungdae-ro 1, Seowon-Gu, Cheongju, Chungbuk 28644, Korea

Abstract Recently sapphire wafer has expected as smart phone cover material, however, brittle nature of sapphire needed edge grinding processes to prevent early initiation of cracks. Electro-deposited multi-layered groove tools with 35 μm diamond particles were studied for sapphire wafer grinding. Solid particle flow behaviors in agitated electrolyte was studied using PIV(Particle Image Velocimetry), and uniform particle distribution in Ni bond were obtained when agitating impeller was located lower part of electrolyte. Hardness values of 400 ± 50 Hv were maintained for retention of diamond particles in electro-deposited bond layer. Sapphire wafer edge grinding test was carried out and multi-layered 160 μm thick diamond tool showed much greater grinding capabilities up to 2000 sapphire wafers than single-layered 50 μm thick diamond electro-deposited tools of 420 wafers. The reason why 3 times thicker multi-layered tools than single-layered tools showed 5 times longer tool lives in grinding processes was attributed to self-dressed new diamond particles in multi-layered tools, and multi-layered diamond tools could be promising for sapphire grinding.

(Received September 11, 2017; Revised September 20, 2017; Accepted September 27, 2017)

Key words : multi-layered electro-deposited diamond tool, sapphire wafer grinding, PIV (Particle Image Velocimetry)

1. 서 론

스마트 모바일 시장의 급성장에 따라 스마트 기기용 부품 가공 산업시장도 급격하게 증가하는 추세이며, 기기의 고직접화, 소량화, 내구성 등의 목표로 발전되고 있다. 그러나 스마트 기기용 강화유리는 가공하는 과정에서 깨지고 금이 가는 경우가 많아 다른 부품들에 비해 불량률이 매우 높다. 따라서 경도가 높고, 내스크래치 특성이 좋으며 광투과율과 터치 인식률이 좋은 사파이어 소재의 적용이 모바일기기 시장에서 대두 되고 있다[1].

사파이어 소재는 강화유리에 비해 내스크래치 특성이 좋지만, 가공의 어려움이 있어 공구의 수명이 급격히 짧아지는 문제가 있었다. 사파이어소재 에지 가공에는 다이아몬드 지립을 포함한 니켈전기도금 방

식으로 제작된 다이아몬드 전착공구가 사용된다.

단층 다이아몬드 전착공구는 지립이 단층으로만 구성되어서 사파이어와 같이 경도가 높고 취성이 있는 난삭재료 절삭 시 충격으로 인한 다이아몬드 탈락이 쉽고 수명이 떨어지는 문제점이 있다. 다이아몬드가 본드 내에 4~5개 층이 산포하고 있는 다층공구는 절삭 시 충격에 의한 다이아몬드의 파손이 감소되고, 공구수명이 극대화하고 가공면의 품질이 일정하게 유지 될 수 있다.

본 연구에서는 취성이 있는 사파이어 웨이퍼 에지 부 절삭능력의 향상을 위하여 다층 다이아몬드 전착 공구를 제조하여 단층공구와 절삭능력을 비교하는 연구를 하였다. 다층의 경우 단층공구에 비하여 전착층이 두꺼워지는데, 본드층 두께와 절삭능력간의 상관관계와 이에 미치는 영향에 대하여 고찰하고자 하였다.

†Corresponding author. E-mail : jhhong@chungbuk.ac.kr
Copyright © The Korean Society for Heat Treatment

2. 실험 방법

2.1 전착 공구 제조

전착공구 제조는 분산도금법으로 하였다. 도금조 내부에 음극 상크와 프로펠러를 함께 위치시켜 다이아몬드입자를 교반하여 액중에 다이아몬드입자를 분산시켰다.

전착액의 성분 변화 특히 보충제 함량변화, 유기물 함량 변화 등으로 인해 부족하거나 과잉되었을 때 기포와 돌기가 발생에 예민함을 확인하여 매회마다 농도 분석을 통하여 전착액의 각 구성성분을 일정하게 유지하였고, 다이아몬드 입자거동에 따른 표면 불균일, 다이아몬드 뭉침 현상을 제어하기 위하여 PIV (Particle Image Velocimetry)장치[2]를 활용하여 입자 분산 실험을 통하여 가장 적합한 교반력과 제작되는 공구의 위치를 선별하였다.

교반기와 피전착재의 위치는 피전착재를 기준으로 3가지 방법으로 설정하였다. 피전착재에서 Z축방향으로 +20 mm, X축 방향으로 +30 mm방향, 서로 50%가 겹치도록 위치하고, 두번째 위치는 피전착재에서 Z축방향으로 -20 mm, X축방향으로 +30 mm 방향, 서로 50%가 겹치는데 순서만 바꾼경우이고, 겹치지않도록 Z축방향으로 -20 mm, X축방향으로 +100 mm로 실험하였다.

2.2 전착 공구의 절삭시험

전착 후 단층공구와 다층공구의 가공성능 비교를 하였다. 단층공구는 30-40 μm 크기의 다이아몬드 지립을 사용한 50 μm 두께를 가지며, 다이아몬드 지

립 1층이 표면에 넓게 골고루 부착되어 있는 형태이다. 다층공구 역시 30-40 μm 다이아몬드 지립을 사용하고, 복합전해도금 방식으로 제작하여 지립이 4층으로 형성되도록 제작하여 총 두께 160 μm 로 제작하였다. 형상은 $\phi 51 \times 0.3 \text{ t}$ 사파이어 웨이퍼의 직경 20 μm 를 가공하는 것을 목표로 하고, 최종 형상은 45°로 모따기된 바닥면이 0.2 T의 형상을 target으로 하였다. 웨이퍼의 형상과 동일하게 공구의 형상도 45° 0.2 T의 그루브 형태로 제작하였다. 동일한 장비에서 휠 1000 RPM, 피삭재 2 RPM, 2분씩 정방향으로 가공하여 사파이어 웨이퍼의 에지의 가공량을 측정하여 공구의 수명을 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 PIV를 활용한 다이아몬드 공구 전착

다이아몬드 입자의 전착액 내의 분산에 의해 무작위로 도달하는 다이아몬드 입자가 전착된다. 교반에 의한 입자의 무질서한 거동으로 지금까지 집중도 (concentration)는 투입 다이아몬드 함량으로만 제어를 해왔으나, 본 연구에서는 교반할 때 투명한 수조 옆면에 레이저를 쏘아 전착액 중의 다이아몬드 입자들의 유속과 범위를 측정할 수 있었다. Fig. 1은 PIV로 관찰된 다이아몬드 분포 상태를 보이는데 (a)는 교반 중의 분포상태이며 (b)는 교반 후의 분포이며, 전착액 교반 후 다이아몬드 입자가 균일하게 분산되어 하강하고 있음을 보여주고 있다. Fig. 1에서 횡축은 수조의 반경을 종축은 깊이를 나타내고 있다. 교반기가 피전착재보다 상부에 위치할 때, 집중도

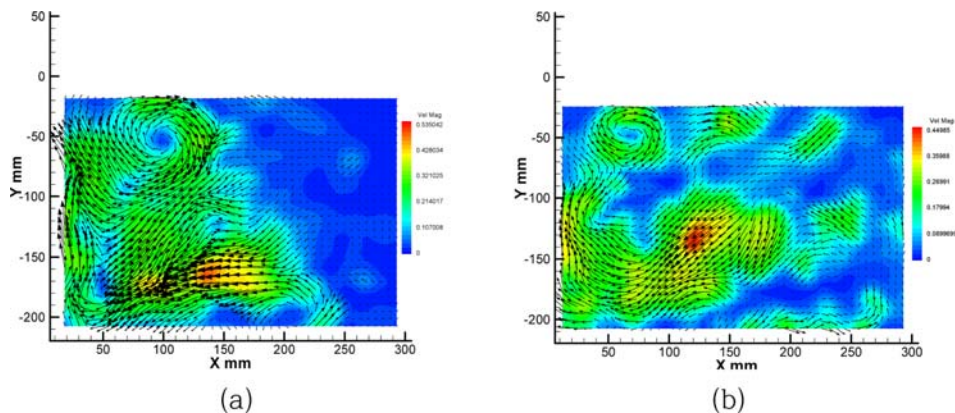


Fig. 1. Distribution of diamond particles in electrolyte (a) during and (b) after agitation.

Table 1. Defect Ratios in Pilot Wheel (n=100) after eliminating Poor Factors

Test Results (ea)		Thickness (μm)				Total	%
		130-159	160-170	171-180	181~		
Fail Ratio	Porosity/non-uniform	1	0	0	0	1	6%
	Swelling	0	0	1	2	3	
	Thickness	2	0	0	0	2	
Pass Ratio	Deposition thickness	0	88	5	1	94	94%
Total		3	88	6	3	100	100%

Table 2. Thickness of dispersion plated section

	Groove bottom section	Groove left section	Groove right section
Thickness	161.9 μm	161.9 μm	165.7 μm

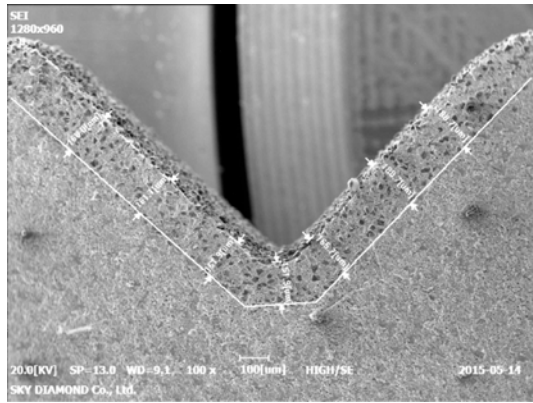


Fig. 2. Dispersion plated section with thickness above 160 μm.

가 100 C(4.4 carat/cm³=25.1%)로 도출되고, 표면에 핀홀이 많이 발생이 되었다. 교반기가 피전착재보다 아래에 있을 때 집중도는 125 C(5.5 carat/cm³=31.4%)로 도출되고, 핀홀이 없고 깨끗한 면을 나타 내었다. 다이아몬드의 밀도가 전해액보다 높은 관계로 교반기가 피전착재보다 항상 아래에 있어야 Fig. 1과 같은 전체적인 다이아몬드 입자의 분산이 가능 하였으며, 피전착재에서 교반압력에 의해 다이아몬드 몽침이 줄어들었다고 추정하였다.

Table 1은 공정에서 핀홀 생성, 돌출부 생성 등의 결함을 제거한 후 다층공구를 제작할 때의 수율이다. 160 μm 이상의 다층 전착공구를 제작하는데 돌기 및 기포발생의 불량요인이 있었으며 표면 평탄화 작업에 어려움이 있었지만, 다이아몬드 집중도 제어 및 불량요인 분석 및 불량 원인제거를 통해 불량 없는



Fig. 3. Cross sections of sapphire wafer edge before and after grinding.

다층 전착공구를 제작하였다.

Fig. 2는 두께 160 μm 이상의 전착층을 가진 공구의 그루브 부분이며 다이아몬드 지립이 균일하게 분포 되었음을 보여주고 있다. 또한 Table 2는 각 부분의 측정값이며 각 부분 두께의 편차가 없음을 보여준다.

3.2 다이아몬드 전착공구의 절삭시험

코팅 두께 50 μm인 다이아몬드 단층 전착공구와 160 μm인 다층 공구로 사파이어 절삭 비교시험을 하였다. 피삭재는 두께 0.3mm 외경 2" 사파이어 웨이퍼를 사용하고, 외경부터 20 μm을 절삭하였다. Fig. 3은 절삭 전후의 사파이어 웨이퍼 모서리 부분을 보여주고 있다. 모서리 부분이 날카롭지 않게 되면 사용시 균열 발생이 지연되어 결과적으로 스마트 기기의 사용수명이 길어지게 된다.

Table 3은 전착된 5개의 공구로 사파이어 웨이퍼를 절삭시험한 결과이며, 단층 전착공구의 경우 421장 가공이 가능하였고, 160 μm 두께의 다층 전착공구는 대략 웨이퍼 2000장까지 가공이 가능하였음을 보여준 것으로 다층전착 공구의 절삭능력의 우수성을 보여주고 있다.

Table 3. Sapphire wafer grinding test results

		Test results			Number of average grinded wafers
		Number of grinded wafers	Surface roughness (Ra)	Grinding precision (μm)	
Multi layer	1	1921	0.3	40	1983.6
	2	2008	0.21	45	
	3	1858	0.19	35	
	4	2206	0.25	45	
	5	1925	0.22	40	
Single layer	1	411	0.45	75	421
	2	426	0.47	80	
	3	355	0.56	80	
	4	405	0.38	60	
	5	508	0.46	65	

표면 거칠기 Ra값은 피삭재의 표면을 긁어서 측정하는 기기로 구하였다. 사파이어가 가진 취성으로 절삭충격으로 인한 거칠기가 증가하는데, 다층 전착하면 절삭시의 충격이 감소하고 Ra값이 떨어져서 표면의 거칠기가 50% 정도 감소된 것으로 판단된다. 가공 정밀도는 절삭시 피삭재의 직경이나 형상의 변화를 보여주는 척도이다. 단층공구로 절삭 시 피삭재간 가공 정밀도가 65~80 μm 정도로 편차가 있는데 비하여, 다층전착공구는 35~45 μm 정도로 변화도 폭 감소와 약 40%의 평균적인 정밀도가 향상되어 다층공구 가공정밀도의 우수성을 볼 수 있다.

공구 밸런스는 모재 형상가공시에 60%가 결정되고 전착 진행 후 다이아몬드의 부분 함량에 따라서 40%의 확률로 밸런스가 틀어질 수 있다. 따라서 시제품의 확실한 품질평가를 위해 언밸런스 측정기로 확인한 결과 10개의 공구모두 2g 이내로 확인되어, 1500 RPM에서 가공하기에 떨림이 없었음을 확인하였다.

다이아몬드 전착공구에서 가공수행 능력을 발휘하는데 중요한 인자는 밸런스와 본드 경도이다[3]. 밸런스가 깨지면 취성이 있는 사파이어 가공시 피삭재가 파손될 수 있다. 또한 본드는 충분한 보지력(retention force)[4]으로 다이아몬드 지립을 장시간 잡아줄 수 있어야 하며, 적절한 시기에 탈락될 수 있는 물성의 경도를 갖고 있어야 한다.

전착 공구이외의 다이아몬드 공구에서는 다이아몬

드 지립을 코발트 등 금속본드와 열간소결압축 공정으로 제조되어 사용된다. 이 경우에도 절삭가공시 입자와 금속 사이의 보지력이 중요한 역할을 한다. 코발트의 경우 열간 성형시 다이아몬드 표면의 원자가 본드와 국부적으로 확산하여 계면이 췌기형태를 가지게 되어 보지력이 강화 된다. 전착공구의 경우 이러한 열적 반응에 의한 계면효과를 기대할 수 없으나, 본 개발에서는 전착부 경도값을 $400 \pm 50 \text{ Hv}$ 이내에 들어오게 하여 다이아몬드 보지력 유지를 도모하였다.

다이아몬드 다층 공구를 이용한 사파이어 절삭에서 기존 단층공구보다 가공거칠기(Ra) 감소, 가공정밀도 증가 및 절삭 웨이퍼 수 5배의 가공성 향상 결과를 가져왔다. 다층 공구의 경우 50 μm 두께의 단층 공구에 비해 전착층 두께가 3배 정도 두꺼운데 반해 수명부분에서는 약 5배까지 향상되는 이유는, 단층공구에 비해 자체적으로 self dressing이 되면서 마모된 입자가 탈락되고[5] 아래에 있던 신선한 다이아몬드 지립이 주기적으로 생성되기 때문이라고 생각된다. 또한 새로운 날이 계속적으로 돌출되면서 가공 정밀도가 유지되며, 가공 후 표면거칠기 감소가 가능하였다고 판단된다. 다층 전착 다이아몬드 공구에서는 self dressing 기구에 의하여 절삭시의 표면 거칠기가 감소하고 가공정밀도도 향상되며 절삭능력이 증대되어, 결과적으로 사파이어와 같은 고경도 난삭재 절삭시 다이아몬드 다층 전착공구가 단층공구에 비하여 우수한 성능을 가진다고 보인다.

4. 결 론

1. PIV 제어에 의하여 40 μm 입도의 다이아몬드 입자가 균일하게 분산된 160 μm 두께의 다층 전착층을 가진 공구가 제조 가능하였다.

2. 전착층의 본드부 경도는 $400 \pm 50 \text{ Hv}$ 정도를 유지하였으며, 이는 다이아몬드 공구의 절삭능력에 필요한 입자 보지력 유지에 기여한다.

3. 다층 다이아몬드 공구는 단층 공구에 비하여 가공 피삭재의 표면거칠기 50% 감소, 절삭 정밀도 40% 향상, 전착층 두께 3배 증가에 비하여 절삭능력 약 5배 향상의 결과를 보였 으며, 이는 절삭 중에 self-dressing 된 새로운 다이아몬드 입자 노출에 의하여 절삭능력이 향상되었다고 판단되었다.

감사의 글

본 논문은 2014년도 산업통상자원부 지역특화산업

육성 기술개발사업과, 충북대학교 학술연구지원사업의 지원에 의하여 수행되었습니다.

References

1. C. P. Khattak, R. Shetty, C.R. Schwerdtfeger, and S. Ullal : World's largest sapphire for many applications, *J. of Crystal Growth*, **452**(15) (2016) 44-48.
2. R. J. Adrian : Particle-imaging techniques for experimental fluid mechanics, *Annu. Rev. Fluid Mech.*, **23** (1991) 261-304.
3. S. T. Chen and S. Jr Lin : Study of an on-line precision microgroove generating process on silicon wafer using a developed ultra-thin diamond wheel-tool, *Diamond and Related Materials*, **20**(3) (2011) 339-342.
4. S. W. Webb : Diamond retention in sintered cobalt bonds for stone cutting and drilling, *Diamond and Related Materials*, **8** (1999) 2043-2052.
5. S. W. Webb and W. E. Jackson : Analysis of Blade Forces and Wear in Diamond Stone Cutting, *J. Manuf. Sci. Eng.*, **120**(1) (1998) 84-92.