

전해방전 가공을 이용한 유리 웨이퍼 미세 절단 Cutting of glass wafer using electrochemical discharge machining

*한민섭, #민병권, 이상조

*M.-S. Han, # B.-K. Min(bkmin@yonsei.ac.kr), S. J. Lee
연세대학교 기계공학부

Key words : Electrolysis localization, glass cutting, electrochemical etching

1. 서론

와이어 전해방전 가공 (WECDM: Wire Electro-Chemical Discharge Machining)을 이용한 미세 절단 공정은 유리, 세라믹, 석영과 같은 비전도성 재질에 적용이 가능하다¹. 전해액과 접촉하고 있는 와이어에 임계전압(critical voltage)이상의 높은 전압을 인가하면 전해작용 의해 생성된 기체방울들이 결합하면서 전기적 절연막을 형성하게 된다. 이러한 절연막의 형성은 순간적으로 와이어와 전해액간의 접촉을 차단하면서 스파크를 발생시켜 가공물을 제거시킬 수 있다. 일반적으로 WECDM은 텅스텐 또는 구리 와이어를 가공전극으로 하여 일정 속도로 이송하면서 절단 하고자 하는 가공물에 전기화학적 스파크를 발생시켜 가공을 수행하게 된다. 이때 와이어에 적절한 장력 유지 및 이송 속도 조절이 요구된다².

Yang et al은 유리 절단면의 표면 품위 및 형상 정밀도 향상을 위하여 전해액에 SiC 파우더를 혼합하였다. 그 결과 SiC 파티클의 연마 효과뿐만 아니라 절연과파 강도 (dielectric strength) 감소를 통하여 절단면의 표면 품위를 향상시키고 오버컷(overcut)을 효과적으로 감소시켰다³. Peng et al은 기존의 정류 전압을 대체하여 펄스 전압을 적용시켰다. 또한 보다 안정적인 스파크 발생을 위한 주파수(frequency)와 듀티비(duty ratio)를 실험적으로 구하고 전극의 전해액 진입 깊이 및 전해액 농도가 기체 절연막의 안정적 형성에 주요 요인임을 밝혀냈다. 이를 통해 유리 10 mm 직경의 광학 유리 및 석영 바(bar)의 절단을 수행하였다⁴.

기존의 와이어 이송 방식의 WECDM 공정은 스파크 발생을 위해 일반적으로 50 VDC 이상의 높은 전압이 요구되기 때문에 5 A에서 20 A 가량의 과도한 스파크 발생을 피하기 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 불필요한 부분의 와이어의 전기적 절연을 통해 기체 절연막의 형성을 가공부위에 집중시켜야 한다. 또한 보다 낮은 전압에서 원활한 가공을 수행하기 위해서는 가공물과의 접촉면을 따라 균일한 스파크 발생을 유도시킬 필요가 있다.

본 연구에서는 세라믹 튜브를 이용하여 텅스텐 와이어 양단을 국부적으로 절연시키고 교류전압을 이용한 전기화학적 에칭을 통해 50µm 직경의 미세 절단 전극을 제작하였다. 또한 가공부위의 활발한 스파크 발생을 유도하기 위해 방전가공 공정을 이용하여 와이어의 표면 거칠기를 인위적으로 높여 주었다. 이를 통해 가공중 절단면을 따라 활발한 스파크가 발생되는 것을 현미경을 이용하여 시각적으로 확인하였다. 펄스 전압을 사용하여 두께 300 µm 유리 웨이퍼를 10 µm/s의 가공속도로 절단한 결과 70 µm의 절단 폭을 얻을 수 있었다.

2. 가공 실험

Figure 1은 유리 미세 절단을 위해 제작된 측면 절연 와이어의 형상을 보여주고 있다. 직경 200 µm의 텅스텐 와이어의 양단을 전기적인 절연상태를 유지한 상태에서 60 Hz 3VAC 교류전압에서 전기화학적 에칭을 통해 미세 전극

을 제작하였다. 교류전압방식은 직류전압 방식에 비해 넥킹(necking) 현상이 적고 에칭된 전극 직경 단차를 줄일 수 있다⁴. 또한 에칭 중에 발생하는 기체 방울에 의한 간섭을 피하기 위해 전극을 수평방향으로 배치하고 100 rpm의 속도로 회전시켰다. 에칭 용액은 전해방전 가공용 10 wt. % NaOH를 사용하였으며 전극 에칭 공정은 3VAC에서 3분, 0.5 VAC에서 1분 동안 수행되었다.

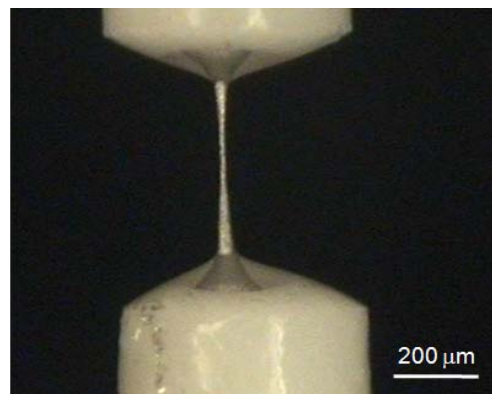
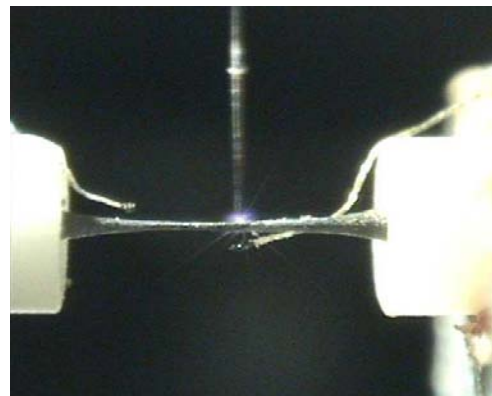
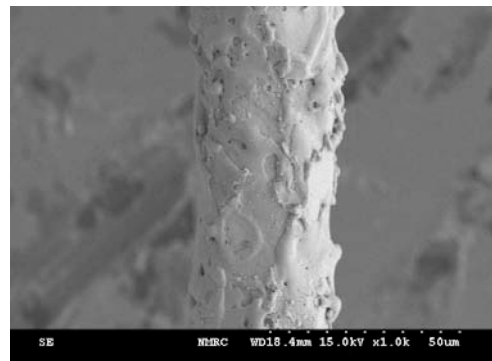


Figure 1 Optical image of electrochemically etched micro-cutting tool



(a) Surface texturing using EDM process



(b) SEM image of discharge craters on wire electrode

Figure 2 EDM of wire electrode surface

Table 1 Experimental conditions

Parameters	Materials	Conditions
Tool Electrode	Tungsten	200 μm , Cylindrical Exposure length: 1.2 mm
AC electrochemical etching	-	60 Hz 3 VAC: 3 min, 0.5 VAC: 1 min
EDM of wire surface	-	Open circuit voltage: 80 VDC
Electrolyte	NaOH	10 wt. %
Applied voltage	-	Pulsed 35 VDC Frequency: 200 Hz, Duty: 40%

와이어 전극의 인위적 표면 거칠기 상승은 전기장 집중 향상 효과를 가져다 줌으로써 스파크 발생을 강화시킬 수 있다. 미세 탐침 전극으로 와이어 표면에 선택적으로 방전 크레이터를 형성시키는 방법을 Fig. 2(a) 에서 보여주고 있다. 80 VDC 의 높은 인가 전압에서 표면 방전 가공으로 제작된 전극을 사용하여 펄스 전압의 주파수와 듀티비를 조절하면서 최적의 스파크 발생 조건을 가시적으로 구하였다. Table 1 은 본 연구에서 수행한 실험 조건을 보여주고 있다.

3. 결과 및 토의

Figure 3 은 절단 가공이 일어나는 과정을 마이크로 스코프를 이용하여 실시간 측정 한 것이다. 전기 화학적 에칭에 의해 표면이 매끄러운 경우 40 VDC 이상의 높은 전압에서도 낮은 스파크 발생 빈도로 인하여 원활한 절단 가공이 이루어지지 않고 와이어 전극의 파손이 자주 발생하였다. 이를 극복하기 위해 방전 가공을 이용하여 표면에서의 전기장 집중 효과를 강화시켰다. 그 결과 figure 3 에서 보이는 바와 같이 가공물의 절단면을 따라 원활한 스파크 발생을 유도함으로써 가공속도를 향상시킬 수 있었다. Figure 4 에서 5, 10, 15 $\mu\text{m/s}$ 의 가공속도로 절단 공정을 수행하였을 때의 절단 폭의 변화를 나타내었다. 5 $\mu\text{m/s}$ 의 낮은 속도에서는 안정적인 가공은 얻을 수 있었으나 과도한 스파크 열에너지 주입으로 인하여 오버컷이 증가하였다. 또한 15 $\mu\text{m/s}$ 의 가공속도에서 절단 도중 와이어의 파손이 발생하였다. Figure 5 는 가공 결과 SEM 이미지를 보여주고 있다.

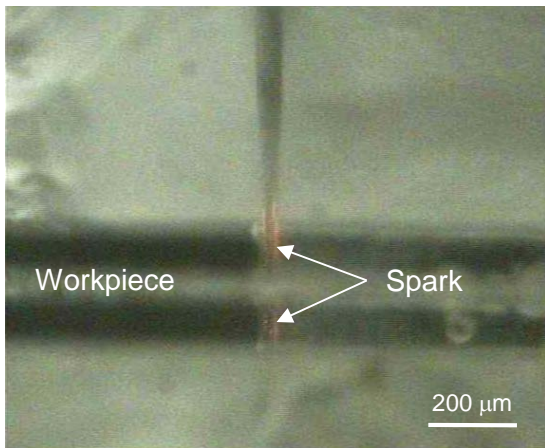


Figure 3. Visual inspection of micro-cutting of glass

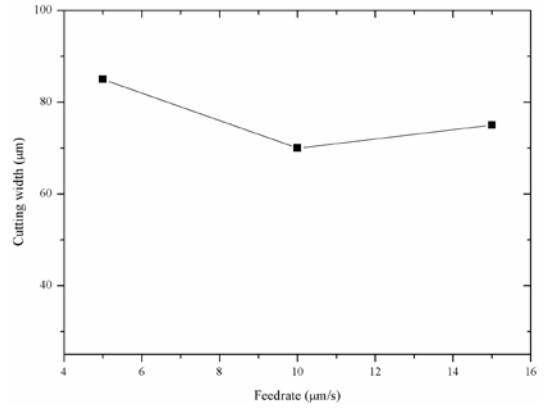


Figure 4. Cutting width according to wire feedrate

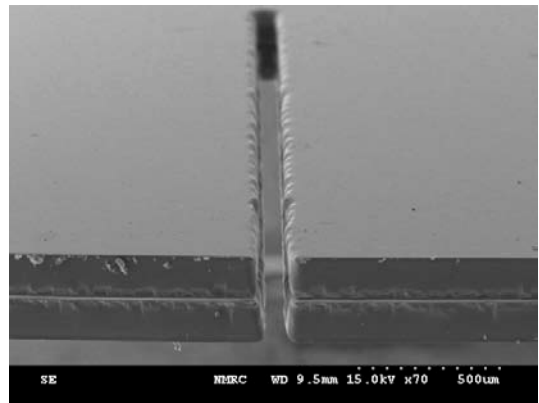


Figure 5. SEM image of glass cutting

4. 결론

본 연구에서는 와이어 전해방전 가공을 이용하여 두께 300 μm 유리 웨이퍼의 미세 절단 실험을 수행하였다. 가공면에서의 기체 절연막 형성을 집중시키기 위하여 와이어 전극을 부분적으로 절연시키고 절단면을 따라 활발한 스파크 발생을 위해 방전가공 공정을 이용하여 와이어 표면에 방전 크레이터를 생성시켰다. 가공실험 조건으로 35 VDC (200 Hz, 50 % duty ratio)에서 두께 300 μm 유리 웨이퍼를 10 $\mu\text{m/s}$ 의 가공속도로 절단한 결과 70 μm 의 절단 폭을 얻을 수 있었다.

후기

본 논문은 지식경제부의 전략기술기반사업 “대면적 미세형상 가공 시스템 개발” 과제에 지원 하에 수행되었습니다.

참고문헌

1. Peng, W. Y. and Liao, Y. S., “Study on electrochemical discharge machining technology for slicing non-conductive brittle materials,” Journal of Materials Processing Technology, **149**, 363-369, 2004.
2. Wüthrich, R. and Fascio, V., “Machining of non-conducting materials using electrochemical discharge phenomenon-an overview,” International Journal of Machine Tools & Manufacture, **45**, 1095-1108, 2005.
3. Yang, C. T., Song, S. L., Yan, B. H. and Huang, F. Y., “Improving machining performance of wire electrochemical discharge machining by adding SiC abrasive to electrolyte,” International Journal of Machine Tools & Manufacture, **28**, 873-881, 2006.
4. Edwards G. J. and Pearce P. R., “A comparison of AC and DC electrochemical etching techniques for the fabrication of tungsten whiskers,” J. Phys. D: Appl. Phys., **11**, 761-764, 1978.