

초음파진동을 이용한 다층 PCB 기판의 마이크로 드릴링

장성훈*, 이선규(광주과학기술원), 원종률, 이석우, 최현중(한국생산기술연구원)

Micro drilling of multi-layer PCB with the use of ultrasonic vibration

S. H. Jang, S. K. Lee(K-JIST), J. R. Won, S. W. Lee, H. Z. Choi(Kitech)

ABSTRACT

Multi-layer printed circuit board(PCB) is being used widely for the product with relatively complex circuits such as TV, VTR and FAX. With the rapid enlargement of electronic and IT industry, the hole machining technology on multi-layer PCB is increasingly required to improve. Thus, the micro drilling with ultrasonic vibration can be a good method for hole machining. Unlike conventional drilling, ultrasonic vibration applied drilling introduces less wear and fracture of not only tool but also internal surface of workpiece due to little cutting resistance, thus, machinability can be improved. The experiment is conducted through the comparison between the results of conventional drilling and ultrasonic micro drilling as well as among each results by the variation according to not only feed rate of drill but also amplitude and frequency of ultrasonic vibration. The multi-layer PCB consists of 6 layers and $\Phi 0.3$ diameter drill was used. As a result, it was found that the state of internal surfaces of holes on multiple layer PCBs is improved by the application of ultrasonic vibration.

Key Words : multi-layer printed circuit board(다층 프린트회로 기판), ultrasonic vibration(초음파 진동), wear(마멸), cutting resistance(절삭 저항), machinability(가공성), feed rate(이송속도)

1. 서 론

1.1 배경

PCB 기판은 통신기기, 반도체, LCD 관련제품의 중요 핵심부품으로서 이에 대한 가공기술의 중요성이 증대되고 있다. 최근에는 PCB 기판의 층간 두께가 $100\ \mu\text{m}$ 이하대로 줄어들고 홀의 크기도 $\Phi 0.3$ 이하의 크기가 요구되면서 기존의 전통적인 드릴링 방법 보다는 개선된 가공법이 요구되고 있다.

따라서 본 연구는 일반적인 드릴링에 초음파진동을 적용한 기법에 대해 연구, 분석을 해 보았다.

Thomas Schaller[1]에 의하면, 드릴링은 cutting, milling 과 같이 특정한 형상의 절삭날을 이용한 전통적인 가공법에 해당한다. 이러한 가공법은 대체로 절삭공구에 스틸이나 초경(tungsten carbide) 혹은 다이아몬드가 쓰이기도 한다. 그런데 드릴링의 경우 물리적인 절삭력을 이용하여 가공하기 때문에 고온에 의한 열변형을 초래하는 레이저가공이나 오로지 전도성 물체에만 가능한 방전가공에 비해서

나름대로의 장점이 있으나 가공시 발생하는 응력으로 인해 툴이나 재료의 파손 등을 초래하기 쉽다. PCB 기판의 경우 외부가 취성재질인 에폭시 수지나 그 외 다른 합성수지 등으로 이루어져 있기 때문에 홀 가공 시 홀 내부나 입출구면에 파손 부위가 많아질 수 있다.

따라서 초음파 진동을 적용했을 때에는 툴과 시편(workpiece)에 걸리는 부하를 줄일 수 있기 때문에 연성재질에서 주로 쓰이던 드릴링 가공을 취성재질에 까지 적용할 수 있게 되고 공구의 파손이나 시편내에 결함부위의 발생을 예방할 수 있어 가공 성능을 훨씬 향상 시킬 수 있게 된다.

구현 가능한 최대 세장비(aspect ratio)는 드릴링에 선 10 가량인데 EDM 이 100 이상이고 laser machining 이 50 가량인 것에 비하면 낮은 수치이지만 초음파를 이용하여 그 값을 증가시킬 수 있고 또한 적용 가능한 재질을 연성재질에서 취성재질에 까지 확대시킬 수 있어서 이에 관한 많은 연구가 계속 지속되어 오고 있다.

1.2 초음파 진동과 마찰

드릴링 가공도중 드릴과 시편사이에 어느 정도의 마찰이 존재하는데 시편을 절삭하는 과정에서 발생하는 절삭저항(cutting resistance)에 의한 마찰 뿐 아니라 드릴의 이송시 시편내부와와의 마찰도 일어나게 된다. Fig. 1 는 이러한 마찰의 특성에 대해서 간단히 나타내었다.

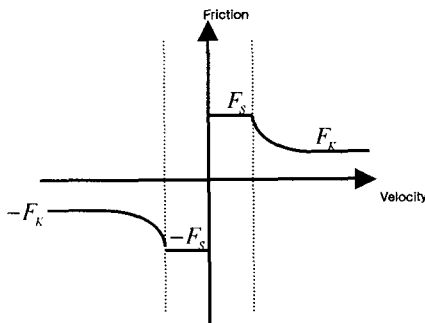


Fig. 1 The contact friction force curve

(F_s : static friction force, F_k : kinematic friction force)

Fig. 1 에서 보는 바와 같이 마찰력(friction force) 혹은 마찰계수(friction coefficient)는 물체의 속도의 함수, $F(v)$ 로서 표현이 되는데 속도가 0 에서부터 근처의 구간은 정지마찰계수가 작용하는 영역인데 어느 일정 속도 이상에선 운동마찰계수 영역이 시작되어서 마찰계수가 속도의 증가에 따라 감소하다가 특정한 값에 이르게 된다.

그런데 드릴의 이송속도가 V_0 인 드릴링에서 시편에 진폭이 A 이고 주파수가 f 인 정현 초음파 진동이 적용될 경우 드릴과 시편의 상대속도는

$$V(t) = V_0 + 2\pi f A \sin(2\pi f t) \quad (1)$$

으로 증가하게 되어서 마찰력의 감소를 가져오게 된다. 비록 초음파진동의 진폭이 미비하다라도 본 연구에서는 20kHz 이상의 주파수를 가진 초음파 진동을 이용하였기 때문에 속도증가의 폭이 상당히 드릴과 시편의 접촉 마찰력의 감소 효과가 상당히 있다고 볼 수 있다.

그리하여 접촉 마찰력의 감소는 결국 공구와 시편에 결함이나 혹은 파손의 발생을 줄일 수 가 있다는 면에서 바람직하다고 볼 수 있다.

2. 실험 방법

2.1 시편을 위한 고정 지그 제작

시편을 가지고 미세홀을 위한 드릴링 가공을 수행할 때 우선 선행되어야 할 것이 바로 고정 지그 제작이다. 본 연구에서는 초음파 진동을 발생시키

는 진동 테이블(vibration table) 위에 시편을 고정시키고 드릴링을 수행하기 위한 지그를 제작하였다.

Fig 2.은 진동 테이블 위에서 시편의 드릴링 가공에서 시편의 고정을 위한 지그에 대해 보여주고 있는데 되도록이면 가벼우면서 또한 외력에 견딜 수 있는 강성을 가진 재질을 사용하는 게 바람직하다.

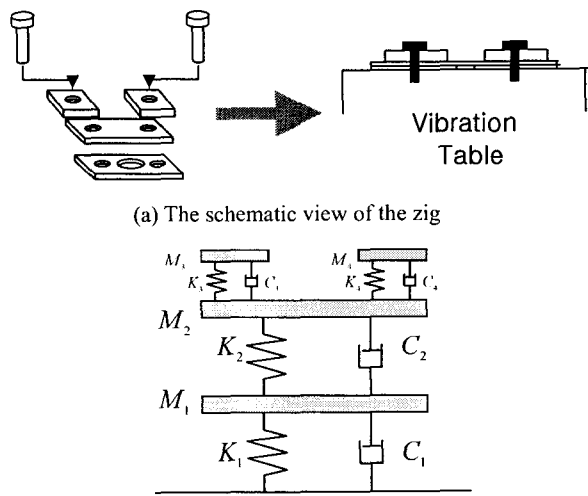


Fig 2. The fixing Zig for multi-layer PCB

왜냐하면 진동전달율(TR : Transmissibility) 측면에서 살펴보았을 때,

$$TR = \frac{k + j\omega c}{k - \omega^2 m + j\omega c} = \frac{\sqrt{1 + (2\xi r)^2}}{\sqrt{(1 - r^2)^2 + (2\xi r)^2}} \quad (2)$$

무거운 재질은 k, c 에 비해 m 이 크므로 TR 값을 낮추기 때문이다. 볼트와 시편 사이에 기판과 똑같은 크기의 홈을 가진 알루미늄 와셔(washer)를 삽입하였는데 알루미늄으로 가능한 많은 면적을 압박하여 가공시편의 불필요한 움직임을 억제하기 위한 것이다.

2.2 실험 장치

Fig.3 은 본 연구에서 사용된 실험장비이다. 이 장비는 마이크로 드릴링외에 ELID 에 의한 연삭가공이 가능하며 ELID 후 연삭숫돌을 이용한 마이크로 핀 가공도 가능하다.

Table 1[1]에는 이 장비에 대한 성능과 특성에 대해서 간략히 나와있다.

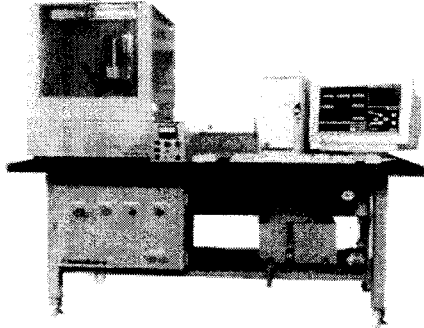


Fig. 3 External view of Ultraprecision Micro-form Generating Machine

Table 1. The specification of Ultraprecision Micro-form Generating Machine

Resolution (μm)	X, Y	0.25
	Z	0.35
Main Spindle	Brushless motor with air spindle	
Max. Rotational Speed (rpm)	40,000	

Fig. 4 는 초음파 진동 테이블이며 두가지 타입의 테이블을 실험에 사용하였는데 각각 20.40kHz 주파수의 진동을 발생시킨다. 초음파 진동 테이블은 시편으로 진동을 전달할 때 시편과 지그의 구조와 크기 및 재질등에 따라 소폭의 주파수 변화가 발생하고 진폭의 경우엔 Power 를 이용하여 조절이 가능하다.

그런데 이 진동 테이블을 이용하여 가공을 할 경우 진동 테이블이 내는 진동의 진폭은 항상 일정하겠지만 시편이 달라지게 되면 시편의 질량 변화로 인해 매 가공 시 시편 끝 단 진동의 진폭을 확인 해야 하는 단점이 있다.

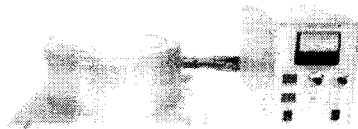


Fig. 4 Ultrasonic Vibration table

3. 실험 결과

3.1 실험 조건

본 연구에서는 드릴의 이송속도의 변화와 초음파 비 적용시와 초음파를 적용했을 경우 진폭의 변화에 따른 가공실험 결과를 서로 비교 분석하였으며 관련자료[3]를 바탕으로 마이크로 복합 가공기의 권장 회전속도인 30000rpm 을 실험시 회전속도로 채택하고 그에 맞게 드릴의 이송속도를 조정하였다.

Table 2. Experimental conditions

Drill diameter	$\Phi 0.3$
Feed rate ($\mu\text{m/s}$)	1500,2000,2500,
Rotational speed(rpm)	30000
Amplitude of UL. vibration(μm)	0.5, 1, 1.5, 2, 2.5, 3
Frequency (kHz)	20, 40
Multi-layer PCB	1.6mm , 6 layers

본 연구에서 사용된 마이크로 드릴은 Fig. 5 에 소개되어있는데 재질은 초경계열로써 주로 PCB 기판의 홀 가공을 위한 것이다.

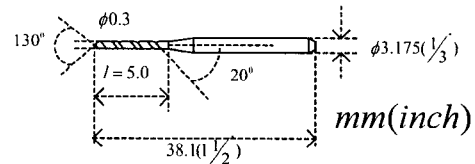


Fig. 5 micro drill ($\Phi 0.3$)

3.2 가공 결과

일반 드릴링 가공과 초음파 드릴링 가공과의 비교 분석을 실시 하였으며 실험결과가 Fig. 6 에 나타나 있는데 LSM(Laser Scanning Microscope)로 촬영하였다. 첫 번째 행의 사진들은 일반적인 드릴링 결과물이다. 드릴의 이송속도가 증가할수록 표면이 거칠어 지는데 드릴링시 절삭저항의 증가에 의한 것으로 보인다. 초음파 마이크로 드릴링의 경우, 진폭이 0.5, 1.0 μm 인 지점에서 가공결과가 가장 양호하다는 것을 육안으로도 알 수 있다.

Fig. 7 에선 위 사진들에 대한 평균 조도의 값을 보여주고 있는데 드릴 이송속도 1500 $\mu\text{m/s}$ 일때 초음파 비적용과 1.5 μm 의 초음파 진폭일 때의 값이 비슷할 뿐 나머지에선 초음파 비 적용시 표면 거칠기가 나아지는 것을 알 수 있다.

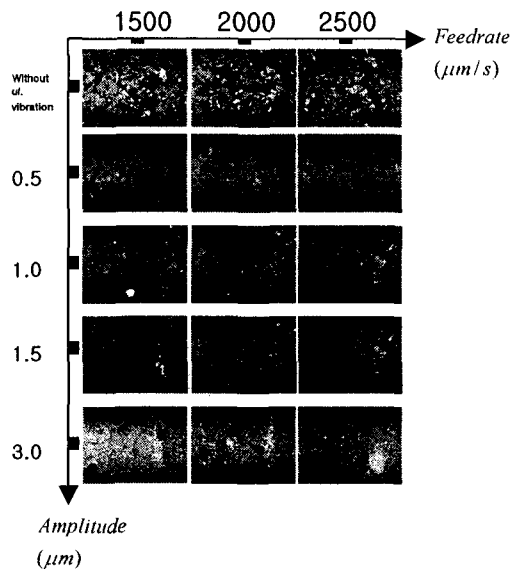


Fig. 6 The photographs of the internal surfaces of micro holes (LSM)

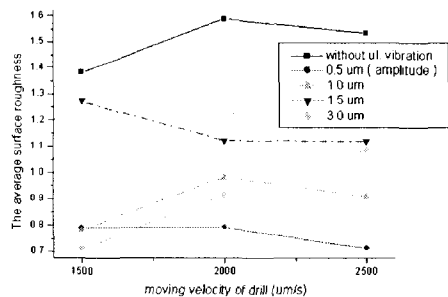


Fig. 7 The internal surface roughness of holes

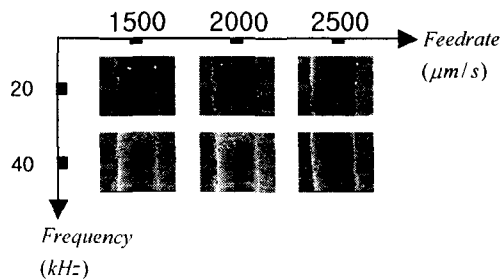


Fig. 8 The photograph of the internal surfaces of micro holes (SEM)

진폭이 $0.5 \mu\text{m}$ 인 같은 값에서 주파수가 20kHz, 40kHz로 서로 다른 환경에서의 가공결과들은 Fig. 8에서 비교 분석되었는데 주파수 증가가 드릴과 시편과의 상대 속도 증가로 이어져 내부 표면의 상태가 취약해 졌다.

4. 결론

본 연구에서는 다층 PCB 기판에 적용하기 위한 미세 홀 가공의 성능을 향상시키기 위한 목적으로 초음파 진동을 마이크로 드릴링 가공에 적용하였으며, 일반 마이크로 드릴 가공과 비교를 통한 검증 을 실시하였다.

1. 드릴링에 초음파 진동을 적용할 경우 가공된 홀 내부표면의 상태가 양호하다.
2. 내부 표면 거칠기는 드릴의 이송속도에 비례 한다.
3. 초음파진동 테이블 끝단의 진폭에 변화를 주 었을 때 $0.5\sim 1.0 \mu\text{m}$ 진폭에서 결과가 양호하다.
4. 초음파 진동이 20kHz에서 40kHz로 증가하였 을 때 드릴과 시편과의 상대속도의 증가로 인 해 가공결과가 저하되었다.

참고문헌

1. Thomas Schaller., Wilhelm Pfleging, Marcus Hlavac "Cut it out. Shaping the micrometer," Proceedings of ASPE winter topical meeting, pp. 8 -13 , 2003.
2. H. Ohomori, Y. Uehara., Y. Yamagata, S. Moriyasu, W. Lin and A.Makinouchi "Grinding characteristics of CVD-SiC Cylindrical mirror with ELID Grinding Method," Advances in Abrasive Technology IV, pp. 89 - 94, 2001
3. Hiromichi Onikura, Osamu Ohinishi, Jinhai Feng, Toshikazu Kanda and Takahiro Morita "Effects of Ultrasonic Vibration on Machining Accuracy in Micro drilling," JSPE, vol. 62, No. 5, pp. 676-680, 1996.