

Copper 박막의 레이저 미세홀 가공시 버 생성에 관한 연구

오재용*(부산대 대학원 ERC/NSDM), 신보성(부산대 ERC/NSDM)

A study on burr generation of laser micro-hole drilling for copper foil

J. Y. Oh(ERC/NSDM., PNU), B. S. Shin(ERC/NSDM, PNU)

ABSTRACT

The burr of micro drilling and micro cutting on thin metal film is a major obstacle to mass production for micro PCB boards in micro technologies of personal computing and telecom explosion. As the burr affects on the assembling process, it is necessary to study continuously on control or elimination of the burr. In order to get higher valued products, it is also needed to competitive techniques with the high resolution.

In this paper, we studied experimentally the burr generation that when it is processed on the copper foil by laser in micro-hole machining. Unlike mechanical machining, the burr produced on substrate is a resultants of melt and re-solidification of a melten metal which was heated and treated by laser. And higher laser energy increases the size of burr. Therefor in micro-drilling with laser, it is difficult to reduce the effects of burr for very thin metal sheets. We investigated the state of the burr and analyzed the laser ablation. Cu micro machining with respect to laser intensity and processing time.

Key Words : UV laser(자외선 레이저), burr(버), copper foil (구리 박판), Micro-drilling(미세 드릴링)

1. 서론

MEMS 기술의 발달과 첨단 산업에서 요구되는 다양한 부품에 대한 시장의 수요를 만족시키기 위해 고도의 정밀도를 요하는 가공 기술에 대한 연구가 활발하다. 그러나 제품의 초소형화에 따른 초정밀의 구성부품을 대량으로 가공 및 제작하는데 있어서 많은 문제점이 야기된다. 현재 대부분의 mm 스케일의 부품들은 자동화에 의한 대량생산이 이루어지고 있다. 반면 부품의 크기가 수-수백 μm 이거나 서브 마이크로 단위로 작아지게 되면 자동화에 의한 대량생산이 어려워질 뿐만 아니라 정밀도 향상을 위하여 한 번의 공정으로 단 하나의 부품밖에 생산하지 못할 수도 있다. 특히 금속 박판에 마이크로 단위의 미세 드릴링 가공 및 절단 가공 시 발생하는 버(burr)는 대량 생산에 주요 장애물이다. 정밀부품 가공에서 발생하는 버는 제품의 특성에 따라 조립 및 형상 정밀도에 큰 영향을 주므로, 기술적인 경쟁력을 확보하고 고부가가치 창출을 위해 버 발생 억제 및 제거 기술을 필수적이며 지속적인 연구

가 수행되고 있다.

이미 나노초 레이저에 의한 금속 미세 가공의 어블레이션과 구리박판에 미세홀을 가공하는 연구는 활발히 진행되어져 오고 있다. 1064, 532, 355nm 펄스폭의 Nd:YAG 레이저로 각각 구리 박판에 레이저로 미세홀 가공을 하면 355nm 펄스폭에서 가장 좋은 가공성을 나타낸다. Fig. 1(a)는 펄스폭 355nm Nd:YAG 레이저로 두께 0.25mm 구리박판 가공을 레이저 강도 $8.7\text{GW}/\text{cm}^2$ 로 가공한 사진으로 펄스당 $6.68\mu\text{m}$ 깊이로 가공된 것이다.[1] 여기서 에너지 강도가 더 높아지면 열적인 영향에 의해 버가 커지고 진원도 또한 좋지 않으며 에너지가 낮아지면 가공이 잘 되지 않는다. 따라서 레이저 미세 가공에 있어서 우선 최상의 가공 조건을 찾는 것이 선행되어야 함을 짐작할 수 있다. 최상의 가공 조건은 진원도가 높으며 구멍 주위가 깨끗하며 특히 버가 매우 작은 상태를 말한다. 그리고 가공 변수는 레이저의 종류, 시편의 종류 및 두께, 레이저 에너지 강도, 펄스 폭, 조사시간, 초점거리, 대기의 가스 및 압력 등 수없이 많으며 각 변수의 변화에 의한

차이 또한 다양하다.

더구나 여러 겹의 층으로 구성된 박판을 가공할 경우는 각 층의 성분에 따라 레이저 어블레이션 및 가공성이 틀리므로 더욱 복잡하다. 현재 다층박판에 대해서는 한층씩 차례대로 가공하는 방법이 사용되고 있다. 구리-폴리머-구리 3층 박판의 경우 먼저 제일 윗층의 구리층부터 제거 후 차례로 폴리머층을 제거하고 마지막 구리층을 제거한다. Fig. 2(b)는 이러한 방법에 의해 가공된 홀의 형상이다.[2] 이러한 공정에서 제일 고려해야 할 사항은 밑층의 소재에 영향을 주지 않으면서 위층만 가공되는 조건을 찾는 것이다. 비록 이론적으로 근사적인 접근이 가능하지만 결국은 실험적으로 찾아야 한다. 한 번의 공정으로도 가능하지만 그것은 매우 제한적인 경우이며 더 많은 연구를 필요로 한다.

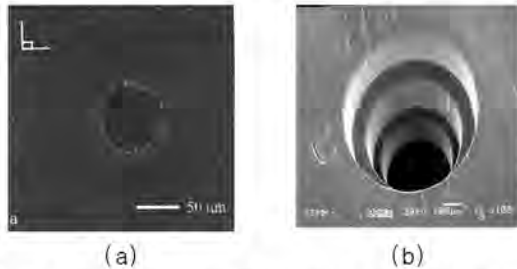


Fig. 1 Laser processing for micro-hole of (a)Cu sheet, and (b)Cu-PI-Cu sheet

본 연구는 우선 레이저에 의한 구리 박판과 다층박판(구리-폴리머, 구리-폴리머-구리)의 미세 홀 가공 시 최적 가공 조건을 찾고 버를 최소화하기 위하여 수행되었다. 레이저 가공에서 기계적 가공에서와는 달리 가공표면에 생성되는 버가 열적 반응에 의한 시편의 용융물이며 재용고물이다. 따라서 가공 시편이 두껍거나 높은 에너지를 요구하는 가공에서는 버에 의한 가공 정밀도 저하가 현저히 나타나게 된다. 따라서, 먼저 Cu 가공 시 레이저 어블레이션에 대해 분석하였고, 레이저 에너지 밀도, 조사시간 등의 공정 변수를 설정하여 가공 시 버의 상태를 관찰하였다. 그리고 버를 최소화하기 위한 공정으로 질소 가스에 의한 산화막 형성 및 피가공체인 Cu 박막 표면에 유성 물질을 코팅하여 가공한 후 유성 코팅막을 제거하는 실험을 하였다. 가공 결과는 광학 현미경 및 SEM 촬영을 통해 관찰하였다.

2. 실험 방법

2.1 버 생성 메커니즘

Fig. 2 는 레이저 어블레이션 시 일어나는 현상의 물리적 개념도와 나노초 펄스 레이저의 버의 형성 과정을 보여준다. 버의 형상은 급속한 온도상승에 의해 형성된 과열액체의 팽창에 이어 상폭발 현상에 의해 형성되며 또한 증발된 재료가 대기 기체와의 충돌을 거치면서 평형에 도달할 때 표면에 다시 응축되는 현상에 의해서도 형성된다. 생성된 버는 대기중의 산소와 반응하여 산화를 일으키게 되는데 이는 가공 부위를 검게 만든다. 따라서 버의 생성에 영향을 미치는 요소는 실로 다양하다.[4]-[6] 그러므로 버를 제거하는 것이 매우 힘들지만 버를 줄이기 위해서는 낮은 에너지 강도와 보호가스를 적절히 사용해야 한다.

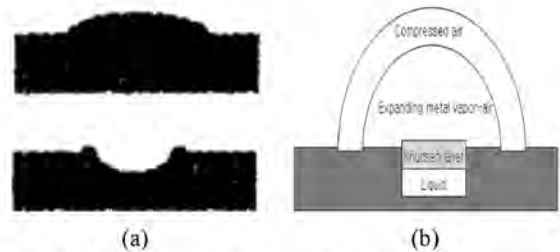


Fig. 2 Laser ablation (a)creating of burr, (b)physical diagram of pulsed laser ablation and solid heating

2.2 미세홀 가공 및 버 제거 실험

25 μ m의 구리박판에는 한 번의 레이저 조사만으로 최대 지름 20 μ m까지 홀이 가공되어진다. 따라서 30 μ m 크기의 홀을 가공하기 위해서는 원을 따라 절단하는 가공법을 사용하여야 한다. Cu-PI-Cu 박판은 두께가 매우 두껍기 때문에 구멍 직경비(가공 앞면의 원의 지름과 뒷면 원의 지름 비)가 커지게 된다. 따라서 직경비를 줄이기 위하여 절단 원형 내부에 작은 원을 하나 더 추가하여 가공하였다.[2],[3] Fig. 3은 이러한 레이저 가공의 개략도를 나타내었다. 원의 크기, 레이저 강도와 조사 횟수를 변수로 선택하여 우선 30 μ m의 홀을 만들 수 있는 최적 조건을 찾았다. 분위기 압력과 대기의 화학적 조성 또한 중요한 변수이므로 질소 분위기에서 가공했을 때 가공 상태 변화 및 버의 변화를 관찰하였다. 그리고 유성막으로 코팅을 한 박판을 가공한 후 코팅막을 다시 제거하여 버의 변화를 관찰하였다. Fig. 4는 코팅막의 형성, 가공, 제거의 절차를 도식적으로 보여주고 있다. 버의 발생이 시편의 상부 표면이므로 유성막은 희생층으로서 가공 후 제거하면 버 역시 같이 제거된다.

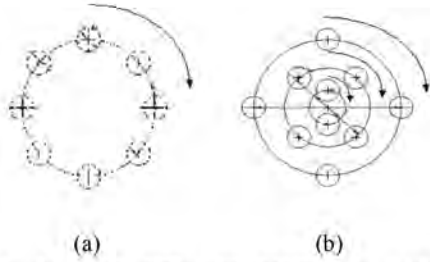


Fig. 3 Laser paths on processing (a)one circle, (b)multi circle



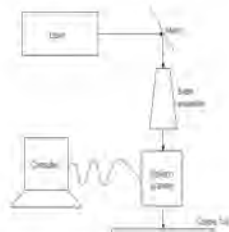
Fig. 4 Process of coating, laser treating and removing coating layer

2.3 실험 장치 구성

본 논문에서는 사용된 레이저빔은 DPSS UV Laser로 파장(wavelength) 355nm, 빔직경 2mm, 30.303kHz의 펄스 반복률, 출력 3.5W 그리고 20nsec의 펄스폭을 갖는다. 레이저 스펙은 Table 1과 같다. 레이저 빔 모양은 가우시안 형상을 하고 있다. 가우시안형상의 빔은 컴두 출력이 높아 홀 가공에 적합하다. DPSS UV laser는 액티브 레이저에 비해 출력이나 빔의 크기 등에서 단점이 있지만 유지보수가 간단하면서 출력이 안정되고 펄스 반복율이 높아 벡터 스캐닝 방식의 가공방법에 많이 이용된다.[2] 시스템 구성은 Fig. 5와 같으며 발진기에서 나온 레이저는 빔익스펜더를 거쳐 갈바노 스캐너로 입사된다. 갈바노 스캐너는 레이저를 원하는 패턴으로 고속 전사할 수 있게 하며 컴퓨터에 의해 제어된다. 가공 시편으로는 25 μ m 두께의 구리 박판, 12 μ m-10 μ m Cu-PI 박판, 18 μ m-76 μ m-18 μ m Cu-PI-Cu 박판과 9 μ m-25 μ m-9 μ m Cu-PI-Cu 박판을 사용하였다.



(a)



(b)

Fig. 5 Laser system (a)photo of laser optics, (b)schematic diagram

Table 1 Specifications of laser system

DPSS Laser	
Wavelength	355 nm
Average power	0.1-3.5 Watt
Pulse length	20 nsec
Repetition rate	30.30303 kHz
Mode	M ² <1.25 TEM ₀₀
Beam diameter	2 mm
Beam divergence	<0.5 mrad

Table 2 Thermo-physical material properties[2]

	Cu	PI
Boiling Point	2567°C	
Latent heat of evaporation	4796J/g	
Melting Point	1083°C	
Latent heat of fusion	205J/g	
Specific heat	385J/kgK	1.09kJ/kgK
Thermal conductivity	401W/mK	0.25W/mK
Density	8.96g/cm ³	1.42g/cm ³

3. 결과 및 고찰

3.1 질소 분위기 가공

질소 분위기를 형성하는 가장 큰 이유는 시편을 대기중의 산소와 차단하여 가공시 발생하는 용융물 혹은 채우고물의 산화를 방지하는 것이다. 같은 가공 조건으로 홀을 가공할 경우 질소가스의 유무에 따른 가공결과 차이는 Fig. 6-8을 보면 알 수 있다. 질소 분위기에서 가공했을 때가 대기중에서 가공했을 때보다 표면이 깨끗함을 알 수 있다. 대기중에서 가공했을 경우 홀 주위에 원형띠 모양의 상폭발 흔적이 남아있는 것을 관찰할 수 있다. 반면 질소 분위기에서 가공했을 경우 이러한 현상이 없는데 이는 레이저 어블레이션 때 상폭발에 의해 튀어져 나가는 액체 혹은 기체 상태의 잔유물이 표면에 채우고 될 때 산화되지 않게 보호 가스의 역할을 한다는 사실을 뒷받침해준다. 구리-폴리머 2층 박판에서도 질소 분위기의 효과가 동일하게 나타나지만 구리-폴리머-구리 3층 박판의 경우는 많은 차이점을 나타내지 않았다. 이는 가공에너지가 매우 높아 상폭발이 질소층을 넘어 크게 형성되어 와류로 인해 주위 산소가 흡입되기 때문이다.

3.2 박판 두께에 따른 버의 변화

본 실험은 박판의 두께에 관계없이 우선 원하는 크기의 홀을 만들고 최적 조건이라 판단되는 가공에서의 버를 측정하였다. 이는 시편 두께의 변화에 따른 가공성의 차이를 보여줄 수 있다.

Fig. 9는 18 μ m-76 μ m-18 μ m Cu-PI-Cu 박판과 9 μ m-25 μ m-9 μ m Cu-PI-Cu 박판의 직경 30 μ m 홀 가공 시

버의 비교이다. (a)에서 버가 적게 나온 것은 (b)보다 두께가 얇아서 상대적으로 낮은 레이저 강도로 가공을 했기 때문이다. 특히 시편이 두꺼울수록 초점거리 변화에 따른 에너지 밀도 변화로 인해 가공성을 높이기에는 한계가 있었다.

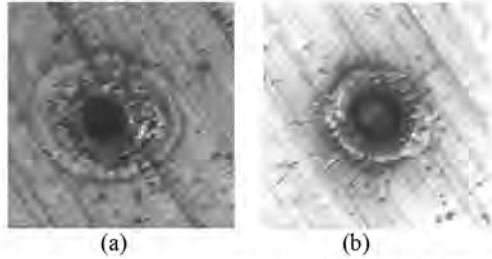


Fig. 6 Burr generation for Cu sheet (a)in air, (b)in N_2 gas

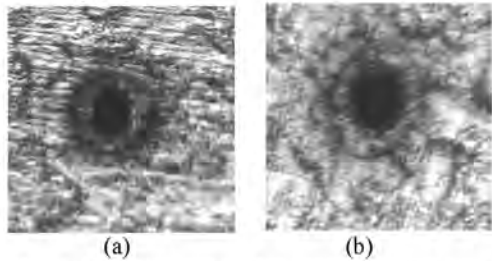


Fig. 7 Burr generation for Cu-PI sheet (a)in air, (b)in N_2 gas

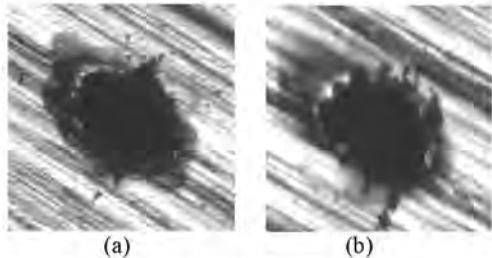


Fig. 8 Burr generation for Cu-PI-Cu sheet (a)in air, (b)in N_2 gas

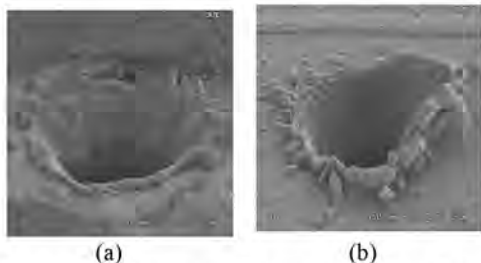


Fig. 9 SEM photos of burr generation for different thickness (a)9-25-9 μ m Cu-PI-Cu sheet, and (b)18-76-18 μ m Cu-PI-Cu sheet

3.3 희생코팅층에 의한 버 제거

박판위에 코팅을 하면 우선 최적 가공 조건이 변

하게 된다. 이는 코팅막의 두께가 수 μ m이므로 하나의 층이 더 생성된 것이기 때문이다. 따라서 일반 가공보다 더 높은 에너지 강도를 필요로 한다. Fig. 10은 코팅한 후 가공하여 코팅막을 제거하면 표면이 깨끗하고 버가 매우 줄어든 현상을 보여주고 있다. 가공 중 박판 표면에 생기던 가공 잔유물들은 코팅막이 제거 될 때 같이 제거되어 시편 자체가 매우 깨끗해지고 버가 커지는 것 또한 방지되었다. 코팅막의 두께를 조절하거나 성분을 바꾼다면 버 억제 및 제거 효과가 탁월한 것으로 관찰되었다

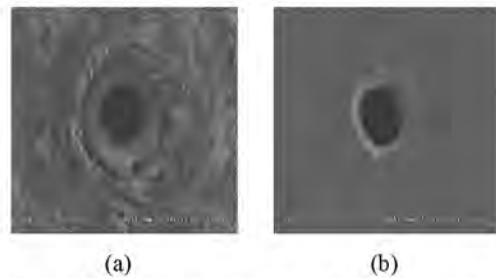


Fig. 10 SEM photos of victim layer process (a)before removing coating layer, (b)after removing coating layer

4. 결론

DPSS UV 레이저에 의한 미세홀 가공은 기계적 가공과 달리 열적 공정이다. 따라서 시편의 두께 및 재질이 변화함에 따라 알맞은 공정 조건을 다시 찾아야 된다. 본 연구는 이러한 과정에서 생기는 버에 대해 관찰하고 이를 최소화하기 위하여 실험적으로 분석하였다.

그 결과 첫째, 질소분위기에서 가공함으로써 가공시 홀 주위에 발생하는 산화흔적을 억제할 수 있었다. 높은 에너지로 가공 시 그 효과가 감소하는 현상이 나타났으며, 이를 개선하기 위해서 두껍고 안정된 질소층을 유지시켜주는 공정이 요구된다.

둘째, 낮은 에너지로 얇은 박판 가공시 버의 형성이 매우 적다는 것을 확인할 수 있었다. 이로서 두꺼운 시편이나 금속처럼 높은 에너지가 필요한 가공에서 레이저 파라미터 조절만으로 가공성 향상 및 버 억제에는 한계가 있다는 것을 알 수 있다.

셋째, 희생코팅층을 두고 가공함으로써 코팅층 제거 후 버의 억제 효과와 가공 상태가 매우 향상됨을 실험적으로 관찰할 수 있었다.

후기

본 연구는 산업자원부 지원사업인 “첨단레이저 응용 미세가공기술 개발” 과제의 지원으로 이루어졌으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

1. L. Tunna, A. Kearns, W. O'Neil, C.J. Sutcliffe, "Micromachining of copper using Nd:YAG laser radiation at 1064, 532, and 355 nm wavelengths", Optics & Laser Technology, Vol.33, pp. 135-143, 2001.
2. 김재구, 장원석, 신보성, 장정원, 황경현, "DPSS UV 레이저를 이용한 블라인드 비아 홀 가공", 레이저가공학회지, 제 6권, 제 1호, 2003.
3. 백병만, 김병용, 이건상, "세라믹(Al₂O₃)의 미세구멍 가공특성에 대한 연구", 학술발표대회, 제 2001호, 제 1호, 2001.
4. 정성호, J. H. Yoo, R. Greif, "고출력 레이저 어블레이션에 의한 실리콘 가공시 발생하는 상폭발 현상에 관한 연구", 한국레이저가공학회지, 제 3권, 제 3호, 2000.
5. 오부국, 김동식, "대기중 나노초 펄스레이저 어블레이션의 수치계산", 한국레이저가공학회지, 제 6권, 제 3호, 2003.
6. 신용진, 유영태, 박영식, 양경승, 김영섭, 박영신, "플라스틱 마킹을 위한 레이저 빔 (CO₂, Nd:YAG)의 대상물질과의 상호작용에 관한 연구", 학술발표대회, 제 2001호, 제 1호, 2001.