

레이저 미세 패턴 가공에 관한 실험적 연구

An experiment study on laser micro-patterning using laser ablation

부산대학교 ERC/NSDM 신보성

부산대학교 ERC/NSDM 대학원 오재용

I. 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 연구가 수행되고 있다 [1]-[4]

그리고 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 위층의 구리층부터 제거 후 차례로 폴리머층을 제거하고 마지막 구리층을 제거한다 [5] 이러한 공정에서 제일 고려해야 할 사항은 밀층의 소재에 영향을 주지 않으면서 위층만 가공되는 조건을 찾는 것이다 비록 이론적으로 근사적인 접근이 가능하지만 결국은 실험적으로 찾아야한다 한 번의 공정으로도 가능하지만 그것은 매우 제한적인 경우이며 더 많은 연구를 필요로 한다 [6]-[9]

본 논문에서는 레이저에 의한 PI 박판과 복층 박판(Cu-PI)의 미세 홀 가공 시 버의 상태를 실험적으로 관찰하고 분석하였다. 레이저 가공에서 가공 표면에 생성되는 버는 기계적 가공과는 달리 열적 반응에 의한 시편의 용융물이며 재응고물이다. 따라서 가공 시편의 두께나 에너지 플루언스에 따라 가공 상태의 차이가 발생한다 [10] 그러므로 우선 같은 조건에서 PI 및 다양한 복층 박판시편을 가공했을 경우 가공 상태 차이를 실험적으로 비교분석하였고, 복층 박판의 레이저 어블레이션에 대해 분석하였다. 가공 결과는 광학 현미경 및 SEM 촬영을 통해 관찰하였다

II. 실험방법

본 논문에서는 사용된 레이저 장비는 미국의 DPSS Lasers사의 DPSS UV Laser로 파장 355nm, 빔직경 ϕ 15mm, 펄스 반복률 30 303kHz, 펄스폭 20nsec, 평균 출력 3.0W 그리고 TEM₀₀ 모드로 가우시안(Gaussian) 분포의 에너지 강도를 가진다 시스템 구성은 Fig 1과 같다

발전기에서 나온 빔은 빔익스펜더(Beam-expander)로 들어가 2배 확대되어 직경 ϕ 3mm로 갈바노 스캐너(Galvano scanner)로 들어가게 되며 집광 렌즈(focusing lens)에 의해 직경 $20\mu\text{m}$ 로 가공 시편에 축소되어 가공된다.

실험에 사용된 시편은 Table 1에 나타내었으며 물성치는 Table 2와 같다 구리의 경우 가공 시 PI보다 높은 임계 에너지 강도를 필요로 하고, PI는 구리보다 열에 의한 변형이 많기 때문에 이러한 단점을 보완하기 위하여 Cu-PI 복층 박판이 사용된다 Cu층의 높이가 2, $4\mu\text{m}$ 인 낮은 박판은 PI층에 Cu를 증착하여 만들어진 것이며, 나머지는 Cu박판과 PI박판을 붙여 제작되어졌다 Cu층의 두께와 PI Cu($\frac{H}{Cu}$ Cu두께에 대한 PI 두께의 비)를 시편의 변수로 설정하여 각각의 가공 상태를 비교 분석하였다

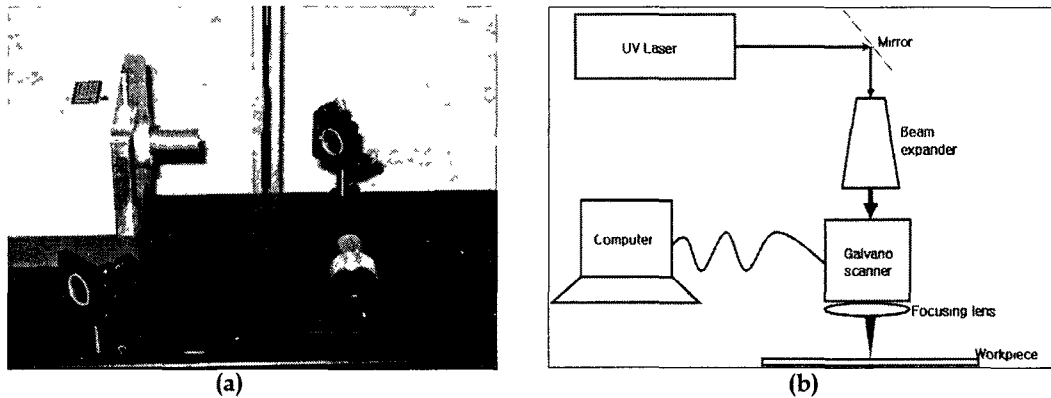


Fig. 1 UV Laser system (a)photo of laser optics, (b)schematic diagram

Table 1 Experimental sheets

	Thickness	Shape
PI	38 μm	
Cu-PI	Cu 2 μm	
	PI 25 μm	
Cu-PI	Cu 4 μm	
	PI 25 μm	
Cu-PI	Cu 12 μm	
	PI 20 μm	
Cu-PI	Cu 35 μm	
	PI 30 μm	

Table 2 Thermo-physical material properties[11]

	Cu	PI
Boiling Point	2567 $^{\circ}\text{C}$	-
Latent heat of evaporation	4796J/g	-
Melting Point	1083 $^{\circ}\text{C}$	-
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

어블레이션(ablation)을 분석하고 버의 변화를 일관성 있게 관찰하기 위하여 $0.35\text{MW}/\text{cm}^2$ 의 일정한 레이저 강도로 각 박판을 가공하였다 레이저 강도 $0.35\text{MW}/\text{cm}^2$ 는, 구리 박판 두께가 수십 마이크로미터 이내일 경우 일반적으로 직경이 약 $10\sim 30\mu\text{m}$ 인 홀을 가공할 수 있는 레이저 강도로서 실험적으로 구해진 값이다 가공 후 광학 현미경과 SEM 촬영을 통하여 가공 상태를 비교분석하였다

III. 결과 및 고찰

1. Cu 두께에 따른 가공 상태 변화

0.35MW/cm²의 일정한 레이저 강도로 각 박판을 가공하였을 때 가공 결과를 Fig 2에 나타내었다 정면과 측면 사진은 SEM 촬영을 한 것이며 뒷면 사진은 광학 현미경에 의해 촬영된 것이다 Fig 2 (Entrance)에서 보듯이 Cu층이 두꺼워질수록(Fig 2에서 아래로 갈수록) 홀의 직경이 작아지며 버가 커지는 것을 알 수 있다 그리고 상폭발 및 용융 흔적이 점점 커지며 가공 표면 주위에 많이 남게 된다 이는 복층 박판 가공시 생성되는 버의 크기는 제일 위 가공표면

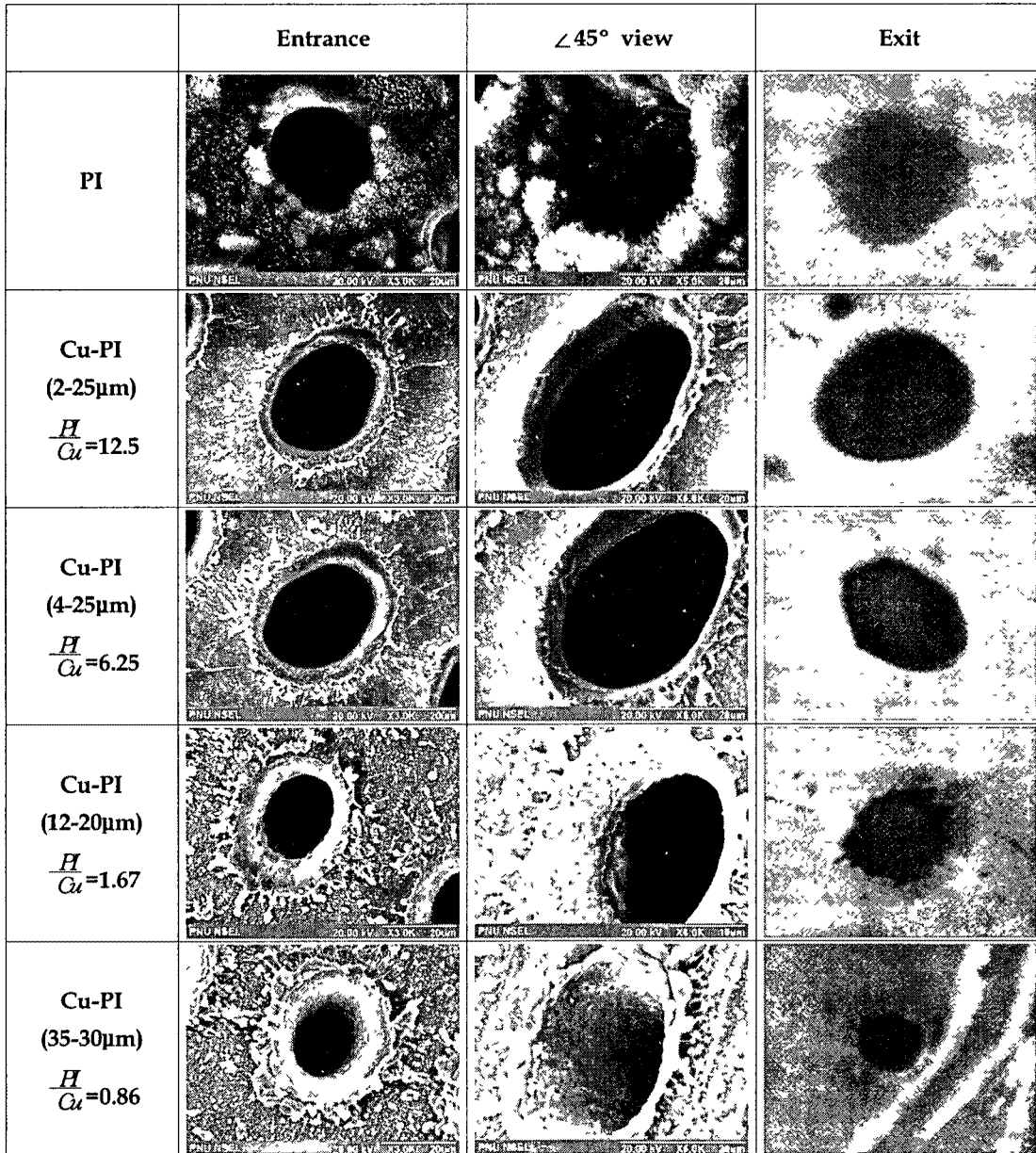


Fig. 2 Comparison micro-hole of various sheets with burr shapes by laser processing

층의 두께에 영향을 받는다는 것을 나타낸다 즉 Cu층의 두께가 두꺼울수록 레이저 어블레이션시 용융 및 기화되어 홀 내부에서 밖으로 나가는 Cu의 양이 많아져 홀 주위에 더 많이 적층되는 것이다

2. PI:Cu($\frac{H}{Cu}$)에 따른 가공 상태 변화

Fig. 3은 아래층의 PI가 레이저 어블레이션에 의해 용융·기화되어 홀 밖으로 방출되는 과정에서 위의 Cu층 내부 및 Cu층 레이저 어블레이션에 의해 생성된 버를 덮게 되는 현상을 개략적으로 나타낸 것이다 따라서 레이저 어블레이션에 의해 Cu층에서 제거되는 양과 PI층에서 제거되는 양은 홀의 벽면 및 버의 상태에 영향을 주는 중요한 변수가 된다. Fig 2 (Entrance), ($\angle 45^\circ$ view)에서 보듯이 홀 내부 벽면과 버의 상태가 각각 다르게 나타나는 것은 이러한 현상으로 설명된다. 레이저 어블레이션에 의해 Cu층에서 제거되는 양과 PI

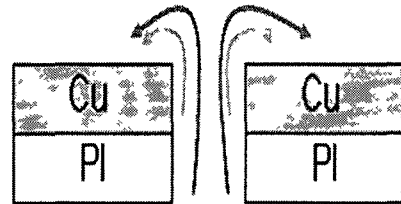


Fig. 3 Laser ablation of Cu-PI two-layered sheet

층에서 제거되는 양을 상대적으로 나타내는 $\frac{H}{Cu}$ 가 작아질수록(Fig 2에서 아래로 갈수록) 내부 표면에 잔물결 무늬가 많아지며 매끄럽지 못하다 즉 Cu가 두께가 상대적으로 얇을수록 홀 내부 벽면이 깨끗한 것은 용융점이 낮아 어블레이션 온도에서 유동성이 좋은 PI 용융물이 홀 전체를 충분히 덮을 수 있기 때문이다

IV. 결론

본 연구에서는 Cu-PI 복층 박막 가공성을 Cu의 두께 및 PI와 Cu의 상대적인 비율($\frac{H}{Cu}$)의 변화에 따라 관찰하였다

첫째, Cu층이 두꺼울수록 가공 표면 주위에 가공 흔적 및 버가 크게 나타났다 이는 Cu층의 두께가 버의 형상 및 크기에 지배적인 역할을 한다는 것이며 복층 박판의 레이저 가공시 윗층이 가공 상태에 미치는 영향을 나타낸다

둘째, $\frac{H}{Cu}$ 가 클수록 홀 내부표면이 깨끗하게 나타났으며 아래층 PI가 홀 내부 벽면 상태를 결정하는 중요한 변수임을 알 수 있었다. 즉 복층 박판의 레이저 가공시 밑층은 홀 내부의 표면 상태를 결정짓는 역할을 하게 된다

후기

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

V. 참고문헌

1. 홍남표 · 레이저를 이용한 박판 버의 기상 측정 및 최소화에 관한 연구, 강원대학교 기계, 메카트로닉스 공학과 박사 학위논문 (2004)
2. L. Tunna, et al Micromachining of copper using Nd YAG laser radiation at 1064, 532, and 355 nm wavelengths, Optics & Laser Technology, Vol.33, pp. 135-143 (2001)
3. 백병만, et al · 세라믹(Al₂O₃)의 미세구멍 가공특성에 대한 연구, 한국레이저가공학회 학술발표대회 (2001)
4. 정성호, et al · 고출력 레이저 어블레이션에 의한 실리콘 가공시 발생하는 상폭발 현상에 관한 연구, 한국레이저가공학회지, 제 3권, 제 3호 (2000)
5. 김재구, et al · DPSS UV 레이저를 이용한 다층기판의 블라인드 비아 가공, 한국레이저가공학회 학술발표대회 (2002)
6. 신용진, et al 플라스틱 마킹을 위한 레이저 빔 (CO₂, Nd·YAG)의 대상물질과의 상호 작용에 관한 연구, 학술발표대회, 제 2001호, 제. 1호 (2001)
7. A. Bertsch, et al Study of the spatial resolution of a new 3D microfabrication process: the microstereolithography using a dynamic mask-generator technique, Journal of Photochemistry and Photobiology A Chemistry 107, pp. 275-281 (1997)
8. Arnaud Bertsch, et al . Rapid prototyping of small size objects, Rapid Prototyping Journal, Vol. 6, No. 4, pp. 259-266 (2000)
9. 오부국, et al : 대기중 나노초 펄스레이저 어블레이션의 수치계산, 한국레이저가공학회지, 제 6권, 제 3호 (2003)
10. 윤경구, et al : 레이저 빔 응용 기술, 한국정밀공학회지, 제 17권 제 7호 (2000)
11. 김재구, et al DPSS UV 레이저를 이용한 블라인드 비아홀 가공, 한국레이저가공학회지, 제6권 제1호, pp 9-16 (2003)