

액체 보조 엑시머 레이저 미세가공 공정

Excimer laser micromachining process assisted by liquid

포항공과대학교 기계공학과, 장덕석*, 김동식

POSTECH Mechanical Engineering, Deoksuk Jang, Dongsik Kim

ABSTRACT

Previous studies demonstrated that laser ablation under transparent liquid can result in ablation enhancement and particle removal from the surface. In this work, the liquid-assisted excimer laser ablation process is examined for polyethylene terephthalate (PET), polymethyl methacrylate (PMMA), Si, and alumina with emphasis on ablation enhancement, surface topography, and debris formation. In the case of PET and PMMA, the effect of liquid is analyzed both for thin water film and bulk water. As the ablation enhancement by liquid is already known for Si and alumina, the analysis focuses on surface topography and debris formation resulting from the liquid-assisted laser ablation process. The results show that application of liquid increases the ablation rate of PMMA while that of PET remains unchanged even in the liquid-assisted process. It is also revealed that the liquid can significantly improve the surface quality by reducing the debris deposition. However, the surface roughness is generally deteriorated in the liquid-assisted process. The surface topography is found to be strongly dependent on the method of liquid application, i.e., thin film or bulk liquid.

1. 서론

펄스 레이저를 이용한 미세 가공 기술은 가공 단계가 기존의 MEMS 제조 기법에 비해서 매우 간단하며, 적용가능 분야가 매우 넓다. 그러나 레이저 어블레이션 시에 발생하는 debris 가 제품의 성능을 떨어뜨리고 세라믹과 실리콘과 같은 반도체 재료 가공 시, 가공 효율이 좋지 못해 그 응용에 한계가 있다. 액체 보조 레이저 가공 공정은 기존의 펄스 레이저를 통해서 이루지 못하는 부분을 극복하는데 있어서 매우 유용한 기법 중 하나이다. 펄스 레이저 빔을 액상에 조사하거나, 액상에 담가진 고체 재료에 조사할 때 발생하는 플라즈마와 충격파의 생성과 이에 의한 고체 재료의 어블레이션 증가 효과는 기존에 잘 알려진 사실이다.¹⁻⁶⁾ 레이저 빔의 조사 직전에 고체 표면에 액막을 형성하여 수백 나노미터 수준의 입자를 제거하는 액막 세정 공정은 액체를 레이저 빔 가공 공정에 적용한 또 다른 실례이다.⁷⁻⁹⁾ 따라서, 본 연구에서는 액체 보조 미세가공 공정에 관한 연구를 수행하였다. 특히, 폴리머(PET, PMMA), 반도체(Si) 및

세라믹(Al_2O_3) 재료의 미세가공 시 문제가 되는 debris 발생 억제 및 제거에 대해서 고찰하였고, 재료의 어블레이션 증가 및 가공 정밀도의 향상에 대하여 연구하였다.

2. 실험장치

Fig. 1 는 본 연구에 사용된 실험 장치의 개략도이다. 본 연구에서 사용된 레이저는 KrF 타입의 엑시머 레이저로 25 ns 의 펄스폭, 248 nm 의 파장과 640 mJ 의 최대 펄스 에너지를 가진다. 레이저의 플루언스는 1-10 J/cm^2 의 범위에서 조절하고 그 영향을 살펴보았다. 1 μm 수준으로 조절되는 정밀 스테이지를 이용하여 가공 재료의 위치를 조절하였다. 액체 보조 레이저 가공 공정은 재료의 표면에 얇은 액막을 공급하는 방법과 재료를 액체에 완전히 담그는 방법, 두 가지로 나누어 실험하였다. 60 $^{\circ}C$ 로 유지된 액체(증류수)에 의해서 만들어진 증기를 시편에 수십 ms 동안 분사하여 응축시키는 방법을 통하여 액막을 형성하고, 50 ms 이후 엑시머 레이저를 조사하여 미세가공을 이루었다. 본 연구에서 기존의 레이저 미세가공에 많이 응용되고 MEMS 디바이스 제작에도 많이 사용되는 폴리머로 PET, PMMA 를 선택하였고, 반도체 및 세라믹 재료의 가공 특성을 알아보기 위하여 Si 와 Al_2O_3 를 가공 재료로 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 액체 보조 폴리머 가공

Fig. 2 는 대기상태와 액막이 도포되었을 때의 PET 와 PMMA 의 엑시머 레이저에 의한 어블레이션 정도를 보여주고 있다. PET 의 경우, 액막 추가로 인한 어블레이션 정도의 변화는 나타나지 않았으나, PMMA 어블레이션 정도는 크게 증가함을 볼 수 있었다. PMMA 의 어블레이션 증가율은 낮은 레이저 플루언스에서 더욱 현저히 나타났다. 이러한 어블레이션 증가율의 차이는 두 폴리머의 어블레이션 메커니즘의 차이에 의한 것으로 설명될 수 있다. PET 와 같이 어블레이션이 광화학적(photochemical) 효과에 의해 발생할 때,¹⁰⁾ 액막의 첨가는 어블레이션 량의 변화에 큰 영향을 미치지 못한다. 반면, PMMA 와 같이 광열(photothermal) 효과가 어블레이션에 영향을 미치는 경우, 액막의 첨가는 어블레이션의 증가를 유발하게 된다. Fig. 3 은 두 가지 가공 공정 이후의 표면 형상이 나타나 있다. PET 의 경우, 레이저 가공 면의 형상이

액막의 도포로 인하여 거의 변화하지 않으나, PMMA 의 경우 가공 면의 형상이 좀더 거칠고, 가장자리의 가공정밀도가 일반 대기 상태에서 가공하였을 때에 비해서 좀더 떨어짐을 볼 수 있다. 그러나, Fig. 4 에서 보는 것과 같이 전체적인 가공면의 거칠기는 약간 거칠어 질 뿐, 가공면에 큰 변화에는 일어나지 않는다. 그러나 액체에 재료를 완전히 담근 상태에서 레이저 가공을 수행할 시의 PET, PMMA 의 경우 모두 가공 부위에 큰 변화를 보인다. PET 의 경우 가공 면에 미세 구조물이 형성되며(Fig. 5b), 이러한 미세 구조물은 크기는 레이저 펄스의 조사수가 증가할수록 점점 증가하였다. PMMA 의 경우(Fig.5d), 액체 속에서 가공할 경우 가공 정밀도가 현저히 저하됨을 볼 수 있다.

레이저 가공 시, 가공 주변부의 debris 의 발생은 최종적으로 만들어지는 미세 구조물의 전기적, 화학적 및 기계적 특성을 떨어뜨리는 주요한 요인중의 하나이다. 액막 첨가 레이저 가공은 이러한 debris 의 발생을 크게 억제함을 Fig. 6에서 볼 수 있다. PET 의 경우, Fig. 6(a), (b)에서 보는 것과 같이 액막을 첨가하여 레이저 가공을 수행할 시에 주변부의 debris(입자 및 탄소)의 확연한 감소를 확인할 수 있다.

3.2 Si 과 Al_2O_3 의 액체 첨가 레이저 가공

Si 과 알루미늄과 같은 높은 경도를 지니는 재료에 대한 액체 첨가시의 어블레이션 증가량은 기존의 연구에 잘 나타나 있다. 본 연구에서는 액체 첨가 시에 변화하는 가공 면의 특성을 살펴보았다. Si 가공의 경우, Fig. 6c 와 같이 대기상태에서 레이저 가공을 수행할 시에, 가공 주변부에 가공면으로부터 떨어져 나온 많은 입자들이 부착된다. 그러나, 액상에서 가공할 시 Fig. 6d 와 같이 주변부의 debris 의 확연한 감소를 볼 수 있다. 액상에서의 가공한 Si 과 알루미늄의 결과가 Fig. 7 에 나타나 있다. 대기 상태에서 레이저 가공을 수행할 경우, 가공 주변부의 높은 용기현상을 볼 수 있으며, 또한 가공 면이 매우 불규칙적이다. 그러나, 액상에서 두 재료를 가공할 때에는, Fig. 7(b),(d)에서와 같이 가공 면이 어느 정도 평탄해지며 용기 현상도 사라짐을 볼 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 PET, PMMA, Si 와 Al_2O_3 재료에 대하여 액체 보조 엑시머 레이저 미세가공 공정을 분석하였다. 폴리머의 액체 첨가 레이저 가공 시, PET 어블레이션 양의 변화는 없었으나, PMMA 의 어블레이션이 증가되었으며 증가 정도는 낮은 레이저 플루언스에서 더욱 크게 나타났다. 액막 도포 레이저 가공은 폴리머의 가공면의 특성은 크게 변화시키지 않았으나, 액체에 완전히 담근 상태에서의 가공은 재료의 가공 정밀도를 현저히 저하시키는 것으로 나타났다. 폴리머, Si, 알루미늄의 경우, 액상 또는 액막 도포 기법을 통해서 가공 주변부의 debris 를 크게 감소시킬 수 있다. 또한, Si 과 알루미늄의 경우, 액상에서 가공하면 대기상태에서 가공할 때에 비해 주변부의 용기현상을 감소시킬 수 있었으며 가공면을 보다 평판하게 할 수 있음을 보였다.

참고문헌

- [1] Devaux D., Fabbro R., Tollier L. and Bartnicki E., "Generation of Shock Waves by Laser-Induced Plasma in Confined Geometry" , J. Appl. Phys., Vol.74, pp.2268-2273, 1993.
- [2] Berthe L., Fabbro R., Peyre P., Tollier L. and Bartnicki E., "Shock Waves from a Water-Confined Laser-generated Plasma" , J. Appl. Phys., Vol.82, pp.2826-2832, 1997.
- [3] Kim D., Oh B. and Lee H., "Effect of Liquid Film on Near-Threshold Laser Ablation of a Solid Surface" , Appl. Surf. Sci., Vol.222, pp.138-147, 2004.
- [4] Kim D. and Lee H., "Enhanced Ablation and Photoacoustic Excitation in Near-Threshold Laser Ablation of Liquid-Coated Surface" , J. Appl. Phys., Vol.89, pp.5703-5706, 2001.
- [5] Zhu S., Lu Y.F., Hong M.H. and Chen X.Y., "Laser Ablation of Solid Substrates in Water and Ambient Air" , J. Appl. Phys., Vol.89, pp.2400-2403, 2001.
- [6] Geiger M., Becker W., Rebhan T., Hutfless J. and Lutz N. "Increase of Efficiency for the XeCl Excimer Laser Ablation of Ceramics" , Appl. Surf. Sci., Vol.96-98 pp.309-315, 1996.
- [7] Zapka W., Ziemlich W. and Tam A.C., "Efficient Pulsed Laser Removal of 0.2 μ m Sized Particles from a Solid Surface" , Appl. Phys. Lett., Vol.58 pp.2217-2219, 1991.
- [8] Kim D. and Lee J., "On the Physical Mechanisms of Liquid-Assisted Laser Cleaning" , J. Appl. Phys., Vol.93, pp.762-764, 2003.
- [9] She M., Kim D. and Grigoropoulos C.P., "Liquid-Assisted Pulsed Laser Cleaning Using Near-Infrared Acoustic-Transient Generation" , J. Appl. Phys., Vol.86 pp.6519-6524, 1999.
- [10] Shin D.S., Lee J.H., Suh J. and Kim T.H., "Determination of the Debris Produced from Poly(ethylene terephthalate) during KrF Excimer Laser Ablation" , Appl. Surf. Sci., Vol.252 pp.2319-2327, 2006.

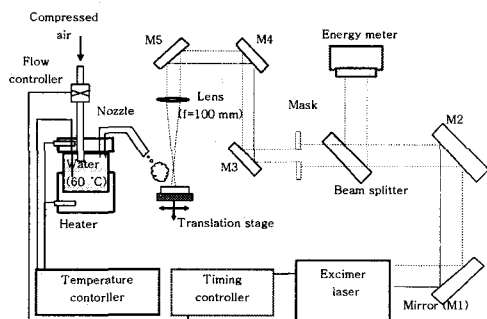


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental setup.

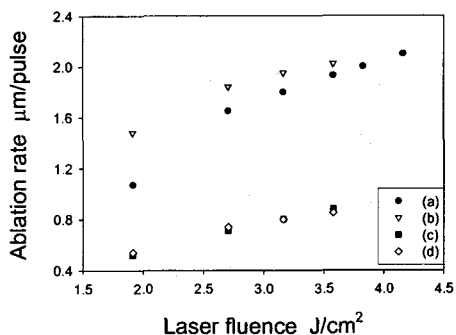


Fig. 2 Ablation rate vs. laser fluence: (a) dry and (b) liquid-film-assisted ablation of PMMA, and (c) dry and (d) liquid-assisted ablation of PET.

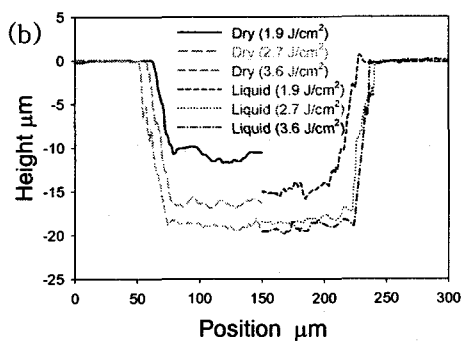
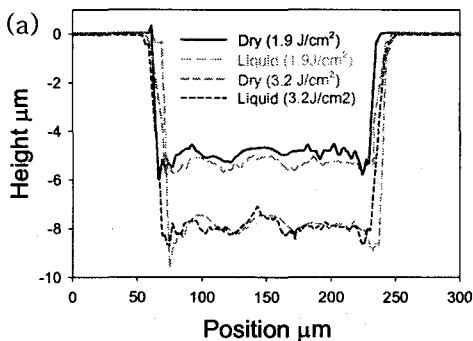


Fig. 3 Surface topography of (a) PET and (b) PMMA after 10 pulses laser ablation.

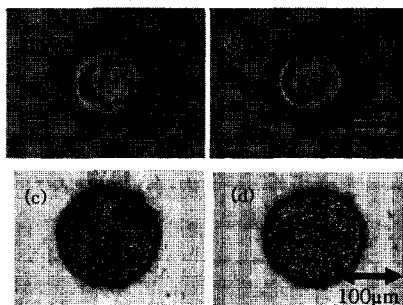


Fig. 4 Surface topography obtained (a) dry and (b) liquid-film-assisted processes of PET, (c) dry and (d) liquid-film-assisted processes of PMMA at $F=1.9 \text{ J/cm}^2$ with 10 pulses

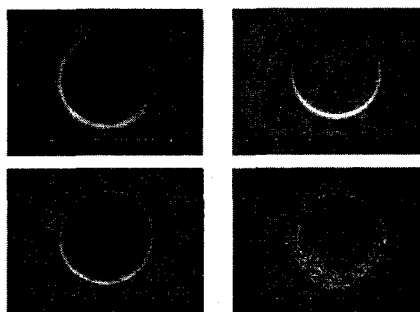


Fig. 5 Surface topography obtained (a) dry and (b) liquid-film-assisted processes with 10 pulses (c) dry and (d) liquid-film-assisted processes of PMMA at $F=1.9 \text{ J/cm}^2$ with 100 pulses.

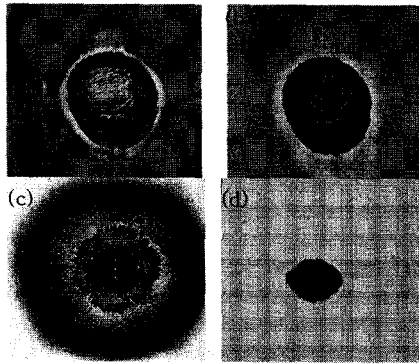


Fig.6 Optical microscope image of PET: (a) ablation in air and (b) ablation with liquid film at $F=2.3 \text{ J/cm}^2$ (50 pulses) and Si: (c) ablation in air and (d) ablation in water at $F=4.2 \text{ J/cm}^2$ (500 pulses).

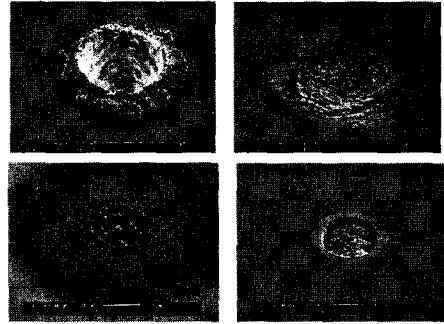


Fig. 7 SEM images of Al_2O_3 : (a) ablation in air and (b) ablation in water at $F=4.2 \text{ J/cm}^2$ (100 pulses) and Si: (c) ablation in air and (d) ablation in water at $F=4.2 \text{ J/cm}^2$ (500 pulses).