

UV 레이저 어블레이션과 상변화 충진을 이용한 3 차원 마이크로 부품의 쾌속 제작

신보성*, 김재구, 장원석, 황경현

Rapid Manufacturing of 3D Micro Products by UV Laser Ablation and Phase Change Filling

B.S. Shin*, J. G. Kim, W. S. Chang, K. H. Whang

ABSTRACT

UV laser micromachining are generally used to create microstructures for micro product through a sequence of lithography-based photopatterning steps. However, the micromachining process is not suitable for the rapid realization of complex microscale 3D product because it depends on worker experiences, excessive cost and time to make many masks. In this paper, the more effective micro rapid manufacturing process, which is developed upon the base of laser micromachining, is proposed to fabricate micro products directly using UV laser ablation and phase change filling. The filling process is useful to hold the micro product during the next ablation step. The proposed micro rapid manufacturing process is also proven experimentally that enables to fabricate the 3D microscale products of UV sensitive polymer from 3D CAD data to functional micro parts.

Key Words : Micro Rapid Manufacturing (쾌속 제작), 3D Micro Products (3 차원 마이크로 제품), UV Laser Ablation (자외선 레이저 어블레이션), Phase Change Filling (상변화 충진)

1. 서론

대표적인 마이크로 제작 공정에는 실리콘 기판 위에 구조물을 더해가는 부가식 공정(additive process), 실리콘 소재로부터 깎아나가는 제거식 공정(subtractive process) 그리고 이들 공정들이 조합된 하이브리드 공정(hybrid process)이 있다. 이들 각각의 대표적인 공정은 표면 마이크로머시닝(surface micromachining), 몸체 마이크로머시닝(bulk micromachining) 그리고 LIGA 공정이 해당된다. 이러한 모든 공정들은 리소그래픽 공정(lithographic process)을 기반으로 일련의

마스크(mask)를 반복적으로 사용하여 3 차원 미세 부품 혹은 구조물을 제작한다. 따라서 수많은 마스크를 만들기 위하여 과도한 제작시간과 비용이 요구된다. 특히 마스크의 제작비용은 일괄처리에 의해 최소화되기 때문에 대규모의 제조방식에는 잘 적용할 수 있다. 그러나 다수의 마이크로 부품은 대규모 제조가 필요로 하지 않는 소규모 생산에서는 절감된 비용으로 실용적인 제작 방식을 필요로 한다. 현실적으로 아직까지 많은 미세기계 부품의 응용을 위한 충분한 설계 및 모델링 방법이 부족하기 때문에 대부분의 미세부품의 재설계 및 설계변경은 불가피하다. 특히 마이크로시스템 개발에서 제작비용과 시간을

* 한국기계연구원

절약하기 위해, 패속제작을 위한 새로운 기술이 필요하다.^{1) 2)}

본 논문에서, UV 레이저 어블레이션(UV laser ablation)을 사용하여 3 차원 형상의 마이크로 부품의 한 면을 가공한 후 상변화(phase change) 충전(filling) 방식으로 가공 면을 고정한 후 다른 면을 연속적으로 가공한 다음, 충전재를 분리함으로써 완벽한 형상의 3 차원 미세부품을 마스크 없이(maskless) 패속 제작하는 공정 및 응용 예를 소개한다. 가공소재는 UV 레이저 파장에 민감한 폴리머를, 충전재로써는 저융점의 왁스(wax) 소재를 선택하여 사용하였다. 또한 최적의 가공 조건을 얻기 위하여 레이저 파워(laser power), 가공 속도(machining speed), 재료의 특성(material property)과 같은 변수들을 실험적으로 선정하였다. 본 논문에서 제안한 공정은 3 차원 형상의 마이크로 부품을 설계 단계에서 빠르게, 저가격으로 그리고 다양한 재질의 부품을 직접적으로 제작하는 데 매우 유용하다.

2. 실험 장비

본 논문에서 사용된 레이저는 Q-switched Nd:YVO₄ 고체 상태 레이저(제조회사: Coherent Co.)이다. 고체 상태 레이저는 유독한 가스가 발생하지 않기 때문에 작업자가 사용시 안전하다. 또한 적은 비용으로 규모도 작게 구축 할 수 있다. Fig. 1 은 빔 확대기 (beam expander), 반사경 (mirrors), 제어 시스템 (control system), X-Y 스테이지 (stage), 측정장비 (measurement equipment), PC 및 레이저 광원 (laser source)과 같이 많은 광학 구성요소로 이루어진 레이저 가공 시스템의 사진이다. 레이저 파장은 1,064nm 의 적외선 영역 부근에서 시준된 가간섭성의 빔을 방출하고, 펄스 또는 연속적으로 작동될 수 있다. KH₂PO₄(KDP), KD₂PO₄(KD*P)와 같은 비선형 광학 크리스탈을 사용함으로써, 레이저의 기본 고조파(harmonic, λ₁=1,064nm)는 두 번째 고조파(λ₂=532nm)와 세 번째 고조파(λ₃=355nm)로 전환될 수 있다.³⁾ 적외선부터 가시광선, 자외선까지 스펙트라 (spectra)의 파장을 가진 레이저 빔은 갖가지 재료를 가공하기에 적합하다.

본 논문에서 세 번째 고조파의 파장이 레이저 패속 제작 공정을 위해 사용되었다. 레이저 시스템과 광학 시스템 (optical system)의 개구수 (NA,

numerical aperture)의 파장을 사용함으로써 결정된 최소 직경 (spot) 직경 때문에 좀더 작은 빔 스폿 직경이 본 논문의 실험에 사용되었다.

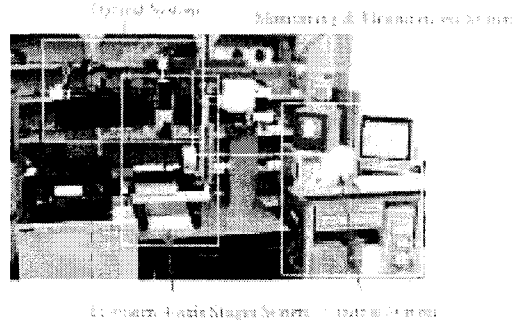


Fig. 1 Laser system with precision alignment unit

3. 마이크로 패속제작 공정

본 논문에서 제안한 마이크로 패속제작공정은 레이저 어블레이션과 저융점 충전소재를 이용한 고정 방법을 결합한 새로운 패속제작 공정이다. 따라서 기존의 마이크로 SLA 공정의 단점인 레이어 간의 단층문제 및 사용재질의 한계를 극복함은 물론 다양한 기능성 폴리머를 직접적으로 다양하게 제작 가능한 장점이 있다. Fig. 2 에서는 본 논문에서 제안한 마이크로 패속제작 공정의 절차를 보여준다.⁴⁾ 그림에서 보는 바와 같이 본 공정은 UV 레이저로 한면을 어블레이션으로 제거한 다음, 그 부분을 왁스와 같은 저융점의 충전재로 공작물을 고정한 채로 다음면을 레이저로 깎아내고 최종적으로 충전재를 녹여냄으로써 최종적으로 3 차원 마이크로 제품만을 제작하는 절차로 이루어져 있다.

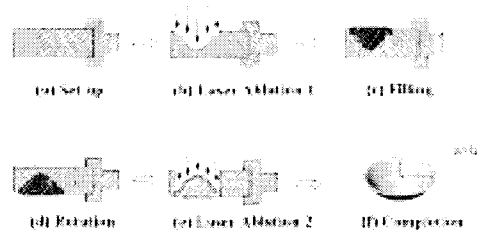


Fig. 2 Laser micro rapid manufacturing process

3.1 레이저 어블레이션

레이저 마이크로머시닝은 가공영역에서 충분

한 레이저 파장의 흡수를 필요로 한다. 즉 흡수율은 파장함수에 따른 재료의 특성이다.⁵⁾ 현재 적외선에서 자외선까지, 다른 파장의 레이저는 갖가지 다양한 재료의 미세가공에 사용되고 있으며, 가공 목적에 따라, 대상재료에 대한 최적의 레이저 파장을 선택하는 것이 가장 중요하다.⁶⁾ 본 실험에서는 355nm 레이저 파장에서 가공특성이 가장 우수한 PC(polycarbonate) 폴리머 재료를 실험재료로 선택하였다. 폴리머 재료에 레이저와 같이 높은 에너지의 빔을 조사할 때, 재료는 국부적으로 급격히 녹고 부분적으로는 기화된다. 또한 재료 표면에 파편을 남기거나 공기 중에 휘발성으로 머무른다. 이것은 높은 강도에서 레이저 어블레이션의 메커니즘(mechanism)이다. 많은 형태의 재료에는 레이저 어블레이션 조건 하에서 레이저 손상 역치(damage threshold) 대 레이저 펄스 폭 사이에 전환점이 있는 것으로 잘 알려져 있다. Fig. 3 에서는 UV 레이저 어블레이션 깊이와 레이저 펄스 수에 따라 선형적으로 제어되는 실험결과를 보여준다.

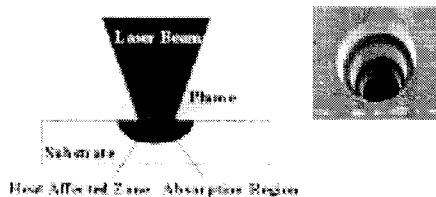


Fig. 3 Experimental results of UV laser ablation

3.2 상변화 충전공정

UV 레이저 어블레이션에 의한 마이크로머시닝 기반의 마이크로 3 차원 형상의 폐속제작공정에 있어서 마이크로 제품의 셋업은 매우 어렵고 시간이 많이 소요되기 때문에 공작물 고정의 자동화 내지는 획기적인 시간 단축방법이 절실히 요구된다. 일반적으로 가공물의 셋업 공정의 일반적인 연구는 크게 3 가지로 분류된다. 첫째 셋업 테이블 자체의 보조 돌기를 사용하는 방법과 둘째 셋업 유동체를 이용하는 방법 그리고 세 번째의 방법으로 상변화(phase change)를 이용한 가공물 셋업 방식이 있다.⁷⁾ 특히 본 논문에서는 상변화 충진을 응용하여 마이크로 크기의 공작물을 고정하는 방법(workholding)으로 저융점의 충전물질을 녹여서 마

이크로 가공물(micro workpiece)을 감싸서 고정하는 방법을 제안하였다. 실제로 다음 가공 단계의 레이저 가공작업 동안은 저융점 충전물은 고형화(solidification)가 되어 마이크로 가공물을 충분히 고정시킬 수 있는 좋은 대안임을 알 수 있다. 왜냐하면 제안된 왁스(wax) 충전제는 빠른 시간에 고형화가 가능하고 가공소재와의 결합력이 강력할 뿐만 아니라 용융온도가 65 °C 로서, 가공물인 PC의 용융온도인 220 °C 와 연화온도 160 °C 에 비해 열적 변형을 미치지 않기 때문이다.

4. 실험 및 응용사례

마이크로 3 차원 형상을 제작하기 위한 UV 레이저 어블레이션의 실험은 가공 속도, 레이저출력에 따른 최적의 가공조건을 선정하는 것이 무엇보다 가장 중요하다. 본 실험에서는 가공속도는 50mm/sec, 가공선평은 15 μ m 이고 간격간의 중첩은 각각 50 %를 선정하였다. 기초 실험 결과를 바탕으로 3 차원 형상의 마이크로 팬(fan)을 제작한 결과가 Fig. 4 와 같다. 보다 직경이 작은 마이크로 팬 형상도 제작이 가능하지만 이를 위해서는 가공 재질 자체의 성분이 재설계 제작되어야 하는 어려움이 있었다. 본 논문에서는 직경이 1.0mm 의 마이크로 팬만을 대상으로 완벽한 3 차원 형상을 구현하였다. 특히 앞뒷면의 가공 정렬을 위해서는 광학 현미경에 의한 정렬장치가 별도로 제작되어 본 실험에 사용되었다. 총가공시간은 7 시간이 소요되었으며 마지막 단계에서 왁스 충전물질을 분리하기 위해서는 85 °C 가량의 뜨거운 물속에 담구 어두어 쉽게 최종 제품을 분리시켰다.

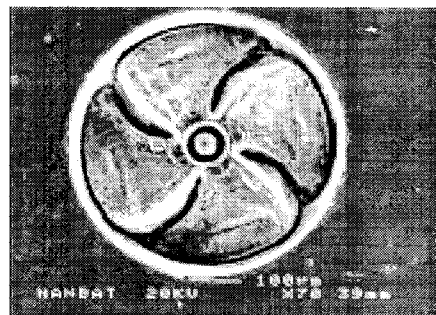


Fig. 4 3D micro-scale fan product after first-face micromachining

Fig. 5 는 본 논문에서 제안한 레이저 마이크로 패속 공정으로 제작한 최종 제품이다. 그림에서 보는 바와 같이 이러한 제작공정은 자유곡면을 갖는 마이크로 3 차원 형상의 제품을 폴리머 재료를 사용하여 쉽고 빠르게 제작할 수 있음을 보여준다.

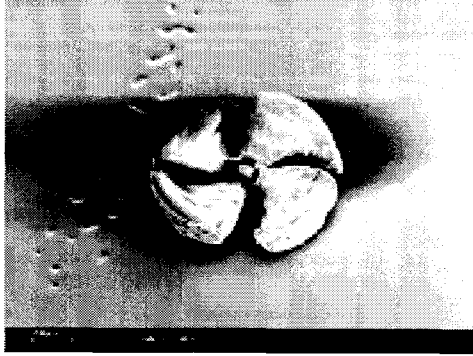


Fig. 6 3D micro-scale fan product

6. 결론

이상의 실험과 응용사례를 통하여 다음과 같이 요약하였다.

첫째, 새로운 마이크로 패속제작공정으로 레이저 어블레이션과 저융점 충전공정을 결합한 공정을 제안하였다. 레이저 어블레이션에 의한 마이크로 패속제작 공정은 기능성 재질의 3 차원 마이크로 부품의 소규모 생산에 매우 유용한 방법이였으며 저융점 왁스재질을 사용한 충전공정은 마이크로 부품제작에 있어서 공작물 고정 방법으로 충분한 결합력과 열변형이 없음을 확인하였다.

둘째, 본 공정을 활용하여 기능성 폴리머를 사용하여 직접적으로 자유곡면을 갖는 팬 형상의 마이크로급의 3 차원 임의 형상을 빠른 시간 내에 제작할 수 있었다.

마지막으로, 폴리머재질의 UV 레이저 어블레이션에서 다중경로의 중첩에 의해 임의의 가공면이 제작되기 때문에 보다 가공면의 품질을 향상하기 위해서는, 레이저 마이크로 패속제작만을 위한 전용 레이저 마이크로 가공 CAM 및 post CAM 프로그램의 개발이 요구되며, 향후 본 공정의 자동화와 최적가공조건을 확립을 위한 추가 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 과학기술부의 지능형 마이크로 시스템사업(IMS : Intelligent Micro-System)의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

1. S.Dauer, A.Ehlert, S.Buttgenbach, "Rapid prototyping of micromechanical devices using a Q-switched Nd:YAG laser with optional frequency doubling", Sensors and Actuator 76, pp. 381-385, 1999.
2. M.Mullenborn, H.Dirac, J.Petersen, S.Bouwstra, "Fast three-dimensional laser micromachining of silicon for Microsystems", Sensors and Actuators A 52, pp. 121-125, 1996.
3. Liming He, Yoshiharu Namba, Yuji Narita, "Wavelength optimization for machining metals with the harmonic generation of a short pulsed Nd:YAG laser", Precision Eng. J. Intl. Soc. For Precision Eng. And Nano technology 24, pp. 245-250, 2000.
4. 신보성의 "자외선 레이저빔을 이용한 3 차원 형상을 갖는 물품의 제조방법 및 제조장치", 등록번호 제 0364195
5. W.Koehner, Solid-State Laser Engineering, Springer, Berlin, 1996 "Wavelength optimization for machining metals with the harmonic generation of a short pulsed Nd:YAG laser", Precision Eng. J. Intl.Soc.for Precision Eng. And Nanotechnology 24, pp. 245, 2000.
6. G.Chryssolouris, Laser Machining, Springer, Berlin, 1991. Fujita H. "Recent progress in micromachining and applications to microactuators", Japan J Appl Phys 33(12B): pp. 7163-66, 1994.
7. M.V. Gandhi, B.S. Thompson, and D.J. Mass, "Adaptable Fixture Design:An Analytical and Experimental Study of Fluidized Bed Fixruring," ASME Journal of Mechanisms, Transmissions and Automation in Design(v108, 1986), pp155-121