

폴리머와 UV 레이저의 열적, 광화학적 반응특성을 고려한 직접식 마이크로 3차원 광가공기술

Maskless 3D photomachining considering polymer thermal and photochemical interaction with UV laser

장원석, 신보성, 김재구, 황경현
한국기계연구원 나노공정그룹
paul@kimm.re.kr

1. 서론

최근 정보, 전자, 광, 반도체 등 각종 첨단산업에서는 다양한 형태와 재료의 가공방법이 요구되고 있으며 요구되는 부품의 정밀도도 마이크로 단위에서 서브 마이크로 단위까지의 고도의 정밀도를 요하는 기술들이 점차 늘어가고 있다. 또 더욱 더 소형화 되어가고 있는 마이크로 부품은 기존의 2차원 및 준 3차원에서 완전한 3차원 형태의 기술로 발달하고 있으며 현재 연구가 활발히 진행되고 있는 MEMS 분야에서 구동부 부품이라든가 또는 그를 지지하는 구조체로 쓰일 수 있어 그 활용 가치는 응용에 따라 폭이 넓다고 할 수 있다. 본 연구에서는 최근 안정성과 고효율성으로 인하여 미세 가공에 있어 응용이 활발히 이루어지고 지고 있는 DPSS(Diode Pumped Solid State) 3고주파 Nd:YOV₄ 레이저(355nm)를 이용하여 기존의 엑시머 레이저(248nm)를 이용한 가공방법에서 사용되던 마스크를 사용하지 않고 가공하는 직접식 폴리머 어블레이션을 기본 제거 메커니즘으로 하는 미세 3차원 형상 가공기술을 개발하였으며 이를 위하여 폴리머와 UV 레이저의 열적, 광화학적 반응특성을 선행연구자들의 연구결과를 바탕으로 고려하였다.

2. 실험결과 및 고찰

본 실험에서 사용한 레이저는 Coherent사의 1.5W 3고주파 Nd:YOV₄ 레이저로 파장은 355nm를 가지며 Q-switch되어 펄스폭은 40nm, 2kHz의 펄스반복률을 갖는다. 미세 가공을 위하여 0.1μm의 위치정밀도를 갖는 Aerotec사의 3축 스테이지를 장착하였으며 레이저 펄스의 초기에 강한 파워집중에 의한 가공깊이 불균열을 막기 위하여 빔의 on/off는 외부에 서터를 설치하여 가공 프로그램에서 제어하도록 하였다. 실험에 사용된 시스템의 사진을 Fig.1에 도시하였다.

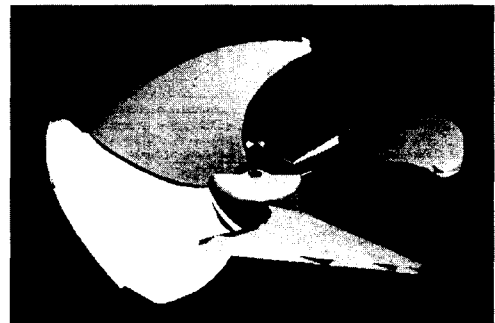
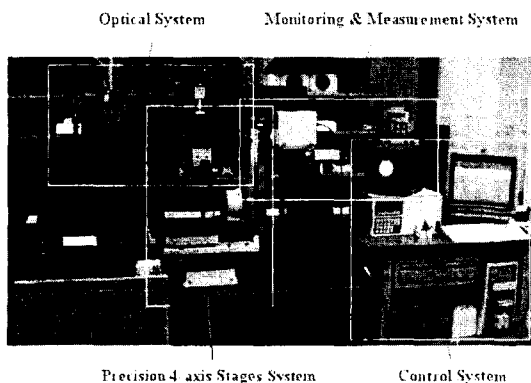


Fig. 1 Experimental setup for maskless photomachining Fig. 2 CAD modelling for 3D machining

폴리머의 가공시 입사되는 레이저 빔의 파워에 의하여 가공 깊이가 변화가 일정한 관계를 가지고 변화된다. 이러한 특성을 이용하여 기존의 기계가공에서 이용되는 layer-by-layer의 방법을 이용하여 3차원

형상가공에 응용하였다. 가공하고자 하는 형상을 3차원 CAD 데이터로 작성한 후 이것을 레이저 어블레이션에 의한 가공 깊이만큼 형상을 층층이 나누어 레이저 빔의 경로와 on/off data를 포함한 CAM 데이터를 작성한다. 작가공 대상으로 선정된 3차원 팬의 형상을 Fig.2에 도시하였다.

본 연구에서 사용한 355nm파장의 레이저에 대한 재료의 가공특성 분석과 함께 가공을 위한 최적의 조건을 선정하기 위하여 기초실험을 수행과 기존의 연구자들⁽¹⁾에 의해 조사된 폴리머의 특성을 조사하였다. 수십 나노초의 펄스폭을 갖는 레이저가 조사되었을 때 폴리머와 레이저의 작용은 광화학 반응과 함께 열적 반응이 일어나며 낮은 에너지 밀도에서는 광화학반응이 가공깊이에 많은 영향을 미치며 높은 에너지 분포에서는 광열반응이 주요 요소가 된다. 특히 폴리머의 가공깊이에 영향을 미치는 물리적 특성은 흡수계수(absorption coefficient)로 각각의 폴리머는 레이저 파장의 함수를 갖는 고유의 물성치를 갖는다. 선행연구 결과⁽²⁾에 의하면 PI는 UV 전 영역에서 큰 흡수계수를 가지므로 가공에 있어 좋은 특성을 보이나 PMMA는 파장이 길어질수록 투과특성을 보여 355nm의 파장대에서는 레이저가 거의 흡수되지 않아 가공이 어려워 높은 파워를 요구하며 열적 현상이 재료에 영향을 미쳐 좋은 가공 품질을 얻을 수 없음을 알 수 있다. 폴리머를 다중 스캔하여 가공하는데 있어 또 하나의 중요한 문제는 어블레이션할 때 발생하는 부산물들에 의한 가공 표면의 오염문제이다. 이는 폴리머의 일반적인 결합인 탄소 결합이 레이저 빔에 의한 화학적, 열적반응으로 결합이 끊어지면서 이에 따라 발생하는 부산물들이 표면에서 충격과 함께 폭발적으로 튀어나오고 레이저와 다시 반응하면서 많은 양의 탄소 클러스터가 발생하여 표면에 다시 증착하는 것으로 보여 지고 있다. 탄소증착의 정도는 각각의 폴리머가 가지고 있는 고유한 화학결합에 의하여 많은 영향을 받는다. 일반적으로 많이 사용되는 폴리카보네이트와 폴리에틸렌이피의 화학식에서도 볼 수 있듯이 벤젠 고리를 기본 분자로 가지고 있으며 각각의 방향족 분자들 사이에 탄소 결합이 들어가 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 분자 구조로 볼 때 레이저 어블레이션시 발생하는 부산물의 많은 부분이 탄소화합물일 것을 알 수 있으며 또한 완전히 분해 되지 못한 벤젠계열의 분자들도 방출되면서 레이저에 의한 반응으로 탄소와 함께 재료 표면을 오염시키는 것으로 생각할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 헬륨을 주위가스로 공급하고 표면에서 튀어 오르는 부산물을 강한 압축공기로 제거하는 방법을 사용하였다. 또한 가공부 주위의 남아있는 오염물질은 초음파 세척의 후공정을 통하여 제거하였다. 이러한 방법을 통하여 얻어진 실험결과를 Fig.3에 나타내었다.

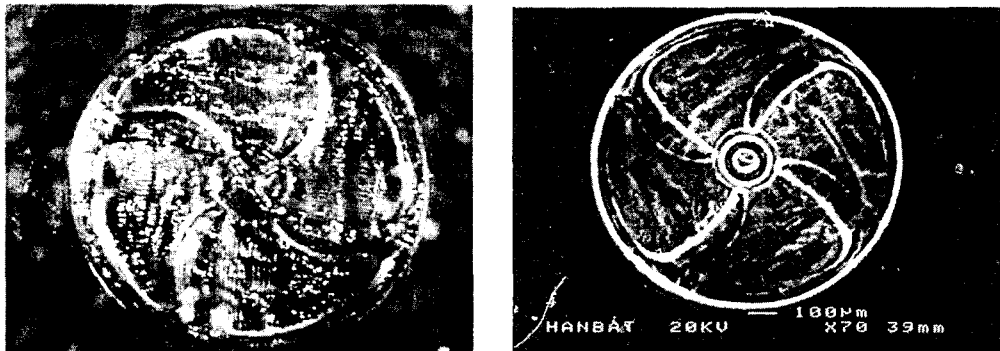


Fig.3 Experimental results for 3D fan component using polycarbonate

참고문헌

- 1 V. Srinivasan, M. A. Smrtic and S. V. Babu, "Excimer laser etching of polymers, J. Appl. Phys., 59, 3861-3867 (1986).
- 2 E. Sutcliffe and R. Srinivasan, "Dynamic of UV laser ablation of organic polymer surfaces", J. Appl. Phys., 60, 3315-3322, (1986).

후 기

본 연구는 과학기술부 21세기 프론티어 연구개발사업인 지능형마이크로시스템사업의 연구비 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.