

t-Butyl alcohol 승화를 이용한 stiction 개선

Improvement of Stiction Problem Using t-Butyl alcohol Sublimation

*김성현¹, 박인백¹, 김재현¹, #이석희², 김호찬³

*S. H. Kim¹, I. B. Park¹, J. H. kim¹, #S. H. Lee²(sehlee@pusan.ac.kr), H. C. Kim³

¹부산대학교 대학원 기계공학부, ²부산대학교 기계공학부, ³안동대학교 기계공학부

Key words : stiction, t-butyl alcohol, sublimation

1. 서론

Micro 구조물에서는 Macro 구조물에서는 접할 수 없는 많은 현상들이 일어난다. 그 중 하나가 stiction이다. stiction이란 미세 구조물 사이에 들어가 있던 액체에 의해 모세관 힘이 작용하여 구조물이 서로 붙게 되는 현상을 말한다. 이 때 구조물의 탄성력이 구조물 접촉면의 계면 인력보다 작으면 원래의 모양으로 돌아가지 못한다. stiction은 구조물 사이의 간격이 좁을수록, 세장비가 큰 미세구조물일수록 많이 나타나게 된다.

Microstereolithography(μ SL)로 만들어진 구조물은 그 크기가 미세할 뿐 아니라 구조물 표면에 묻어 있는 광경화성 수지의 제거를 위해 세척액을 사용하기 때문에 stiction 현상이 더욱 빈번할 수 밖에 없다. 이러한 stiction 문제의 개선을 위해 supercritical drying, sublimation drying 및 여러 가지 액체에 대한 evaporation drying 방법 등이 연구되었다 [1].

2. Stiction

미세 구조물의 경우 그 크기가 작아질수록 구조물 체적에 작용하는 힘보다는 표면에 작용하는 힘이 더 큰 영향을 미치게 된다. μ SL로 제작된 구조물의 표면에 작용하는 힘은 주로 세척액의 모세관 현상에 의한 힘과 폴리머 구조물 사이의 표면 에너지에 의한 접합력이다.

Fig. 1 은 정상적으로 제작된 구조물의 세척 전 모습과 IPA

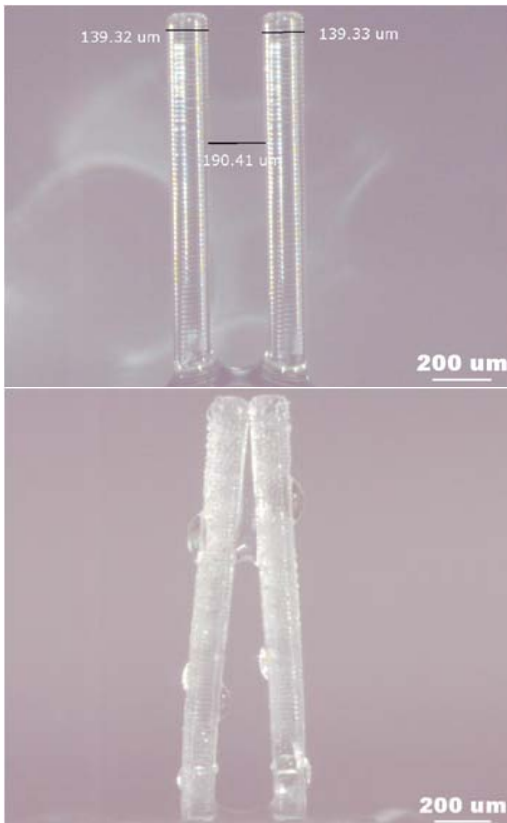


Fig. 1 Structures before and after rinsing

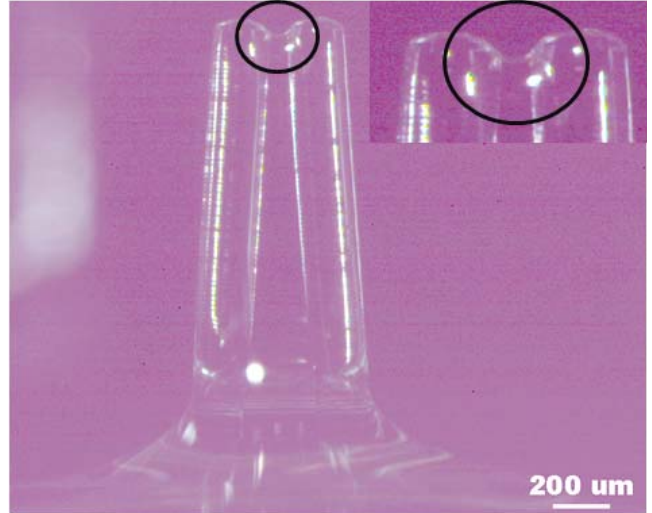


Fig. 2 Bent structure by capillary force

(Isopropyl alcohol)로 세척한 후 stiction이 발생한 구조물의 모습을 보여주고 있다. 두 기둥 사이에 들어있던 IPA가 기화되는 중에 기둥의 두 끝이 접합되었고 접합면 아래로 아직 기화되지 않고 남아있는 IPA를 볼 수 있다. 최초 접합이 일어나지 않은 구조물 사이에 세척액이 들어간 후 기화되는 동안 발생하는 모세관력에 의해 접합이 일어나게 된다. 접합이 일어난 후에는 구조물 사이의 접합면에서 계면에너지에 의한 접합력이 작용하게 된다.

세척액이 모두 기화되면 구조물 접합면의 표면 에너지와 탄성 에너지는 평형을 이루고 더 이상의 변형이 일어나지 않는다. 이 평형상태를 이용하여 구조물의 계면 에너지를 구할 수 있고 나아가 두께와 폭에 따라 stiction이 발생할 수 있는 구조물의 높이를 구할 수 있다 [2-3]. 접합이 일어날 수 있는 구조물의 길이는 구조물 사이의 간격과 구조물의 두께가 커질수록 길어진다.

이론적으로 구해진 접합 길이에 근사한 두 개의 마이크로 기둥 구조물을 제작하였다. Fig. 2 는 두 마이크로 기둥 사이에 들어간 세척액의 모세관력에 의해 구조물이 휘어지는 것을 보여주고 있다.

3. t-Butyl alcohol 승화

앞서 살펴본 바와 같이 미세 구조물 사이에 있는 액체의 모세관 현상에 의해 구조물 형상의 변형이 시작되므로 이를 없애게 되면 자연스럽게 stiction 문제를 해결할 수 있다. 구조물 사이에서 일어나는 모세관 현상을 없애기 위한 방법이 승화이며 t-Butyl alcohol은 어는점이 26°C이기 때문에 약간의 온도변화만으로도 액체 혹은 고체로의 상변화가 용이하다. t-Butyl alcohol의 상변화를 더욱 쉽게 제어하기 위해 펠티어 소자를 이용한 승화 장치가 고안되었다 [4]. 하지만 본 연구에서는 따로 승화 장치를 만들지 않고 진공 챔버만 이용하여 실험이 진행되었다.

t-Butyl alcohol 승화 방법은 다음과 같이 진행된다. 유리판 위에 μ SL로 구조물 제작이 완료되면 광경화성 수지가 담긴

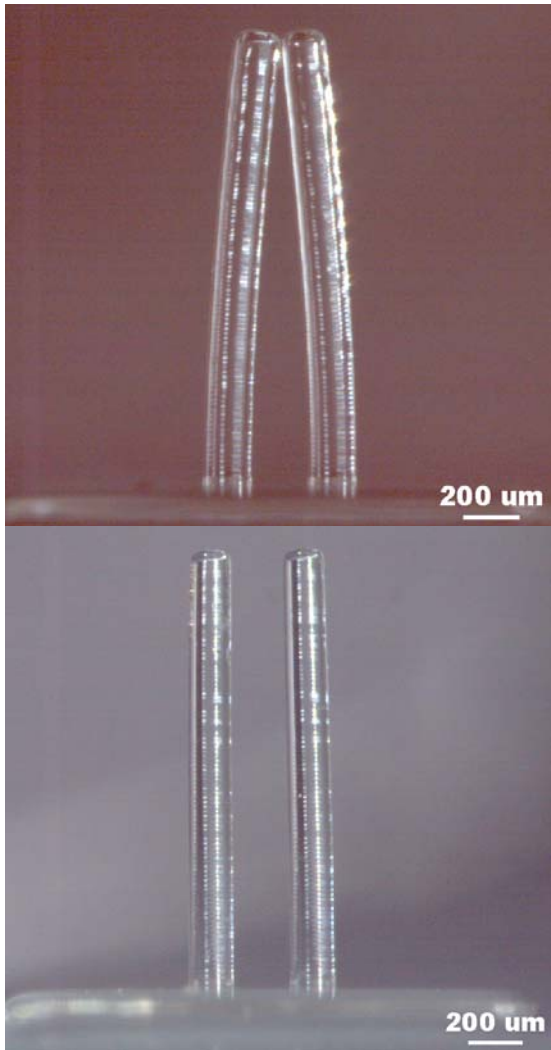


Fig. 3 Evaporation and sublimation

통에 유리관이 들어갈 만한 작은 용기를 담근다. 이 작은 용기를 수지로 채우고 나면 구조물이 제작된 유리관을 옮겨 담고 용기를 수지가 담긴 통에서 꺼낸다. 꺼내어진 용기 전체를 IPA 속에 넣고 3분여 간 세척을 한다. 다시 용기를 IPA에서 꺼낸다. 이 용기 속에는 제작된 구조물과 함께 IPA가 담겨 있어야 한다. 이제 IPA로 차있는 용기에 t-Butyl alcohol을 부어 치환한다. t-Butyl alcohol과 구조물이 담겨져 있는 용기를 0°C에 보관한다. t-Butyl alcohol이 모두 응고되면 이 용기를 진공 챔버에 넣고 t-Butyl alcohol이 모두 승화될 때까지 진공을 가한다.

Fig. 3에서 보여지는 구조물은 높이 1573 μ m, 변의 길이가 163 μ m인 정사각형 단면을 갖는다. 두 기둥 사이의 거리는 209 μ m이다. Fig. 3의 위쪽 그림은 일반적으로 세척액을 기화시켰을 경우이고 아래쪽 그림은 t-Butyl alcohol로 치환시킨 뒤 승화시킨 경우이다. 세척액을 기화시켰을 때는 stiction이 발생했지만 승화법을 사용한 경우는 구조물 변형이 생기지 않은 것이 확인됐다.

승화법을 사용할 때 가장 중요한 점은 구조물이 공기 중에 노출되지 않고 항상 액체 속에 담겨 있어야 한다는 것이다. 잠깐이라도 공기 중에 노출 될 경우 미세 구조물에서 stiction이 바로 발생할 수 있기 때문이다. 이 외에도 세척액이 t-Butyl alcohol로 완전히 치환되지 않을 경우 Fig. 4와 같은 문제점이 발생할 수 있다. 세척액이 t-Butyl alcohol로 완전히 대체되지 않았기에 승화가 제대로 되지 않아 구조물 끝단에서 stiction이 발생된 것을 볼 수 있다. 또한 세척액 속에 남아 있던 광경화성

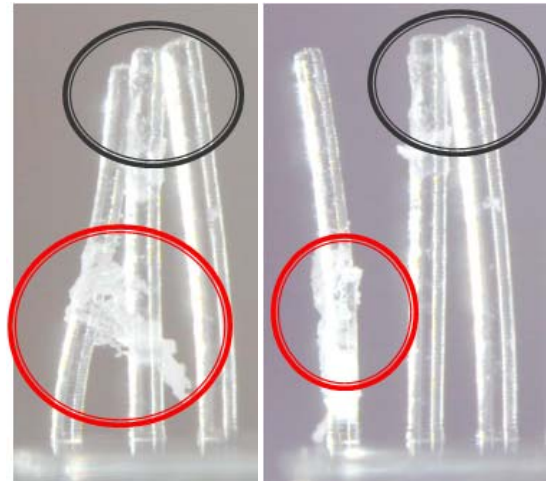


Fig. 4 Problems of bad sublimation

수지는 t-Butyl alcohol이 모두 승화된 뒤에도 얇은 막과 같은 형태로 남아 있게 된다. 이 얇은 막에 의해 stiction과는 또 다른 구조물의 변형이 일어나게 된다. 또한 막 자체가 원치 않는 이물로 남아 있게 된다. 특히나 이 막을 없애기 위해 IPA 혹은 아세톤으로 세척을 하여도 씻겨 나가지 않는 것을 볼 수 있었다.

4. 결론

마이크로 구조물은 매크로 스케일의 구조물과 달리 표면 에너지에 의한 영향을 많이 받는다. 이 때문에 대표적으로 발생하는 문제가 stiction 현상이며 특히 μ SL로 만들어진 구조물은 그 재료가 폴리머이고 IPA, 아세톤 등에 의한 세척이 필수적이기 때문에 더욱 stiction에 취약하다.

Stiction은 세척액의 모세관 힘에 의한 인근 구조물들의 변형과 함께 시작된다. 세척시 이러한 모세관 현상을 없애기 위해 세척액을 t-Butyl alcohol로 치환하여 응고시킨 뒤 승화시키는 방법을 사용하였다. 그 결과 stiction 없이 구조물의 세척을 마무리 지을 수 있었다. 진공 펌프와 진공 챔버만 있다면 t-Butyl alcohol을 이용한 승화법을 사용할 수 있다. 이러한 승화법은 높은 압력과 온도가 요구되는 supercritical drying보다 더 간편하고 쉽게 stiction 문제를 해결할 수 있는 방법이다.

참고문헌

1. Chang-Jin Kim, John Y. Kim, Balaji Sridharan, "Comparative evaluation of drying techniques for surface micromachining," *Sensors and Actuators A* 64 17-26, 1998
2. C.H. Mastrangelo, C.H. Hsu, "Mechanical stability and adhesion of microstructure under capillary forces. Part I. Basic theory," *J. Microelectromech. Syst.* 2, 33-44, 1993.
3. C.H. Mastrangelo, C.H. Hsu, "Mechanical stability and adhesion of microstructure under capillary forces. Part II. Experiments," *J. Microelectromech. Syst.* 2, 44-55, 1993.
4. Dongmin Wu, Nicholas Fang, Cheng Sun, Xiang Zhang, "Stiction problems in releasing of 3D microstructures and its solution," *Sensors and Actuators A* 128, 109-115, 2006.