

Berkovich 팁을 이용한 PMMA의 초미세 가공에서 가공속도가 변형거동에 미치는 영향

윤성원(부산대 정밀기계공학과), 김현일*, 강충길(부산대 기계공학부)

주제어 : 나노스크래치, 나노압입, 폴리메틸메타크릴레이트, 시간의존적 변형거동

폴리메틸메타크릴레이트(polymethylmethacrylate, PMMA)는 아크릴레이트계 고분자이자 열가소성 플라스틱으로써 LCD 용 도광판, 콘택트렌즈, 치과용 레진, DVD 디스크용 소재, 나노임프린트용 피가공재, 나노리소그래피 공정용 레지스트 등 많은 분야에서 활발히 사용되고 있다. PMMA 와 같은 점소성 점탄성 소재의 기계적 성질 측정 및 가공을 위해서는, 응력완화 (stress relaxation), 크립 (creep) 등과 같은 시간의존적 변형거동에 대한 연구가 선행되어야 한다.

본 연구에서는 PMMA 소재의 나노 가공에서 가공속도가 변형거동에 미치는 영향을 조사하기 위하여 나노압입 및 나노스크래치 실험을 실시하였다. 압입속도가 경도 및 탄성계수와 같은 기계적 성질에 미치는 영향을 조사하였으며, PMMA 의 나노스크래치 속도에 따른 변형거동의 변화를 조사하였다.

변형속도에 따른 PMMA의 경도 변화를 조사하기 위하여, 0.2, 0.13, 0.07, 0.04, 0.02 mN/s의 조건에서 나노압입 실험을 하였다. Fig. 1은 압입속도에 따른 경도 및 압입깊이-하중 곡선의 변화를 나타내고 있다. 압입속도 범위가 0.02 - 0.07 mN/s일 때는, 압입속도의 증가에 따라 경도가 증가하고 있다. 경도는 소성변형에 대한 저항의 정도를 나타낸다. 따라서, 가공하중이 동일하더라도 속도에 따라 그루브의 폭 및 깊이에 차이가 있음을 예측할 수 있다. 그러나, 압입속도가 0.07 mN/s 이상인 경우에는, 경도가 일정하게 유지되고 있음을 관찰할 수 있었다. 압입속도에 따른 압입깊이-하중 곡선에서 관찰할 수 있는 바와 같이, 압입속도가 0.2 mN/s와 0.02 mN/s일 때 최대 압입깊이는 각각 600 nm와 650 nm였다. 위는 PMMA의 크립현상이 원인으로 판단된다. Fig. 2는 일정한 수직하중 조건 (2 mN) 에서 속도를 1, 100, 500, 1000 $\mu\text{m/s}$ 로 변화시킨 경우의 PMMA 시편의 AFM 사진을 나타내고 있다. 같은 하중조건이라도 스크래치 속도에 따라 그루브의 깊이 및 폭이 다름을 알 수 있다. 1 $\mu\text{m/s}$ 의 스크래치 속도조건에서 가공된 그루브의 경우에는 깊이와 폭이 현저하게 큼을 관찰 할 수 있었다. 또한, 100 $\mu\text{m/s}$ 의 조건에서 가공된 그루브에서는 가공방향에 수평으로 결함들이 관찰되고 있다.

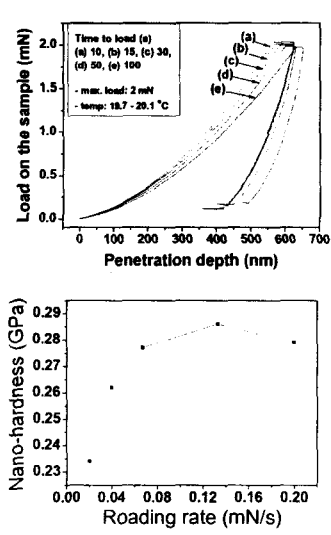


Fig. 1 Variation of the load-displacement curves and hardness values with loading-rate for PMMA (Max. load: 2 mN).

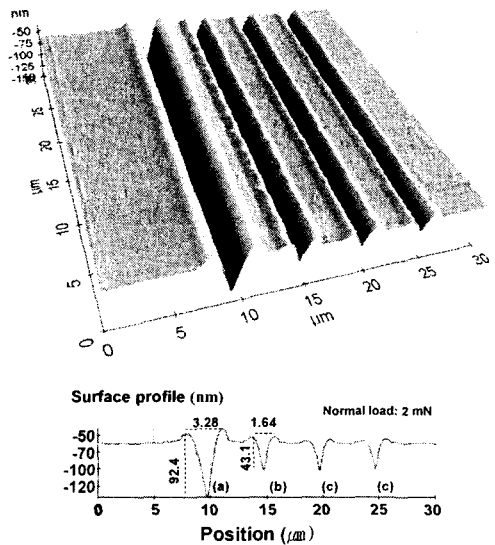


Fig. 2 AFM image of the PMMA surface after scratch experiments under various scratch velocity conditions (a) 1, (b) 100, (c) 500, and (d) 1000 $\mu\text{m/s}$ (normal load: 2 mN).