

나노인덴테이션 접촉응력 하에서의 재료의 팝인/팝아웃 현상
Pop-in/pop-out Phenomena in Materials under the Contact Stress during
Nanoindentation

김지수, 고철호*, 윤종성, 윤준도
경남대학교 대학원 재료공학과, *경남대학교 공동기기센터 전자현미경실
(jdyun@kyungnam.ac.kr)

최근 나노기술의 발달과 더불어 나노재료에 대한 특성평가 요구가 높아지고 있고, 따라서 나노스케일에서 재료의 기계적 거동을 분석할 수 있는 나노인덴테이션 기법이 심도있게 연구되고 있다. 본 연구에서는 나노인덴테이션, 주사탐침현미경(SPM), 투과전자현미경(TEM) 기법을 이용하여 여러가지 재료의 탄성 소성 변형 거동과 팝인/팝아웃 현상을 조사하고 해석하였다.

나노인덴테이션 기법으로는 50 마이크로뉴턴 (5 mg) 이하의 매우 작은 하중 하에서는 접촉 응력 조건이라도 인장시험에서 관찰되는 영구변형이 재료인 완전탄성 변형 거동을 관찰할 수 있었다. 또한, 50-250 마이크로 뉴턴의 하중 범위에서 재료는 탄성변형 이후에 갑작스런 항복거동과 더불어 수십-수백 나노미터를 미끌어지듯 변형하는 팝인(pop-in), 또는 탈선(excursion) 현상을 관찰할 수 있었다. 이 현상은 하중을 가하는 동안에 여러 번 발생하였으며 재료의 표면상태와 전위밀도와 밀접한 상관관계를 보였다. 반복 압입 시험에서는 전형적인 가공경화 현상으로 항복점이 높아지고 새로운 항복점 이후에야 다시 팝인 발생함을 보였다. 한편, 하중을 가할 때 발생하는 팝인과는 달리 하중을 제거할 때 급격히 회복하는 팝아웃 현상 또한 관찰되었다.

이들 재료의 미세구조와 결함구조를 이온빔 절단기(FIB)와 투과전자현미경을 이용하여 분석하였으며 그 결과를 이용하여 발생 메카니즘을 설명하였다.