

구조용 나노금속재료의 소성변형 특성

윤승채¹ · 팜광¹ · 복천희¹ · 곽은정¹ · 김형섭[#]

Plastic Deformation Behavior of Structural Nano Metallic Materials

S. C. Yoon, Q. Pham, C. H. Bock, E. J. Kwak, H. S. Kim

Abstract

At the time when nanostructured materials (NSMs) are becoming a major focus of materials research, the attention of researchers is turning more to their mechanical performance. In contrast with conventional coarse grained materials, which are either strong or ductile, but rarely both at the same time, it is expected that with NSMs both high strength and ductility can be achieved and confirmed by several experimental studies. In spite of the significant interest and efforts in the mechanical properties of NSMs, deformation mechanisms during plastic deformation as well as elastic deformation are not well established yet. In this talk, the deformation mechanisms of NSMs under various grain sizes, temperatures and strain rates were investigated. It is based on recent modelling that appears to provide a conclusive description of the phenomenology and the mechanisms underlying the mechanical properties of NSMs. Based on the theoretical model that provides an adequate description of the grain size dependence of elasticity and plasticity covering all grain size range from coarse down to the nanoscale, the tensile deformation response of NSMs, especially focusing on the deformation mechanisms was investigated.

Key Words : Nanocrystalline materials, Nanostructured materials, Metallic Nano materials, Plastic deformation, Constitutive modeling, Multi-scale modeling, Deformation mechanisms

1. 서 론

최근 재료과학/공학 분야에서 결정립 크기가 100 nm 이하의 다결정재료인 금속계 나노재료 (nanocrystalline materials, nanostructured materials, nano materials)에 대한 관심이 고조되어, 나노금속 재료의 제조공정 및 기초물성에 대한 많은 이해와 발전이 이루어지고 있다. 나노금속재료는 물성 측면에서 결정립초미세화에 따른 초고강도화를 달성하여 부품경량화가 가능하며, 균일한 미세조직에 따른 우수한 내식성과 내마모성이 가능하다. 또한, 산업측면에서는, 고기능 벌크 나노소재의 대량생산 기술이 개발되면 의료용품, 레저용품,

수송기계, 항공/우주용소재, 해수용장비, 국방소재, MEMS용 고부가가치 부품소재로의 응용이 기대된다. 따라서, 현재의 실험실에서 소규모로 시도되고 있는 나노금속재료의 제조/생산공정 기술이 확립되면 기존 재료의 획기적 대체가 가능해질 것이다.

금속재료의 부품소재 적용을 위한 가장 중요한 두 가지 물성은 '강도'와 '연성'이다. 일반 금속재료는 결정립미세화에 따라 연성이 증가하므로, 연구자들은 극한의 결정립미세화에 도달한 나노금속 재료에서 고강도와 더불어 높은 연성을 기대하고 있다. 따라서, 높은 연성/인성 특성을 이용하여, 사용환경에서 부품소재의 높은 신뢰성 보장과,

1. 충남대학교 대학원

교신저자: 충남대학교 나노공학부, E-mail: hskim@cnu.kr

저온/고속 초소성을 통한 부품성형기술의 꿈인 '정형가공'을 실현시키려고 노력을 경주하고 있다.

본 발표에서는 이론적 해석을 통하여 나노재료의 변형거동을 이해하고, 이를 실험으로 입증 후, 최종적으로 최적의 재료-공정 설계를 목표로 하는 국가지정연구실 사업의 연구내용을 소개한다.

2. 구조용 나노소재의 문제점

일반적으로 금속재료의 연성은 강도가 증가함에 따라 감소하므로 (그림 1) 금속에서 고강도와 연성을 모두 만족하는 것은 불가능하다고 여겨졌으나, 이를 극복한 방법으로 E. Ma의 나노결정립 Bi-modal distribution [1]과 R.Valiev의 '나노/초미세 결정화'가 제시되어 ('Valiev's Paradox') [2], 이후 고강도와 연성을 모두 얻고자 수많은 연구가 시도되고 있다. 그러나, 다수의 연구자료에서는 실패스텝계도, 나노결정립영역에서 금속재료의 강도가 감소하는 영역이 나타나고 (그림 2), 인장연성 (연성 안정성)이 빠르게 감소하는 경향을 보여준다.

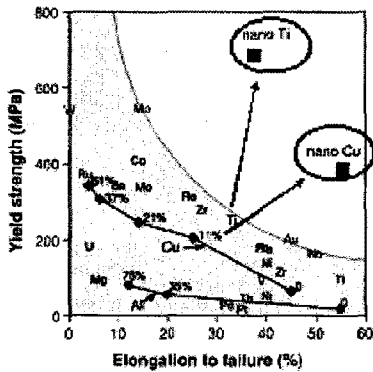


Fig. 1 Strength vs. elongation trend in metallic materials, from Ref. [1].

나노금속재료는 초미세 결정립도로 인하여 결정립계의 원자분율이 결정립내에 존재하는 원자분율에 비해 대단히 높으므로, 조대한 다결정재료의 전형적인 결정립도 거동에서 벗어나는 이상거동 (예, Inverse Hall-Petch 거동)과 비정상 연성의 경향을 나타내고 있다. 그러나, 현재까지 나노재료의 비정상거동을 정량적으로 기술할 수 있는 이론은 세계적으로도 거의 없기 때문에, 나노금속재료의 구조용 부품 적용 단계에서 근본적인 물질특성에 대한 논란과 더불어 사용환경에서의 신뢰성 측면에서 심각한 문제로 대두되고 있다.

전세계적으로 나노금속재료에서의 비정상 현상

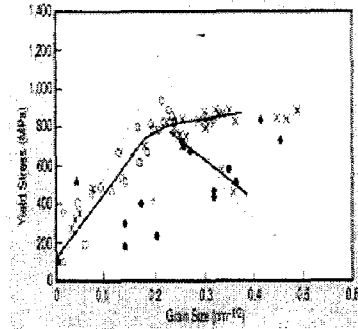


Fig. 2 Strength vs. grain size diagram (Hall-Petch plot), from Ref. [2].

을 이해하고, 특성향상을 위한 노력이 많으나, 아직도 많은 다른 주장이 혼재하고 있다. 따라서, 나노금속재료는, 강도와 연성의 신뢰성 문제로 인하여, 부품으로의 사용환경에서 뿐 아니라 제조 공정 중의 성형가공성 문제 등 구조용 부품 적용에 치명적인 병목을 극복하지 못하고 있다.

3. 결론

본 연구를 통하여 나노결정금속에서의 연성저하를 규명하고 고강도를 나타내는 나노결정재료에 고연성까지 얻어지면, 부품의 정형가공 및 나노재료의 부품 및 용도의 확대를 기대한다. 다양한 제조법을 통하여 나노재료를 개발하고 있는 현 시점에서, 나노재료의 연성과 강도에 대한 이론적 접근을 통하여 현상을 파악하고 실험적으로 입증하는 연구는 재료-공정-용도 개발이 동시에 이루어진다는 점에서 의미가 크다.

후 기

본 연구는 한국과학재단의 2007 년도 국가지정 연구실 사업의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] R. Z. Valiev, I. V. Alexandrov, Y. T. Zhu, T. C. Lowe, 2002, Paradox of strength and ductility in metals processed by severe plastic deformation, J. Mater. Res., Vol. 17, pp. 5~8.
- [2] Y. M. Wang, M. W. Chen, F. H. Zhou, E. Ma, 2002, High tensile ductility in a nanostructured metal, Nature, Vol. 419, pp. 912-913.