

Self-organized Superlattice Phase in Crystalline Cu-Zr Alloys and its Structural Identification Using HRTEM

김규현^{1,2}, 윤상원², 안재평^{2*}, 이재철^{1*}

¹고려대학교 신소재공학과, ²한국과학기술연구원 특성분석센터

Keywords: Superlattice, HRTEM, Composite, Stress relaxation, Molecular static simulation

결정립의 크기를 미세화하는 것은 합금의 강도를 높이기 위하여 사용하는 전형적인 방법의 하나이다. 최근에는 이런 원리를 바탕으로 급냉 주조를 이용하여 결정립의 성장을 억제함으로써 합금의 강도를 극대화하는 방법이 보고되고 있다. 그러나 이 경우 결정립의 성장이 억제되어 전위의 생성 및 이동에도 제약이 따르게 되므로 국부적인 전단응력에 의하여 급작스럽게 파괴가 일어난다.

이런 상은 취성의 단점을 극복하기 위하여 다양한 연구들이 진행되었으며 그 결과 최근에는 수 GPa의 높은 강도를 유지하면서 동시에 높은 연신률을 보이는 합금들이 보고되고 있다. 그럼에도 불구하고 이와 같은 합금들의 기계적 특성은 결정립의 성장을 억제함으로써 얻어지므로 냉각 속도, 즉 제조되는 시편의 크기에 매우 민감한 영향을 받게 된다. 이는 결국 합금의 벌크를 용이하지 않게 하여 상용화에 큰 장애물이 되고 있다.

이를 극복하기 위하여 새로운 결정질 합금을 설계하였으며 그 결과 Cu-Zr 2원계 합금에서 매우 높은 압축강도 (1.3~2.1 GPa)와 고신율(18~32%)을 보이는 결정질 합금을 개발하였다. 미세구조의 분석 결과 Cu상 외에 그 동안 Cu-Zr 평형 상태에서 발견되지 않은 새로운 초격자상이 형성되는 것을 발견하였다. 또한 이 초격자상은 매우 높은 강도를 나타내고 있었다. 따라서 개발된 Cu-Zr 2원계 결정질 합금은 높은 강도의 초격자상과 높은 연성의 Cu상에 의하여 효과적으로 기계적 특성이 향상되는 것을 확인하였다.

이때 합금의 기계적 특성 향상에 중요한 역할을 하는 초격자상의 구조를 명확하게 규명하기 위하여 HRTEM (TECNAI G² F20, FEI)을 이용하여 그 구조를 분석하였다. 분석 결과 초격자상은 Cu₅Zr (FCC, F-43m)을 기본 구조로 하여 특정 Cu 자리를 Zr이 규칙적으로 치환하고 있음을 발견하였다. 이때 초격자상의 성장 방향을 확인하기 위하여 로테이션 홀더 (Rotation holder, Gatan)를 이용하였으며 그 결과 [001]의 특정 방향으로 초격자구조가 형성되는 것을 알 수 있었다. 특히 초격자상은 규칙적으로 치환된

Zr에 의하여 [110] 방향으로 규칙적인 응력장이 생성되었다. 일반적으로 재료 내에 응력장이 형성되는 경우 잔류응력이 존재하며 이는 합금의 강도를 강화시키는 역할을 하게 된다. 이와 같은 이유로 인하여 초격자상은 높은 강도를 가지게 되는 것으로 판단된다.

본 실험을 통하여 우수한 기계적 특성을 가지는 Cu-Zr 2원계 결정질 합금을 제조할 수 있었다. 또한 HRTEM을 이용하여 초격자상의 구조를 분석함으로써 합금의 높은 기계적 특성의 근원을 규명하였으며 나아가 3차원 초격자 구조에 대한 이해를 증진시킬 수 있었다.