

Ti₃Al-Nb 합금의 초소성 변형 현상의 미시적 관찰

김진홍, 박찬로, 박찬경
포항공과대학교 재료금속공학과

1. 서론

Ti₃Al-Nb 합금은 고온강도가 우수하고 내산화성이 좋으며 비중이 작아서, 초내열 경량구조용 재료 및 항공기 재료로서의 높은 가능성을 보이고 있다. 그러나, 이 규칙화된 금속간화합물은 상온에서 극히 취약하며 연신율이 낮아 성형에 많은 한계가 있다[1]. 이러한 한계는 이 합금이 나타내는 초소성을 이용하여 SPF/DB 공정을 통하여 극복될 수 있다. Ti₃Al-Nb 금속간 화합물의 초소성에 대한 대부분의 연구들은 온도, 연신율, 상분율 등의 조건이 기계적인 초소성 현상을 보고하는 데에 그치고 있다. 초소성 변형 현상을 미시적으로 관찰하여 이 재료에서 초소성 변형 및 그 수용기구에 관한 기초적인 연구는 보고되지 않았다. 본 연구에서는 Ti₃Al-Nb 합금의 초소성 변형기구를 규명하고자 변형 전후의 미세조직 변화를 TEM으로 관찰하였다. 결정립의 크기와 초소성 변형량을 달리하여 이들 실험변수가 변형 미세조직에 미치는 영향을 살펴보았으며, 초소성 변형에 의해 생성된 전위의 특성에 대하여도 조사하였다.

2. 실험방법

초소성 시편으로 Ti-24Al-11Nb 합금을 사용하였다 10⁻⁶ torr의 진공분위기에서 아크용해로를 사용하여 350g의 막대형태로 용해하였다. 미세립 초소성에서 요구되는 등축정 형태의 미세결정립을 얻기위하여, 다음과 같이 가공열처리 하였다. 용해된 두께 21mm의 시편을 1,200°C에서 12시간 동안 균질화처리 후 열간압연(8회 Cross rolling)하여 3mm의 판재를 제작하였다. 압연판재로부터 인장시험을 위한 판상시편을 제작하였다. 인장시편의 결정립 크기를 변화시키기 위해 열처리 시간을 1, 6과 74시간으로 하여 α₂ + β상 영역인 1,020°C에서 재결정처리한 후 인장실험온도인 970°C에서 1시간 열처리 하였다. 고온 초소성 인장실험은 ε̇ = 10⁻³/sec조건에서 행하였고, 소성변형량의 영향을 관찰하기 위해서 20%와 100% 변형 후 수냉시켰다.

TEM관찰을 위한 시편은 인장방향으로 자른 표점부분을 100μm까지 기계연마 후 3mm 디스크로 만들어 sulphuric acid + methanol 용액으로 전해연마 하였다. 제작된 TEM시편을 300kV(Philips CM30)와 120kV(Jeol 1200EX)로 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

열처리후 얻은 시편의 미세조직은 α_2 (hcp 규칙구조-DO₁₉)와 β_0 (bcc 규칙구조-B₂)의 2상 조직을 보였으며 β_0 상의 분율은 15% 이내 였다. 인장시편의 평균 결정립크기는 재결정 열처리 시간을 1시간, 6시간과 74시간으로 하였을때 각각 3.2 μ m, 4.7 μ m과 7.1 μ m로 증가하였다.

970°C에서 초소성 변형된 2상 조직을 TEM으로 관찰한 결과 결정립 크기에 관계없이 α_2 상에서는 대부분의 전위들이 결정립계에 집중되어 있는 것이 관찰되었으며, 20~100%정도의 많은 변형량에도 불구하고 α_2 상 입내의 전위밀도는 비교적 낮았다. (Fig.1). 그러나 β_0 상의 경우는 전위가 결정립 전체에 균일하게 분포되어 있었다. 전체적인 전위밀도는 α_2 상의 경우에 비해 매우 높았다. 이런 초소성 변형조직의 형상은 보고된 상온 변형의 경우와는 판이하였으며, 변형량이 20%에서 100%로 증가하여도 큰 변화를 나타내지 않았다. 다만 동일한 변형량에서 결정립의 크기가 커짐에 따라 α_2 상 입내의 전위밀도는 증가하였다.(Fig. 2, 3).

초소성 변형에 관여한 전위의 특성을 알아보기 위하여, DO₁₉ 구조를 가지는 α_2 상에 대한 Kikuchi map을 작성하였다. 이를 이용하여 전위의 Burgers vector를 분석한 결과 α_2 상 결정립계 주변에 형성된 전위 및 결정립 내부의 전위들은 거의 대부분 c-성분을 가지지 않는 a-type 전위 ($\bar{b} = 1/3\langle 11\bar{2}0 \rangle$)임을 알 수 있었다.

이상의 실험결과는 결정립계에서의 전위 거동(생성, 이동 및 수용)이 Ti₃Al-Nb 합금의 초소성 변형에 매우 중요한 역할을 한다는 것을 보여주고 있다. 이러한 양상은 Gifkins[2]에 의해 제안된 "core and mantel" 모델과 유사한 것으로 보이나, 이 모델로는 α_2 및 β_0 결정립내에 생성된 전위들을 설명할 수 없는 문제점이 있다. 최근에 제안된 내부변형변수를 이용한 초소성변형이론[3](Fig. 4)으로 이를 잘 설명할 수 있었다.

4. 후 기

본 연구는 1994년 과학재단(목적기초) 지원 및 1995년 교육부(신소재) 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

5. 참고문헌

- [1] D. Banerjee in Ti₃Al and its Alloys, edited by J.H. Westbrook and R.L. Fleischer (Intermetallic Compounds : vol 2, John Wiley & Sons LTd, (1995), 91.
- [2] R.C. Gifkins, Metall. Trans: 7A(1976), 1225.
- [3] 하태권, 장영원, 제 7회 재료강도 심포지움, 대한금속학회(1993) 17