

**저온 기계적합금화 방법으로 제조한 nanocrystalline Al-5at.%Ti 분말의
진공열간압축 성형거동
(Vacuum hot-press behavior of nanocrystalline Al-5at.%Ti powder
synthetized by cryogenic mechanical alloying)**

최재훈*, 하현승, 류승훈, 오영민, 김선진
한양대학교 공과대학 재료금속공학부

1. 서론

우수한 비강도를 갖는 기계적합금화한 Al-Ti 합금은 항공기용 재료로 주목받고 있으나, 높은 강도에 비해 연성이 매우 작아 실용화에 어려움을 겪고 있다. 수십 nm의 미세한 결정립으로 이루어진 nanocrystalline 재료는 diffusional creep의 활성화를 통하여 연성을 크게 향상시킬 수 있다는 보고를 기반으로, 본 연구에서는 저온 기계적합금화 방법을 이용하여 nanocrystalline 분말을 제조하였으며, 결정립의 크기가 nanoscale을 유지하면서도 full density를 가지는 nanocrystalline Al-Ti 합금의 최적성형조건을 구하기 위하여 nanocrystalline 분말의 진공열간압축성형에 따른 결정립의 조대화과정을 연구하였다.

2. 실험방법

Al-5at.%Ti, stearic acid 2wt.% 및 3/16 inch stainless steel ball을 50:1의 장입비, 300rpm의 회전속도인 1.6 liter의 attritor에 장입하여 상온 20시간 기계적합금화했으며, 분말을 다시 상온과 동일한 조건의 저온(-80℃)에서 40시간동안 기계적합금화하였다. 저온 기계적합금화한 분말은 particle size analyzer로 분말의 크기와 분포를 측정하였으며, XRD와 TEM으로 결정립의 크기와 조사하였다. 앞서 제작한 저온 기계적합금화한 분말을 직경 12mm의 die에 충전, 275Mpa의 압력으로 냉간압축하여 비이론밀도의 약 73%가 되도록 하였다. 350℃에서 진공으로 탈가스 처리한 후, 온도(360℃, 390℃, 420℃, 450℃), 압력(300MPa, 500MPa, 700MPa), 시간(5분, 10분, 30분, 60분, 100)에 따라 진공열간압축하여 성형체를 제조하였다. 그리고, 각 성형체의 비이론밀도, 분말의 성형형태, 결정립의 크기 및 미세구조를 광학현미경, XRD, TEM 등으로 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

저온 기계적합금화한 Al-5at.%Ti 분말은 구상형태였으며, 입자분석기로 분석한 평균입도는 상온 기계적합금화한 분말의 경우 15 μ m이상의 크기를 갖는데 반해 6 μ m정도를 나타내었다. 결정립의 크기는 10~15nm정도를 보였다. 진공열간압축 성형결과, 성형온도 360℃이하에서는 Al₃Ti 분산상이 석출되지 않았으며, 390℃이상에서는 모든 시편에서 Al₃Ti 분산상이 석출되었다. 390℃, 300MPa의 압력에서는 60분이상 가압하여도 이론밀도의 99%에 도달하지 못하였으며, 390℃, 500MPa이상의 성형조건에서는 10분이상의 가압조건에서 모두 이론밀도의 99%에 도달하였다. 온도가 증가함에 따라 작은 압력에도 가압효과가 증가하여, 450℃의 경우 300MPa이상의 압력에서는 10분의 가압시간에도 full density에 도달함을 알 수 있었다. 진공열간압축한 시편의 TEM 사진결과, 결정립크기는 성형온도 증가에 따라 증가하였으나, 가압시간과 압력에는 거의 영향을 받지 않았다. 결과적으로 390℃, 500MPa, 10분이 full density와 Al₃Ti 분산상을 얻을 수 있으면서도 30nm이하의 가장 미세한 결정립을 유지하는 최적의 가공조건을 보였다. 이러한 결정립의 크기는 상온 기계적합금화한 분말의 진공열간압축 성형체의 결정립크기가 100nm이상인데 비하여 매우 작기 때문에 연성의 향상을 기대할 수 있을 것이다.