

기계적 합금화한 (Al+12.5Cu)₃Zr 금속간화합물 분말의 CIP 및
소결에 의한 성형 거동
(The consolidation behavior of mechanically alloyed
nanocrystalline (Al+12.5Cu)₃Zr intermetallic compounds
by cold isotatic pressing and sintering)

한양대학교 문환균, 김재일, 김선진

1. 서론

낮은 밀도와 우수한 고온강도 및 열적 안정성의 특성을 갖는 Al-X계 합금은 항공기 구조재의 유망한 후보재로서 많은 연구가 진행되었다. 특히 기계적 합금화한 Al₃Zr 초미립 금속간화합물은 미세한 분산입자들의 강화 효과로 높은 강도/밀도 비를 가지지만 10% 미만의 낮은 연신률은 합금의 실용화에 장애물이 되었다. 취약한 연성의 개선 방법으로는 제 3원소를 첨가하여 DO₂₂ 구조를 cubic L1₂구조로 변화시킴으로써 slip계를 확장시키는 것과 결정립의 미세화를 통해 grain boundary sliding과 diffusional creep을 촉진시키는 것, 그리고 두 가지 방법을 혼용하는 것 등이 있다. 하지만, 전통적인 분말의 성형방법은 결정립의 조대화가 용이하기 때문에 nanocrystalline 금속간화합물의 연성 향상을 위한 분말의 성형 방법으로는 적합하지 않다. 따라서, nanocrystalline 금속간화합물 분말의 결정립 조대화를 억제하기 위해서는 상온에서 높은 정수압을 이용하여 성형체의 높은 치밀화가 가능한 CIP(Cold Isostatic Pressing) 방법이 유용할 것으로 예상된다. 본 연구에서는 Al₃Zr 금속간화합물을 L1₂구조로 변화시키기 위하여 Cu를 첨가한 금속간화합물 분말을 제조하여 CIP 및 소결에 따른 분말의 성형 거동을 연구하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서 사용한 (Al+12.5Cu)₃Zr 금속간화합물 분말을 planetary mill을 사용하여 제조하였다. CIP 성형은 상온에서 20kpsi, 30kpsi, 42kpsi 등의 다른 정수압으로 수행 하였으며, 성형체의 상과 결정립의 크기는 monochromated Cu K_α선($\lambda=0.1542\text{nm}$)을 사용한 X선 회절기를 이용하여 분석하였다. 기계적합금화한 분말의 결정립 크기는 측정된 회절 peak의 반각폭으로부터 Hall-Williamson 식을 적용하여 계산하였으며 TEM(Transmission Electron Microscope) 관찰을 통하여 이를 확인하였다. 성형 과정에서의 분말 morphology는 주사전자현미경을 사용하여 관찰하였다. 성형체의 밀도는 치수측정 방법과 아르키메데스 원리를 이용하는 전자비중계(electronic densimeter)를 사용하여 측정하였다

3. 실험결과

CIP 성형만으로 제조된 (Al+12.5Cu)₃Zr 금속간화합물 성형체는 최대 62.1%의 비이론 밀도를 나타내었으며, 800℃와 900℃에서의 소결을 통하여 각각 93%, 95%의 비이론 밀도를 얻을 수 있었다. 성형체의 X선 회절분석 결과 CIP 과정에서 압력이 20kpsi, 30kpsi인 경우에는 800℃의 소결에서도 안정한 L1₂ 구조가 유지되었지만, 압력을 42kpsi로 증가시킨 경우에는 동일한 소결 조건에서 DO₂₃ 구조로 변태가 발생하였다. 소결 이전에 10.5nm이었던 성형체의 결정립 크기는 800℃ 소결과정에서 조대화가 발생하였으며, CIP성형 압력이 20kpsi, 30kpsi, 42kpsi로 압력이 증가함에 따라 35nm, 45nm, 51nm로 증가하였는데 이는 CIP 성형 과정에서 축적된 내부 에너지의 차이에 기인하는 것으로 생각된다.