

기계적합금화한 Al-Ti-Ce 합금의 열적안정성에 미치는 Ce의 영향

(The effect of Ce on the thermal stability of the mechanically alloyed Al-Ti-Ce alloy)

한양대학교 재료공학과 김준기*, 임준택, 김선진
한국원자력연구소 한정호

기계적합금화에 의한 Al-Ti 합금은 Al_2O_3 , Al_4C_3 및 금속간화합물인 Al_3Ti 상들의 미세한 분산으로 고온용 고강도 Al 합금으로서 주목받고 있다. 이들 분산상에 의한 강화는 Al 결정립의 성장을 억제함에 따른 Hall-Petch 효과와 Orowan looping 효과 등에 기인하는 것으로 분산입자가 미세하고 균일하게 분포할수록 강화효과가 증대되므로 합금의 사용온도를 높이기 위해서는 분산입자들의 고온에서의 조대화가 억제되어야 한다. 분산입자의 조대화에 관한 LSW 이론에 의하면 기지금속에 대한 낮은 고용도와 느린 확산계수를 갖고, 적은 계면에너지를 갖는 입자를 형성하는 합금원소를 첨가함으로써 합금의 열적안정성을 향상시킬 수 있다고 알려져 있다. 이러한 목적으로 Al-Ti 합금의 열적안정성 향상을 위해 제안되어진 제3첨가원소에는 V, Zr, Ce, Hf 등이 있으며, 이들은 Al_3Ti 보다 작은 Al과의 격자간불일치도를 갖는 $Al_3(Ti+X)$ 형태의 금속간화합물을 형성하여 계면에너지를 감소시킴으로써 합금의 열적안정성을 향상시키는 것으로 보고되어지고 있다. 이에 대해 V, Zr, Hf의 첨가에 따른 금속간화합물의 격자상수 변화는 잘 알려져 있으나 Ce에 대해서는 보고되어진 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 Al-Ti-Ce 합금을 기계적합금화로 제조하여 형성되는 금속간화합물의 격자상수의 변화와 합금의 열적안정성에 미치는 Ce의 영향에 대하여 조사하였다.

Al-8wt.%(Ti+Ce) 조성으로 Ti:Ce의 원자비 1:0, 3:1, 1:1에 대하여 기계적합금화한 정상상태의 분말을 430°C에서 900MPa로 1시간동안 진공열간압축하여 시편을 준비하였다. 이들 합금의 열적안정성을 평가하기 위해 400, 480, 550°C에서 등온열처리하면서 경도(RHB)를 측정하였으며 TEM으로 미세조직을 관찰하였고, 제조방법의 영향을 보기 위해 동일한 조성에 대해 아크용융으로 시편을 제조하여 TEM으로 상을 분석하였다. Ce의 첨가에 따른 금속간화합물의 변화와 격자상수를 측정하기 위해 Ti에 대한 Ce의 원자비를 12.5, 25, 37.5, 50at.%Ce으로 기계적합금화하여 진공열간압축으로 제조한 시편에서 금속간화합물을 전해추출한 후, 이들 추출잔유물과 표준 Si 분말을 혼합하여 X-선 회절패턴을 얻어 상을 분석하고 Cohen 방법으로 격자상수를 구하였다.

기계적합금화한 Al-Ti-Ce 합금에는 tetragonal 구조의 $Al_3(Ti+Ce)$ 과 orthorhombic 구조의 $Al_4(Ce+Ti)$ 의 삼원계 금속간화합물이 생성된 것을 확인하였다. Ti에 대한 Ce의 원자비가 25at.%Ce 이하인 조성에서는 $Al_3(Ti+Ce)$ 이, 25at.%Ce 이상의 조성에서는 $Al_4(Ce+Ti)$ 이 존재하였으며 이는 기계적합금화한 Al-Ti-Ce 합금에 있어서 Ti:Ce의 원자비가 3:1인 조성 근처에서 두 삼원계 금속간화합물상간의 천이가 일어나는 것으로 생각된다. 또한 측정된 격자상수로부터 계산한 Al과 $Al_3(Ti+Ce)$ 의 격자간불일치도는 예상과는 달리 Ce의 첨가에 따라 증가하였으며 특히 $Al_4(Ce+Ti)$ 로 천이되면서 급격한 증가를 보였다. 아크용융방법으로 제조된 Al-Ti-Ce 합금에서는 삼원계 금속간화합물이 형성되지 않고 Al_3Ti 과 Al_4Ce 만이 관찰되었다. 따라서 삼원상인 $Al_3(Ti+Ce)$ 과 $Al_4(Ce+Ti)$ 은 평형상이 아닌, 기계적합금화에 의해 생성된 준안정상으로 생각된다. 480°C와 550°C에서의 등온열처리에 따른 Al-Ti-Ce 합금의 경도는 Ce이 첨가되지 않은 Al-Ti 합금에 비해 높은 경도값을 유지하였다. Ce 첨가에 따라 합금의 열적안정성이 향상된 것은 Ti과 Ce의 확산계수가 거의 동일하고 Ce 첨가시 형성되는 금속간화합물과 Al 기지와의 계면에너지가 증가하는 것으로 보아 Al에 대한 Ce의 고용도가 Ti에 비해 작기 때문으로

생각된다. 또한 Ti:Ce의 비가 3:1인 조성의 합금이 1:1의 경우보다 향상된 열적안정성을 보였는데 이는 3:1에서 형성된 금속간화합물이 1:1에 비해 작은 격자간불일치도를 갖기 때문에 금속간화합물의 조대화가 보다 억제된 것으로 생각된다.