

## 기계적 합금화법으로 제조된 Ni-20Cr-20Fe-5Nb-1Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>합금에서 Nb과 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가효과

Effect of addition of Nb and Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in MAed Ni-20Cr-20Fe-5Nb-1Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> alloy

고려대학교 재료금속공학부 김일호\* · 박재필 · 권숙인  
한국생산기술연구원 신소재공정팀 이원식

### 1. 서 론

Inconel718합금은 단조형 Ni기 합금으로 항공기 터빈엔진에 적용될 경우 비교적 온도가 낮은 부위에서의 내강도, 내산성 그리고 내식성이 요구되는 곳에 적용되며 또한 상온 구조용 재료로도 널리 사용되고 있는 석출강화형 합금이다. 상용 Inconel718합금에서 Nb은  $\gamma''$  (Ni<sub>3</sub>Nb : tetragonal)상을 형성 시켜 강도를 증가시키기 위해 첨가되는데, 주조 후 Nb은 기지내에 완전히 고용되어진 형태로 존재 하는 것이 아니라 Nb의 편석물인 laves상으로 존재 하게된다. 이에 따라 1200℃에서 2시간동안 균질화처리를 통하여 기지 내에 다시 균질고용을 시키고 그 후, 시효처리를 통해 준안정상인  $\gamma''$  (Ni<sub>3</sub>Nb : tetragonal)상을 석출시키려는 연구가 많이 진행되어왔다. 이에 따라 기계적 합금화법을 사용하여 Inconel718합금을 제조할 경우 Nb이 균질하게 고용될 수 있을 가능성이 있으며 그 결과 주조 시에 일어나는 Nb의 편석에 대한 문제를 해결함과 동시에 미세한 석출상인  $\gamma''$ 의 석출 및 결정립 미세화를 통한 큰 강도의 향상이 기대되어 진다. 본 연구는 Inconel718합금의 주요 합금원소인 Ni, Cr, Fe 원소분말에  $\gamma''$  (Ni<sub>3</sub>Nb)의 석출을 위한 Nb와 분산강화를 위한 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 첨가하고 기계적 합금화법을 이용하여 합금분말을 제조하였으며, 통전소결법인 EPS(Electric Pressure Sintering)법과 고온 압출법을 이용하여 성형한 후  $\gamma''$ 의 형성과 기계적특성평가(그림. 1) 및 산화실험을 통해 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 Nb의 영향성을 조사하였다.

### 2. 실험방법

본 연구에서의 순도 99% 이상의 Ni분말과 순도 99.9%의 Cr, Fe, Nb 그리고 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>분말을 사용하였다. 회수율과 합금화정도를 고려한 다양한 예비실험을 통하여 3.5wt.%의 메탄올이 밀링 시작 전에 첨가되었고 합금화를 위해 6ℓ 용량의 고에너지 볼밀인 수직식 attritor가 사용되었으며, 속도는 300rpm으로 하고 합금화 시 분말의 산화를 방지하고자 아르곤 분위기(1.5Kg/cm<sup>3</sup>)를 유지하였다. 합금분말의 성형을 위하여 통전소결법인 EPS(Electris Pressure Sintering)법을 사용하여 1100℃에서 300초간 유지하여 성형을 실시하였다. 또한 EPS소결법과 비교를 위하여 고온압출을 1100℃에서 실시하였고 이에 따른 결과를 비교하였다. 기계적 특성의 평가를 위하여 경도와 고온 및 상온 인장실험을 실시하였으며 산화특성을 평가하고자 1000℃에서 100시간동안 임의의 산소분위기에서 산화를 시킨 후 무게를 측정하고 상용재와의 비교를 시도하였다.(그림. 2)

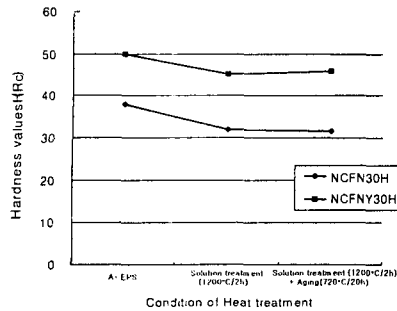


Fig. 1. Results of hardness test for Ni-20Cr-20Fe-5Nb-1Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Ni-20Cr-20Fe-5Nb alloy

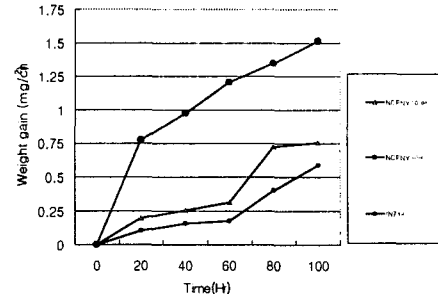


Fig. 2. Results of oxidation test for MAed alloys and -5Nb-1Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> and Inconel718 alloy.

### 3. 결과 및 고찰

제조된 벌크재의 결정립의 크기는 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가에 따라 EPS재의 경우 42.2%의 결정립의 미세화효과가 나타났으며 압출재의 경우는 56.0% 정도의 결정립의 미세화 효과를 확인할 수 있었으며 EPS법과 고온압출재의 비교에서는 EPS재의 결정립크기가 압출재의 31.4%밖에 되지 않음을 확인하였다. 즉 결정립의 미세화를 위한 측면을 고려할 때 EPS법이 결정립의 미세화를 위해 더욱 효과적인 성형법임을 확인하였으며 Nb의 첨가에 따라 다량의 NbC가 형성됨을 확인하였고 열처리에 따라 δ 상인 Ni<sub>3</sub>Nb가 소량 결정립계에 형성되었음을 확인하였다. 이렇게 형성된 δ 상은 경도값의 측정을 통하여 강도의 향상에는 기여하고 있지 않았으며 단지 결정립의 성장을 억제하는 역할을 하는 것으로 생각된다. 또한 인장시험결과를 통하여 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가에 따라 상온인장강도 값이 30% 이상 증가하는 것을 확인하였고 산화실험의 결과에서도 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가재가 50% 이상 우수한 산화특성을 나타냄을 확인할 수 있었다. 많은 양의 Cr을 함유하고 있는 본 연구에서와 같은 합금계는 Cr의 선택적 산화를 통하여 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>산화층을 형성시켜 후속적인 산화를 억제하는 것으로 알려져 있으며 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가는 Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>산화층을 더욱 빨리 형성시켜 우수한 산화특성을 나타내는 것으로 사료된다.

### 4. 결론

1. EPS법을 이용한 합금분말의 성형은 일반적으로 사용되고 있는 고온 압출법에 의한 성형에서 보다 성형밀도의 차이 없이 작은 결정립을 갖는 벌크재의 제조가 가능했으며, EPS재의 결정립 크기는 압출재 결정립 크기의 50% 이하였다.
2. EPS와 압출에 관계없이 1wt.%의 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가는 결정립 크기를 약 50% 정도 감소시켰으며, 13.1 HRC의 경도 향상을 야기하였다. 이로써 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가가 결정립 미세화 및 강도의 향상에 크게 기여하였다.
3. 기계적합금화된 분말의 고온성형 시 다량의 NbC가 형성되었으며, 이 상의 형성은 시효처리 시 Ni<sub>3</sub>Nb의 석출량을 감소시키는 역할을 하였다. 또한 시효처리에 의해 형성된 Nb석출물 상은 orthorhombic 구조의 δ-Ni<sub>3</sub>Nb였으며, 이 상은 강화효과 보다는 결정립 성장 억제 효과에 기여한 것으로 사료되어진다.
4. 100시간 산화실험을 통하여 Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>의 첨가재가 상용 Inconel718재와의 산화특성을 비교한 결과 우수한 산화특성을 나타냄을 확인하였다.