

초내열합금 Inconel 718의 용체화처리 조건에 따른 미세조직 및 기계적 성질 Microstructure and mechanical property on the condition of solid solution treatment in superalloy, Inconel718

김종덕*, 한태교**, 강정윤**

* 한국가스안전공사

** 부산대학교 재료공학과

1. 서 론

열처리 Inconel 718은 광범위하게 사용되고 있으므로, 화학 조성의 조절, 열처리 공정 개발 등 많은 연구가 진행되어 왔다. 특히 열처리 공정에서는 재료의 고온 강도를 향상시키기 위하여 본 재료의 주 강화상인 γ' 및 γ'' 상들의 체적 분율 증가가 요구되는 것은 기본적인 사항이지만, 이들 상들의 체적 분율을 극대화시키기 위한 시효처리를 행하였을 경우 결정입계 주변의 조직이 이러한 상들이 존재하지 않는 석출물 결핍지역(PFZ, Precipitate Free Zone)이 존재하므로써 피로파단에 대한 저항성이 감소하게 되고¹⁾, 역으로 석출물 결핍지역을 제거하기 위하여 용체화처리 후 중간시효 처리과정을 행하게 되면 입계에는 이러한 결핍지역은 나타나지 않지만, 이때 석출되는 δ 상으로 인해 나중에 실시되는 고강도를 얻기위한 시효처리 시 주 강화상인 γ'' 상의 석출량이 감소되어 결국 강도가 감소하는 결과를 초래한다. 본 연구에서는 결정립 성장없이 δ 상을 입계에 소량, 입상으로 석출시킬 수 있는 용체화 처리 조건을 확립하여 용체화처리에 따른 미세조직과 기계적 성질에 관하여 조사하였다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 재료는 미국 Allvac사에서 VIM(Vacuum Induction Melting)과 VAR(Vacuum Arc Remelting)의 double melting법에 의해 제조된 시료로서 as rolled 상태의 $\varnothing 20\text{mm}$ 인 봉재로 재료의 화학조성을 표1에 나타내었다. 표2는 as rolled 상태와 표준열처리를 행할 경우 제조사에서 보장하는 상

온에서의 기계적 성질을 나타내고 있다. 시험편은 봉재를 두께 약 10mm로 절단하여 열처리한 후 조직관찰을 행하였다.

3. 결과 및 고찰

침상의 δ 상을 입상화 하기 위하여 탄소강에서의 세멘타이트 구상화 열처리 방법을 용체화처리에 적용해 보았다. 세멘타이트의 경우 완전고용과 석출의 반복으로 입상화 하지만, δ 상의 경우 완전히 고용시키면 결정립이 성장하므로 완전히 고용시키지 않고 결정립 성장이 없는 시간과 온도조건에서 실시하였다. 온도 및 시간은 예비실험에서 1273K의 경우 0.6ks까지, 1268K의 경우 3.6ks까지 결정립 성장이 일어나지 않았고, 일반적으로 용체화처리 시간을 3.6ks로 하고 있으므로, 1273K~1268K와 1273K~1258K 범위에서 그림 1과 같은 3단 열처리 조건으로 용체화처리를 실시하였으며 비교대상으로 표준열처리의 1228K×3.6ks 조건과 비교하였다. 그림 2는 용체화 처리 후의 미세조직 사진을 나타낸다. 세 조건 모두 OM상에서 비슷한 결정립도를 나타내는 것으로부터 결정립 성장은 일어나지 않았다. 1228K×3.6ks의 경우에는 침상의 δ 상이 입계와 입내에 석출되어 있으나, 새로운 두 가지 열처리의 경우 입계에 주로 δ 상이 석출되어 있으며, 침상도 있으나 일부 침상이 짧은 상으로 나누어진 듯이 입계에 짧은 침상이 일렬로 늘어서 있는 것을 볼 수 있다. 그림 3은 3.6ks에서 결정립 성장이 일어나지 않았던 최고온도 조건인 1268K × 3.6ks와 고용도차를 이용한 두 가지 용체화처리를 한 시험편에 대해 표준 2단시효(991K×8hr → F.C.(1K/min) → 894K×8hr)를

실시한 후의 미세 조직을 SEM으로 관찰한 사진이다. 1268K보다는 새로운 두 가지의 용체화 처리가 δ 상의 량도 적으며, 길이도 짧은 것이 더 많이 존재하는 것을 볼 수 있다. 세 조건 모두 v' , v'' 은 관찰되지 않는 것으로 보아 미세하게 석출된 것으로 사료된다. 고용도차를 이용한 용체화처리 후 표준 2단시효를 적용하면 입계에 입상에 가까운 짧은 침상형의 δ 가 소량 석출되고, 2단시효를 통해 v' , v'' 이 미세하게 석출되어 강도의 감소 없이 피로특성의 향상을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

인코넬 718소재에 대해 4가지 다른 방법으로 열처리를 시행한 후 각 시험편에 대해 상온 및 650°C에서의 인장성질을 평가하였다. 열처리 사이클은 압연재(AR), 표준열처리(SHT), Merric 열처리(MHT), Koul 열처리(KHT), 3단 열처리(THT)를 실시하였다. 그림 4는 상온 및 고온인장 실험의 결과를 나타낸다. 그림에서 상온최대인장성질 및 고온최대인장 성질에 있어서는 THT의 결과가 SHT에 비교하여 약간 높은 값을 갖고 있는 것을 확인할 수 있다. 항복강도와 연신율의 경우 THT시험편이 SHT와 거의 대등한 결과를 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 THT조건에서는 결정립의 크기성장이 일어나지 않음으로 인해 항복강도와 연신율의 변화없이 최대인장강도가 증가하는 원인으로 사료된다. SHT, MHT 및 THT 시험편의 경우 AR재에 비해 최대인장강도 및 항복강도가 높게 나타나지만, 연신율은 낮아지는 경향을 나타내었다. 그리고, 최대인장강도의 경우 MHT조건이 SHT 및 THT에 비해 높게 나타나는 것이 특징이다.

저주기 피로시험을 상온의 조건에서 가압비는 -1.0에서 1Hz조건으로 실시하였다.(최대하중 : 800, 900, 1000MPa) 그림 5는 각 열처리 조건에 따른 저주기 피로특성을 평가한 그래프이다. 최대하중 900MPa조건에서는 상온저주기피로의 경우 THT시험편이 SHT시험편에 비해서 향상된 것을 확인할 수 있었다. 최대하중 1000MPa의 조건의 경우에는 THT시험편이 SHT시험편에 비해서 낮은 값을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 이는 THT시에 입계에 존재하는 δ 상의 형태가 침상에서 짧은 단상으로

바뀌어 의해서 저주기 피로특성이 향상되는 것으로 사료된다.

4. 결 론

결정립 성장없이 δ 상을 입계에 소량, 입상으로 석출시킬 수 있는 용체화 처리 조건을 확립하여 용체화처리에 따른 미세조직과 기계적 성질에 관하여 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 1273K~1258K 및 1273K~1268K에서 용체화처리(THT)를 후 표준 2단시효를 적용하면 입계에 입상에 가까운 짧은 침상형의 δ 가 소량 석출되고, 2단시효를 통해 v' , v'' 이 미세하게 석출되었다.
- 2) THT가 기존 열처리에 비해 상온 및 고온 인장강도는 다소 높으며, 연신율은 유사하였고, 피로특성은 향상되었다.

Table 1 Chemical composition of Inconel 718 (wt%)

C	Mn	Si	Cr	Mo	Co	Ti	Al	B	Fe	Cu	Nb	Ni
0.027	0.06	0.08	17.75	2.87	0.15	1.00	0.49	0.004	18.20	0.03	5.18	Bal.

Table 2 Mechanical properties composition of Inconel 718

heat Treatment	UTS(ksi)	2%Y.S.(ksi)	E.L.(%)	R.A.(%)
As rolled	143	124	22	31
SHT	210.7	176.4	20.0	42.0

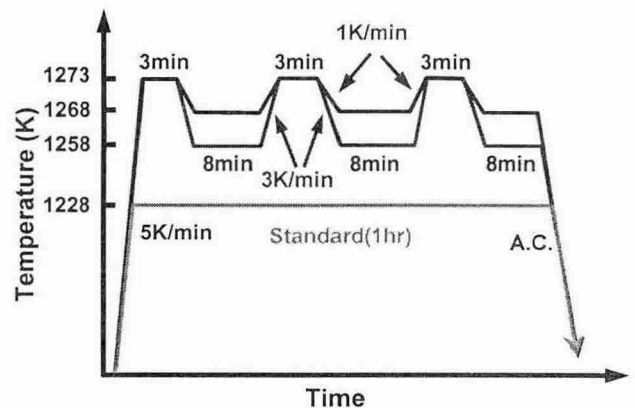


Fig. 1 Heating cycles of new solution heat treatments

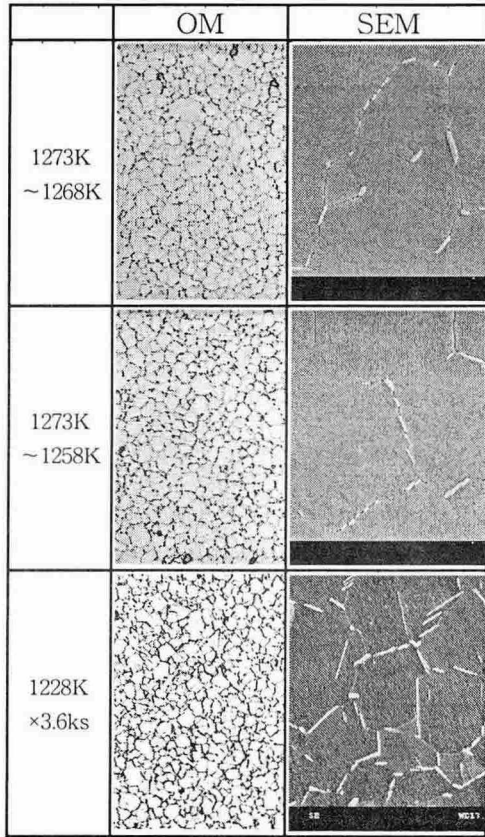


Fig. 2 Microstructures of new solution heat treatments

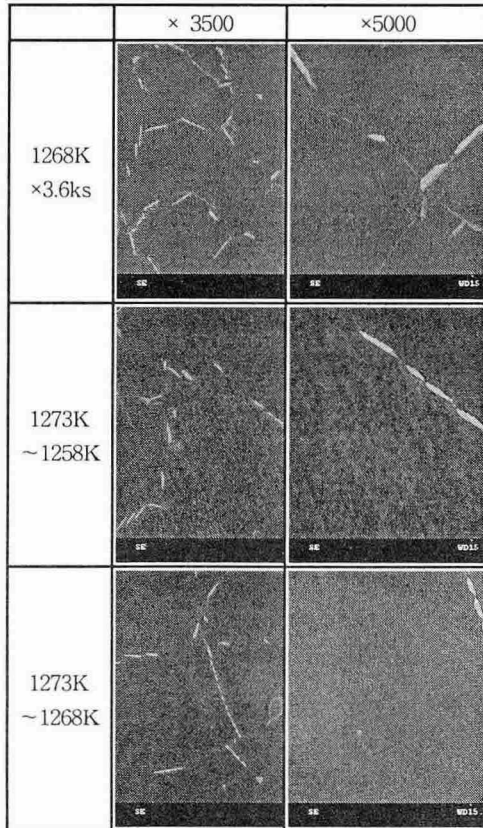


Fig. 3 Changes of microstructures after double aging

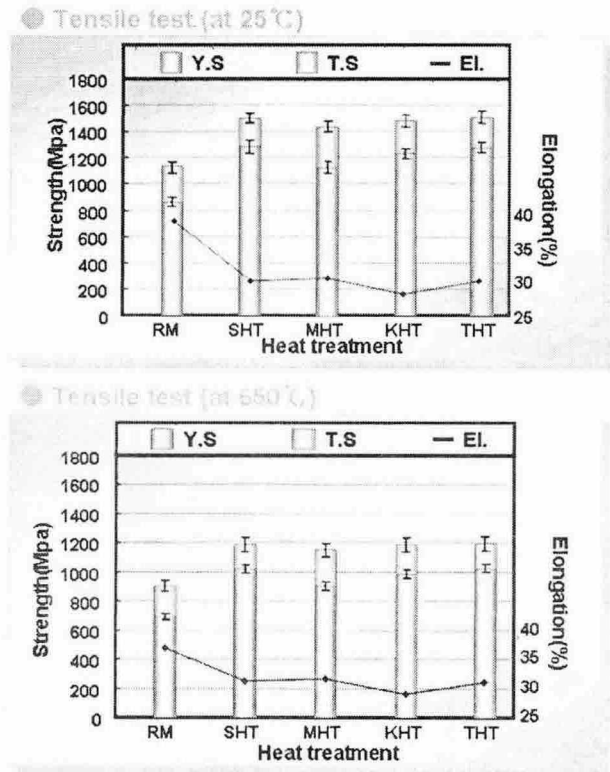


Fig. 4 Effect of heat treatment on the tensile property of Inconel718

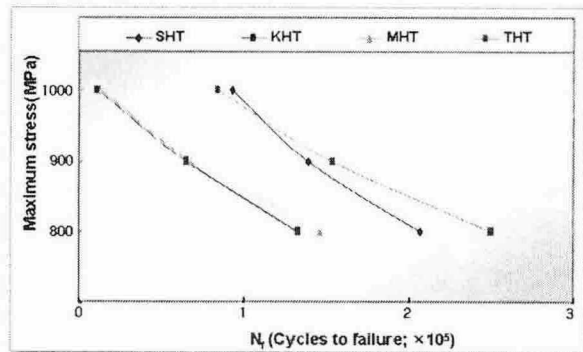


Fig. 5 Effect of heat treatment on the low cycle fatigue property