

일방향응고 Ni기 초내열합금 GTD111의 TLP bonding시 모재의 미세조직 변화

The Change of Microstructures of Base Metal in the TLP Bonding of Directional Solidified Ni-base Superalloy GTD111

황형철, 김호인, 이창근, 강정운
부산대학교 금속공학과

1. 서론

산업용 가스터빈 bucket 및 blade 재료로 쓰이는 일방향응고 Ni기 초내열합금은 고온에서의 강도와 내식성이 뛰어난 재료이다. 그러나 일방향응고 Ni기 초내열합금의 수리기술로 용융용접하면 용접부에서 다결정화하여, 모재의 강화기구를 소실할 뿐만 아니라 용접 균열이 발생하기 때문에 이 합금을 용융용접하는 것은 곤란하므로 모재를 용융시키지 않고 접합하는 천이액상확산접합을 실시한다. 그러나 Ni기 초내열 일방향응고합금인 GTD111을 고온에서 TLP bonding하였을 때 모재에 상변화가 발생하는 것이 관찰되었다.

따라서 본 연구에서는 Ni기 초내열 일방향응고합금인 GTD111의 수리기술의 일환으로, 천이액상 확산접합시 발생하는 모재의 미세조직 변화를 관찰하고, 생성상에 대한 발생 기구를 고찰하여 보았다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 모재로는 Ni기 초내열 일방향응고합금 GTD111으로서 Table. 1은 그 화학조성을 나타낸다. 모재(GTD111)사이에 두께 $40\mu\text{m}$ 의 Ni기 삽입금속을 삽입하고 고주파 유도로에 장착한 후 $5 \times 10^{-5}\text{torr}$ 의 진공분위기에서 1423K, 1473K의 온도에서 소정의 시간을 유지하여 TLP bonding시킨 시험편의 모재부를 관찰하였다. 조직 현출은 화학에칭(marble's reagent)와 전해에칭(10% 과염소산알콜)으로 행하였으며, 모재와 접합시험편의 모재부의 미세 조직과 생성상은 OM 및 SEM으로 관찰하고, EDX 및 EPMA로 성분분석을 실시하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

Fig. 1은 원모재에 존재하는 상들을 OM, SEM 및 EDX로 분석한 결과를 나타낸 것이다. 원모재에 존재하는 상으로는 덴드라이트 중심에는 γ' 과 탄화물이, 덴드라이트 경계에는 γ' , 공정상, 판상의 η 상 및 탄화물이 존재한다. A와 같은 γ' 의 경우 Ni와 Ti가 주성분이며, 덴드라이트 경계에 존재하는 것이 덴드라이트 중심부에 존재하는 것보다 더 크게 관찰된다. C와 같이 공정상의 경우 Ni와 Cr, Ti가 주성분이고, E와 같은 판상의 η 상의 경우 γ' 과 동일한 Ni와 Ti가 주성분이다. 탄화물의 경우 F와 같은 Ti와 Ta가 주성분인 탄화물과 G와 같은 Cr이 주성분인 탄화물이 존재한다.

Fig. 2는 유지시간 및 온도에 따른 접합 시험편 모재부의 매크로 조직을 나타낸 사진이다. 1423K에서 유지시간의 증가에 따라 γ' 이 증가하고, 공정상의 크기는 커지는 반면 수는 줄어드는 것을 알 수 있다. 1473K에서 30분까지는 γ' 이 감소하다가 그 이후에는 증가하는 현상을 보이며, 공정상의 경우 0분에서 미세하게 존재하다가 30분 이후에는 나타나지 않았다. 또한 0분부터 괴상이 생겨 유지시간동안 계속 존재함을 알 수 있다.

Fig. 3은 온도 및 유지시간에 따른 γ' 변화를 SEM으로 관찰한 것이다. 1423K의 경우 유지시간이 증가할수록 γ' 이 커지고 덴드라이트 중심보다 덴드라이트 경계가 더 빠르게 성장함을 알 수 있었다. 1473K의 경우 덴드라이트 경계에서 30분까지 γ' 의 크기가 감소하나 그 이후에는 증가한다. 반면 덴드라이트 중심에서는 유지 시간이 증가할수록 γ' 의 크기가 증가함을 볼 수 있고, 1423K보다 크기는 작지만 더욱 균일하다는 것을 관찰할 수 있다. 형상은 테두리가 요철이 많은 모양에서 유지시간 증가에 따라 경계가 평활한 cubic모양으로 바뀐 후 약간 round 형태를 띤다.

Fig. 4는 1423K 및 1473K에서 존재하는 상의 변화를 나타낸 사진이다. 1423K에서 A와 같은 공정

상과 B와 같은 조대 η 상, C와 같은 무석출대와 D와 같은 침상이 존재하는데, 유지 시간이 증가할수록 공정상의 크기가 커지고 원모재에 존재하지 않던 무석출대의 영역이 점차 증가함을 알 수 있다. 또한 30분에서 공정상 주위에 미세한 침상이 생성되고, 60분 이상에서 일정하게 유지된다. 이 미세한 침상은 Fig. 5에서 보듯이 Ni와 Ti로 이루어진 것으로 보아 η 상이라 사료된다. 1473K에서는 1423K와 달리 여러 상으로 혼합된 괴상이 존재한다. Fig. 6은 1473K에서 존재하는 괴상을 확대한 사진으로 공정조성과 η 상으로 구성됨을 알 수 있다. 이 괴상의 경우 30분에서 생성되어 유지 시간이 증가함에 따라 그 양은 일정하나, 형태는 점차 구상화 됨을 알 수 있다. Fig.4 E와 같은 괴상 외부에 존재하는 공정상은 0분에서 미량 존재하나 30분 이상의 유지시간에서는 관찰되지 않는다.

Table.1 The chemical composition of GTD111

	C	Cr	Co	Mo	W	Ta	Ti	Al	Zr	B	Mn	Fe	Si	Cu	Ni
GTD111	0.1	14	9.5	1.5	3.8	2.8	4.9	3.0	0.03	0.012	0.2	0.5	0.3	0.1	Bal

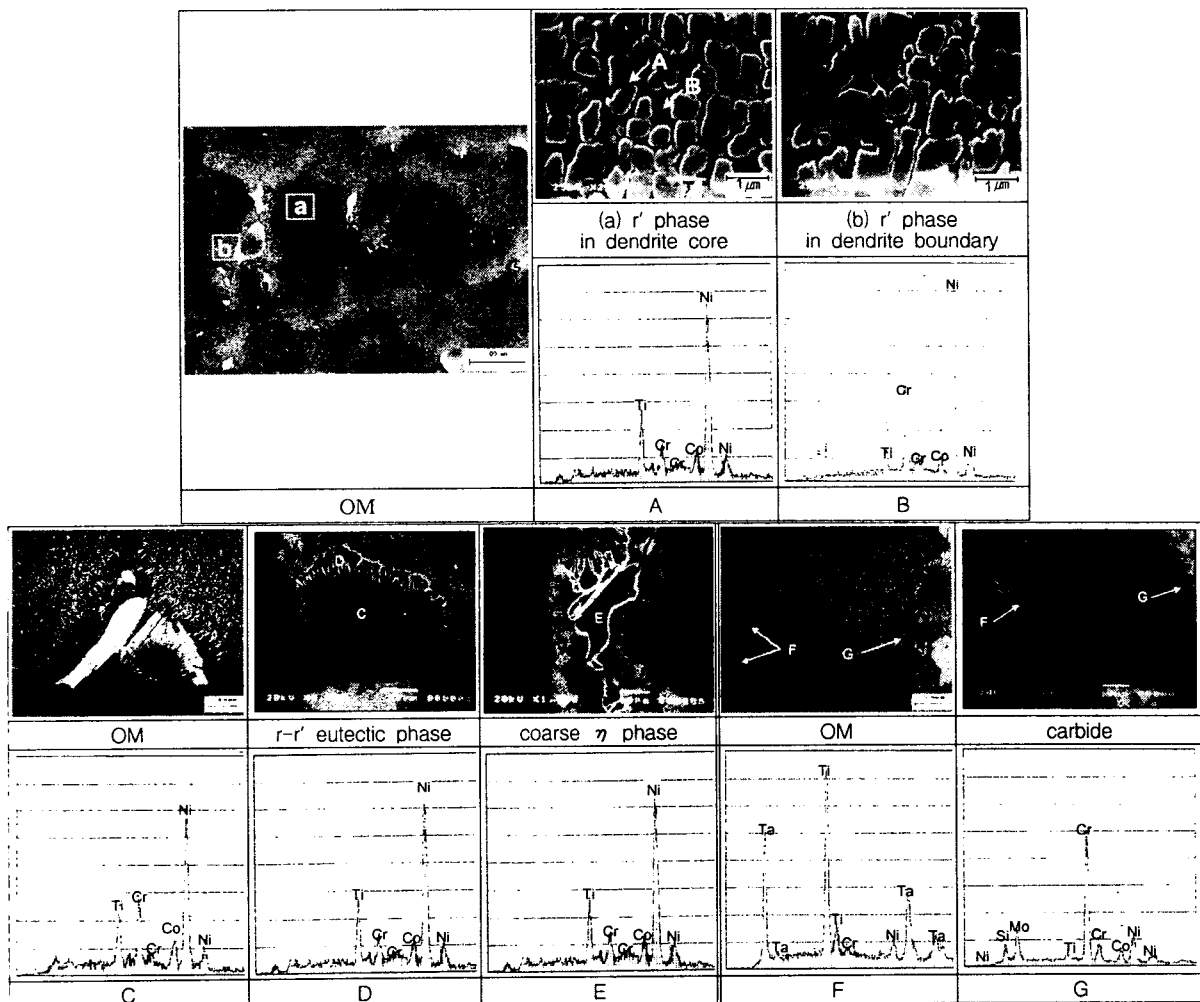


Fig. 1 Typical SEM microstructures and EDX analysis of phases in base metal

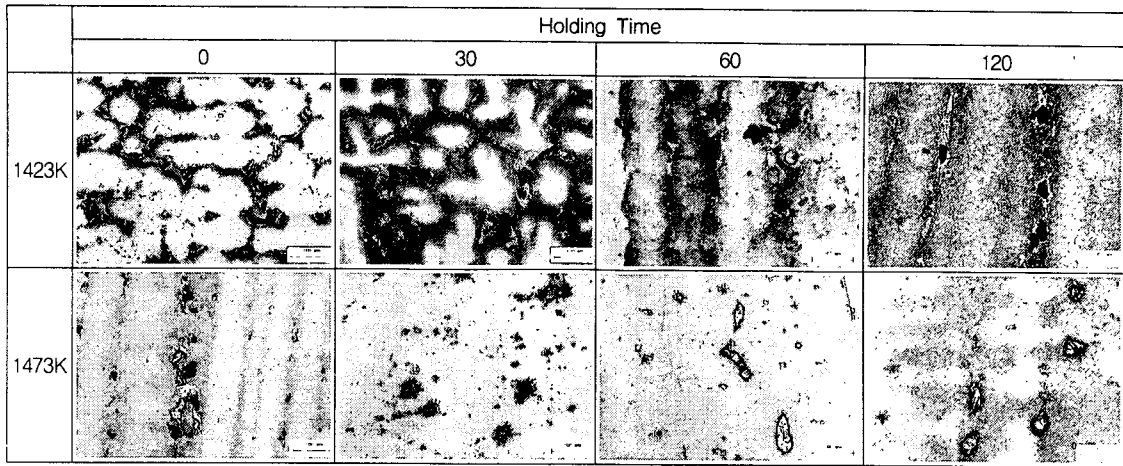


Fig. 2 Macrostructures of base metal with temperature and holding time.

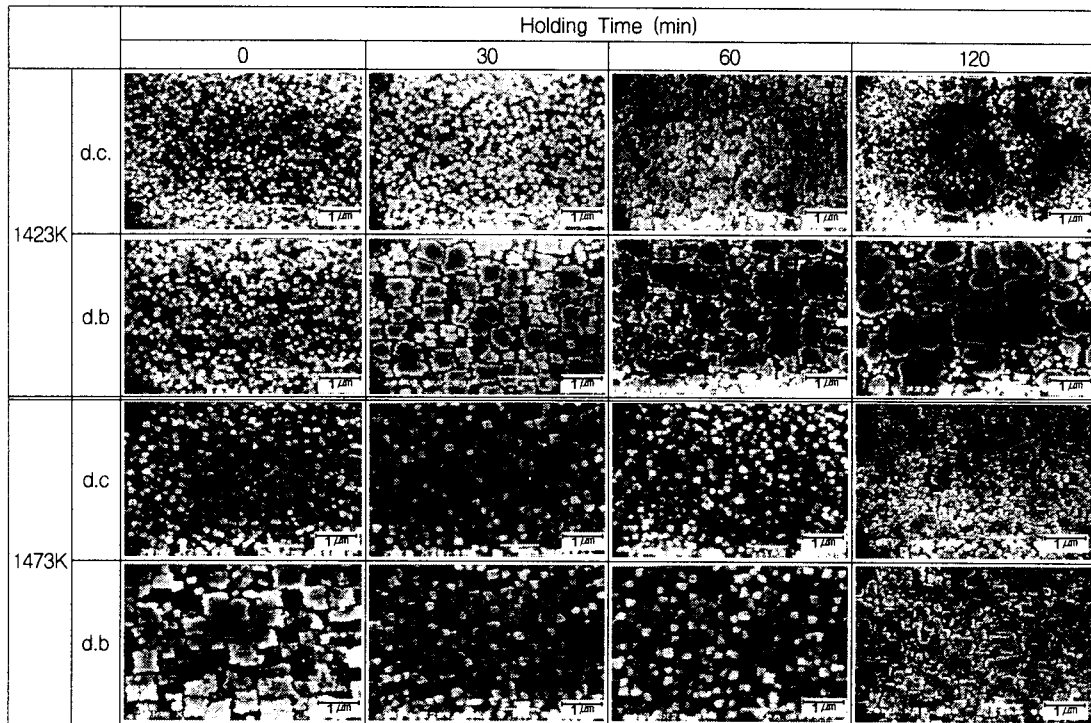


Fig. 3 The shape of Y' phase with temperature and holding time.

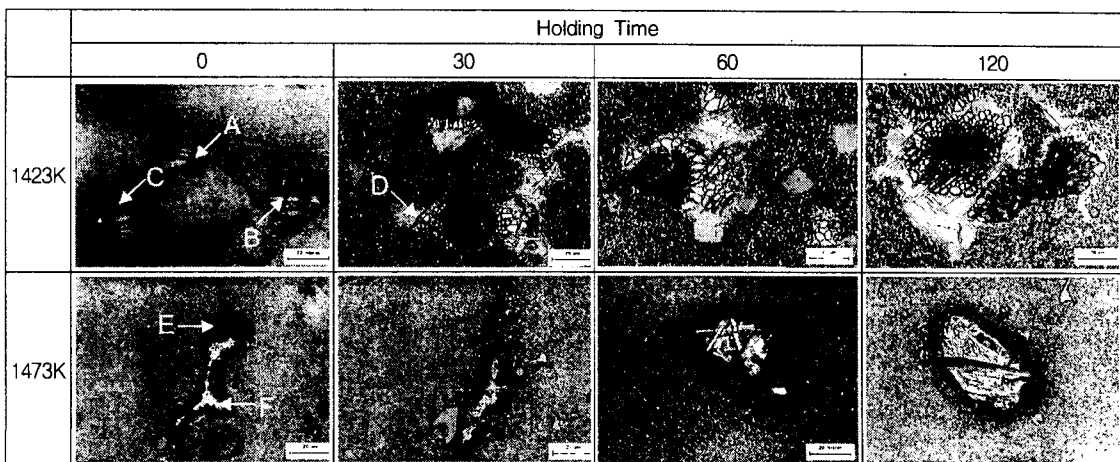


Fig. 4 Microstructures of phases with holding time and temperature

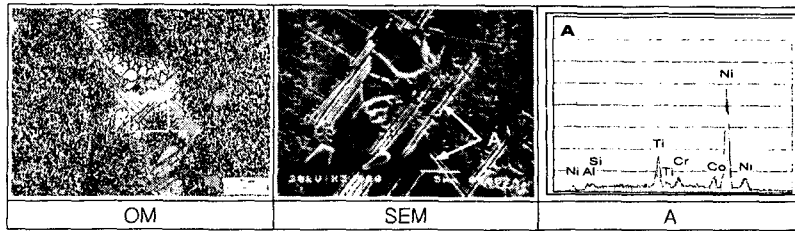


Fig. 5 Typical SEM microstructures and EDX analysis of fine plate η phase

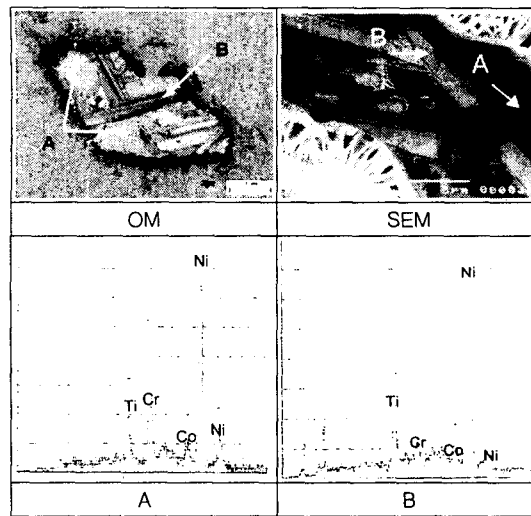


Fig. 6 Typical SEM microstructures and EDX analysis of (eutectic + η) phases