

일방향응고 Ni기 초내열합금의 GTD111의 천이액상화산접합 현상

Transient Liquid Phase Bonding Phenomena of Directionally Solidified Ni-Base Superalloy GTD111

김경남*, 권민석, 황형철, 강정윤, 김인배
부산대학교 금속공학과

1. 서론

산업용 가스터빈 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 천이액상화산접합을 실시한다. 그러나 Ni기 초내열 일방향응고합금인 GTD111을 고온에서 천이액상화산접합을 하였을 때 모재에 상변화가 발생하는 것이 관찰되었다.

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

2. 실험방법

본 연구에 사용된 모재로는 Ni기 초내열 일방향응고합금 GTD111으로서 Table.1에 그 화학조성을 나타내었다. 삽입금속으로는 두께 $40\mu\text{m}$ Ni기 비정질금속 MBF50을 사용하였으며, 그 화학조성은 Ni-17.8Cr-7.1Si-1.4B이다.

접합실험으로서는 모재 사이에 삽입금속을 각각 삽입하고 고주파 유도로에 장착한 후 $5 \times 10^5 \text{ torr}$ 의 진공분위기에서 1423K, 1473K에서 0~7.2ks 유지한 다음 공냉하였다. 접합부의 미세조직 현출을 위해 시험편을 접합부에 수직하게 절단하여 micro-polishing한 후 화학에칭(marble's reagent)을 행하였다. 각각의 접합조건 별로 온도 및 유지시간에 따른 접합부의 상의 변화를 OM 및 SEM으로 관찰하고, EPMA로 성분분석을 실시하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig.1는 각각의 접합온도 1423K과 1473K에서의 유지시간에 따른 미세조직의 변화를 나타낸 것이다. 각각의 접합온도 1423K와 1473K에서 1423K의 경우 모재의 덴드라이트 경계나 결정립계를 따라서 접합부와 연결되는 접합현상은 나타나지 않지만, 1473K의 경우 접합부에서 모재의 덴드라이트 경계나 결정립계와 연결되거나 분리되는 현상이 보인다. 1423K에서 0ks유지한 것은 접합부 중앙부에 띠 형태의 공정상이라 여겨지는 상이 존재하고, 유지시간 7.2ks에서는 접합부내에 생성상이 거의 관찰되지 않는다. 유지시간이 증가함에 따라 공정상의 폭이 감소하거나, 단절되는 현상이 나타나는데, 이는 액상의 삽입금속이 접합온도에서 유지하는 동안 용점저하 원소인 B, Si등이 모재 쪽으로 확산하여 등온응고에 의해 액상이 소멸된다고 사료된다.

Fig.2는 1423K에서 유지시간 7.2ks로 접합한 시험편의 접합부내 결정립계의 분포를 나타낸 것이다. 접합부내의 결정립계는 양모재와 서로 연결되어 있으며 새로운 결정립은 존재하지 않는다.

Fig.3과 Table.2는 Fig.2의 OM 상에 표시한 A, B, C부분의 EBSP(Electron Back Scattering Pattern) 분석결과를 나타낸 것이다. 이것으로부터 양모재(A, C)의 결정방위는 거의 같고, 접합부(B)의 결정방위는 모재와 $1.0 \sim 1.4^\circ$ 의 차이가 있으나, 이것은 오차 범위인 것으로 생각된다. 따라서 접합부와 모재는 동일한 결정방위를 가지는 것을 알 수 있다. 이는 등온응고 시 접합부의 고상은 양모재에서 에피택셜성장(Epitaxial growth)에 의해서 형성되는 것으로 판단된다.

Fig.1의 접합온도 1473K에서는 모재의 덴드라이트 경계나 결정립계를 따라서 반응이 집중적으로 일어나 접합부와 서로 연결되어 있고, 유지시간이 증가함에 따라 접합부는 분리되고 감소하나, 7.2ks가

지 유지하여도 액상이 잔류하고 있다.

Fig.4는 1473K×0ks 조건의 접합부에 존재하는 상을 EPMA 선분석한 결과를 나타낸 것이다. 여기서 주로 Cr, B, Ti, Al, Si 피크가 검출되는 것으로 보아 Cr계 boride 및 Cr계 carboride, TiAl, TiSi계 화합물 등 다양한 상이 존재한다. 이는 용융삽입금속과 모재와 반응하여 모재표면이 용융되면서 이러한 혼합상들이 형성되는 것으로 사료된다.

Fig.5는 1473K×0ks 조건의 접합부와 모재의 EPMA 결과를 나타낸 것이다. (a)는 접합부, (b)는 계면에서 멀리 떨어진 모재의 결정립계에 존재하는 상, (c)는 덴드라이트 경계에 형성하는 상들을 나타낸 것이다. 접합부와 모재의 결정립계에 존재하는 상은 B 및 C의 피크가 높지만, 덴드라이트 경계에 존재하는 상은 C의 피크만 높게 나타난다. 이는 B이 접합과정 중 용융된 결정립계를 따라 이동하였다고 판단된다.

모재의 액화온도를 검토하기 위하여, 각각 1433K와 1443K에서 가열하고 퀴칭한 후 결정립계의 상 변화를 검토하여 보았다. 그 결과를 Fig.6에 나타낸다. 1433K에서는 원모재의 결정립계에서 나타나는 공정상 및 η상 등이 그대로 존재하지만, 1443K의 결정립계에서는 공정상이 사라지고 새로운 상이 형성되며, 특히 액화된 흔적(화살표로 표시된 부분)이 관찰된다. 따라서 1443K에서 액화가 시작되는 것으로 판단된다.

각각의 접합온도 1423K와 1473K에서 액화가 시작되는 온도인 1443K에서 용융삽입금속과 모재의 결정립계 및 접합부의 액화에 의해 접합현상이 다르게 나타나며, 1473K에서 7.2ks로 장시간 유지한 후 액상은 B에 비해 상대적으로 확산속도가 느린 Ti가 잔존하여 응고 되기 때문이라 사료된다.

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

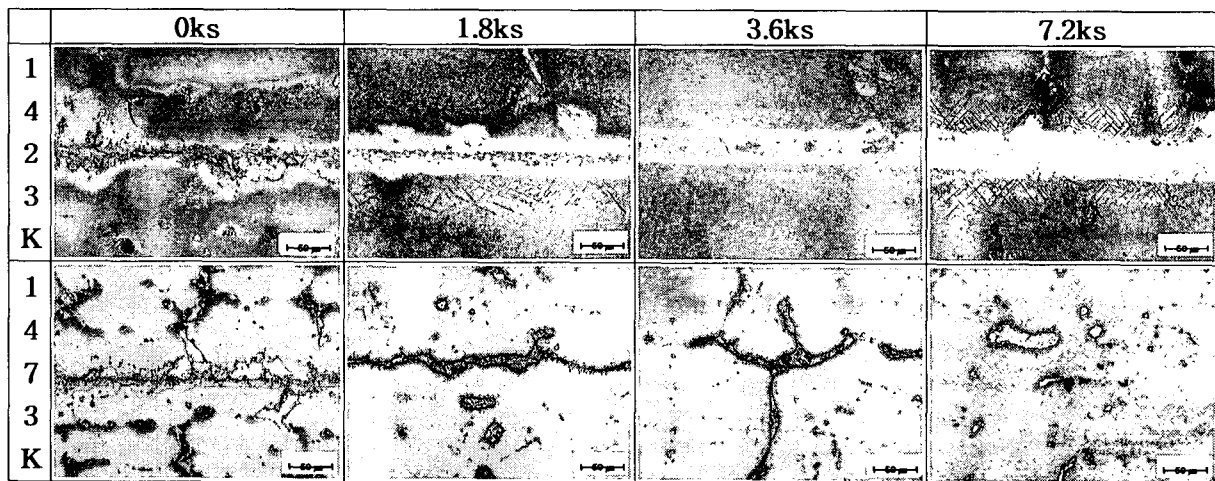


Fig.1 Changes of the microstructures in bonded interlayer with bonding temperatures and holding times.

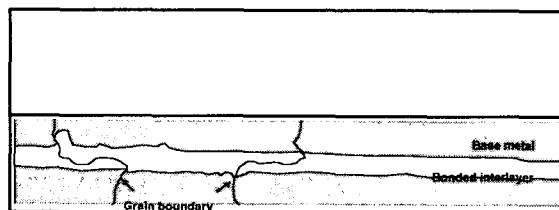


Fig.2 Microstructure and schematic diagrams of grain boundary of joint bonded for 7.2ks at 1423K.

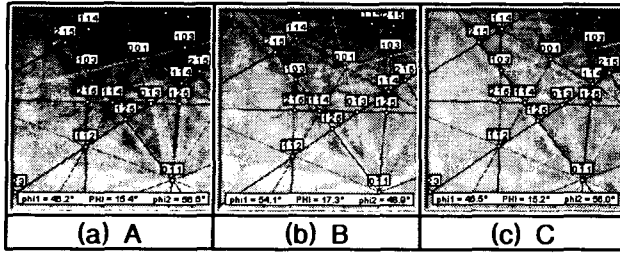


Fig.3 EBSD results of grain boundary of joint bonded for 7.2ks at 1423K.

	ND	LD	TD
A	92.6 °	59.4 °	3.3 °
B	92.5 °	59.4 °	3.1 °
C	93.4 °	57.8 °	2.3 °

Table.2 EBSD results of grain boundary of joint bonded for 7.2ks at 1423K (ND:Normal Direction, LD:Longitudinal Direction TD:Transverse Direction).

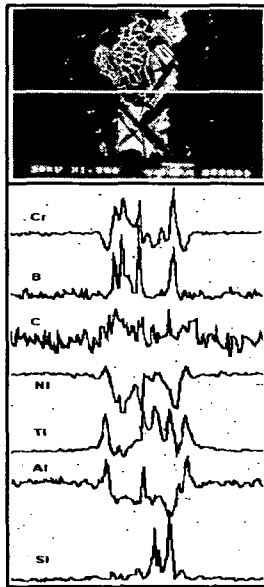


Fig.4 EPMA analysis of the phase bonded for 0ks at 1473K.

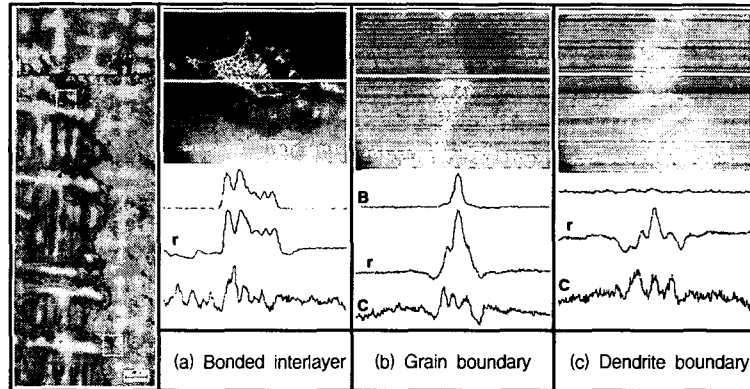


Fig.5 EPMA analysis of the phases in Bonded interlayer, Grain boundary and Dendrite boundary for 0ks at 1473K.

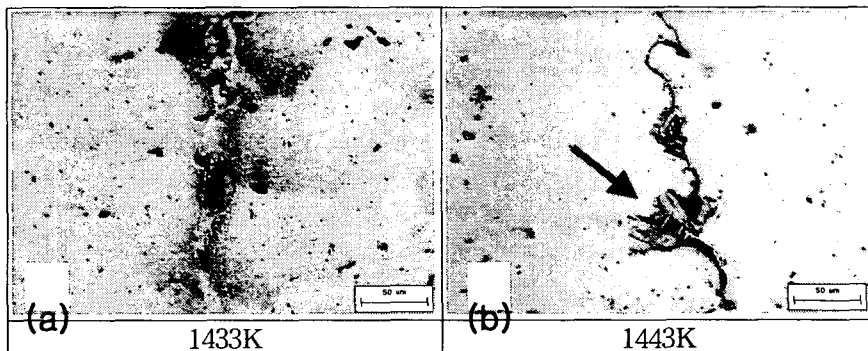


Fig.6 Change of eutectic phases quenched at 1433K and 1443K in grain boundary.