

# 일방향응고 Ni기 초내열합금 GTD111 천이액상확산 접합부의 열처리에 따른 미세조직 및 기계적 성질 변화

Change of microstructures & mechanical properties of the TLP bonded joint with heat treatment in directional solidified Ni-based superalloy GTD111

안진수, 황형철, 김영일, 강정운, 김인배  
부산대학교 금속공학과

## 1. 서론

본 연구에서는 가스터빈 bucket의 수리기술 중 절단된 부위를 재생하는데에 필요한 수리기술을 개발하기 위한 일환으로, 국내에 가장 많이 도입된 일방향응고합금인 GTD111을 대상으로하여 모재의 강화기구를 소실하지 않고 접합하는 TLP bonding을 선택하여 접합부의 조직제어를 위한 접합기술 및 기계적 성질을 개선하기 위한 균질화 및 시효 조건을 확립하는 것을 목적으로 하였다.

## 2. 실험방법

본 연구에 사용된 모재는 GTD111이고, 삽입금속으로는 두께 40 $\mu$ m Ni기 비정질금속 MBF 50, 80, 90을 사용하였으며, 그 화학조성은 Table 1과 같다.

접합실험으로서는 모재사이에 삽입금속을 삽입하고 고주파 유도로에 장착한 후  $5 \times 10^{-5}$  torr의 진공 분위기에서 1423K에서 120min을 유지한 다음 공냉하였다. 열처리 방법으로는 1423K에서 120min간 유지한 시편을 진공관상로를 이용하여 1393K에서 30hr를 유지한 다음 로냉하는 균질화처리 및 1423K에서 2hr유지 후 공냉하는 용체화처리를 하였다. 시효처리는 1단 시효의 경우 1113K $\times$ 16hr, 2단 시효의 경우 1113K $\times$ 10hr $\Rightarrow$ 1033K $\times$ 10hr, 3단 시효의 경우 1113K $\times$ 8hr $\Rightarrow$ 1033K $\times$ 16hr $\Rightarrow$ 922K $\times$ 24hr의 조건으로 시행하였으며, 각 단계사이에는 공냉하였다. 조직 현출은 화학에칭(marble's reagent)과 전해에칭(10% 과염소산알칼, 5V)으로 행하였으며, 모재 및 접합부의 상의 변화를 광학현미경 및 SEM으로 관찰하고, EDX 및 EPMA로 성분분석을 실시하였다. 또한 열처리한 시편은 micro vikers 경도기를 사용하여 하중 500g, 시간10sec의 조건으로 경도실험을 행하였다.

## 3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 접합층의 변화를 유지시간에 대하여 나타낸 그림이다. 유지시간이 증가함에 따라 등온응고가 진행되어 120min에서는 완료됨을 볼 수 있다. Table 2는 1423K $\times$ 120min으로 접합 완료한 시편에 대하여 다결정화 유무를 확인하기 위하여 그림과 같이 A, B, C 3부분을 EBSP로 결정방위를 해석한 결과이다. 양모재의 결정방위차는 1.0~1.4 $^{\circ}$ 의 차이가 있으나 이것은 오차범위라 생각되므로 등온응고시 접합부의 고상은 양모재에서 에피탁셜성장(Epitaxial growth)에 의해서 생성되는 것으로 판단된다.

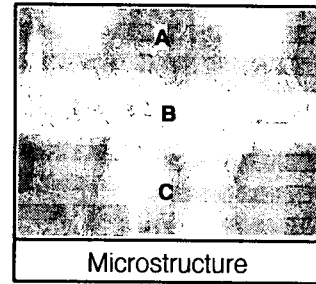
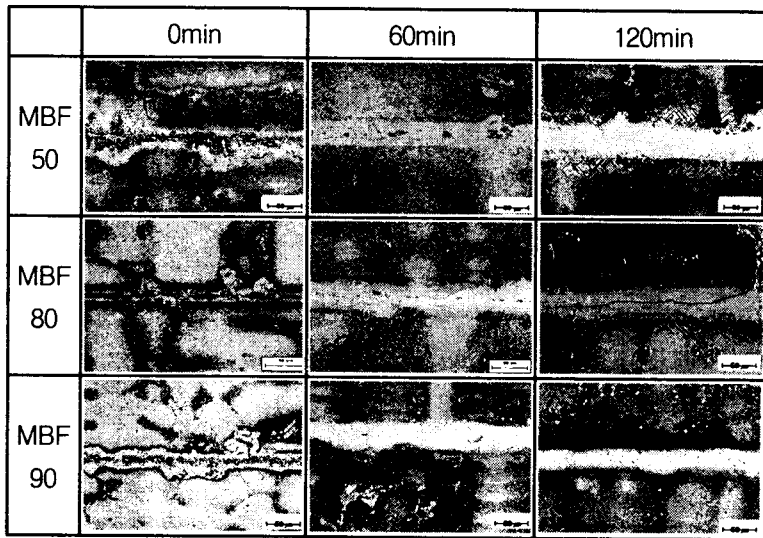
Fig. 2는 1393K에서 균질화처리한 경우 유지 시간에 따른 모재와 접합부의 미세조직의 변화를 SEM( $\times$ 20000)으로 관찰한 것이다. 모재 및 접합부 모두 유지시간이 증가함에 따라서  $\gamma'$ 의 체적률이 증가하는 것을 볼 수 있다. 한편 모재와 접합부에 형성된  $\gamma'$  상의 크기 및 형상을 비교하여 보면, 모재의 것은 사각형이지만, 접합부의 것은 구형에 가깝다. Fig. 3은 MBF80 및 90에 대하여 접합부/모재의 농도비를 EPMA로 정량분석한 결과를 비교한 것이다. 이것으로부터 1393K $\times$ 30hr의 균질화 열처리에 의해 접합부의 Ti농도는 모재의 95%이상에 달하지만 Al은 약 90%정도인 것을 알 수 있다. 반면에 삽입금속의 성분원소인 Cr 및 Co의 농도는 모재보다 높은 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 각각 1단, 2단, 3단 시효열처리 한 경우 모재 및 접합부의 미세조직을 비교한 것이다. 1단 시효열처리한 경우 접합부는 모재에 비하여  $\gamma'$  상의 체적률이 낮고, 미세한  $\gamma'$  상이 존재하고 있다. 이 미세한  $\gamma'$  상은 냉각도중에 석출한 것으로 생각된다. 2단, 3단 시효열처리 한 경우 접합부와 모재의 체적률이 비슷하다. Fig. 5는 시효조건에 따른  $\gamma'$  상의 체적률을 비교한 것이다. 모재 및 접합부 모두 1단, 2단, 3단 시효 열처리의 순으로 체적률이 높고 3단 시효 열처리에서는 원모재보다 체적률이 높은 것을 알 수 있다. Fig. 6은 시효조건에 따른 경도를 비교한 것이다. 모재 및 접합부

모두 1단, 2단, 3단 시효열처리 순으로 경도가 높고 2단 및 3단 시효 열처리에서는 원모재보다 경도가 높으며 오히려 접합부의 경도가 높음을 알 수 있다.

Table 1 Chemical composition of GTD111 & MBF series.

	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.
MBF50	-	17.8	-	-	-	-	-	-	-	1.4	-	-	7.1	-	Bal.
MBF80	-	15.5	-	-	-	-	-	-	-	3.7	-	-	-	-	Bal.
MBF90	-	-	20.0	-	-	-	-	-	-	2.7	-	-	4.0	-	Bal.



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

Fig. 1 Change of microstructures of bonded interlayer with holding time at 1423K.

Table 2 EBSD results across bonded interlayer with MBF50 1423K×120min.

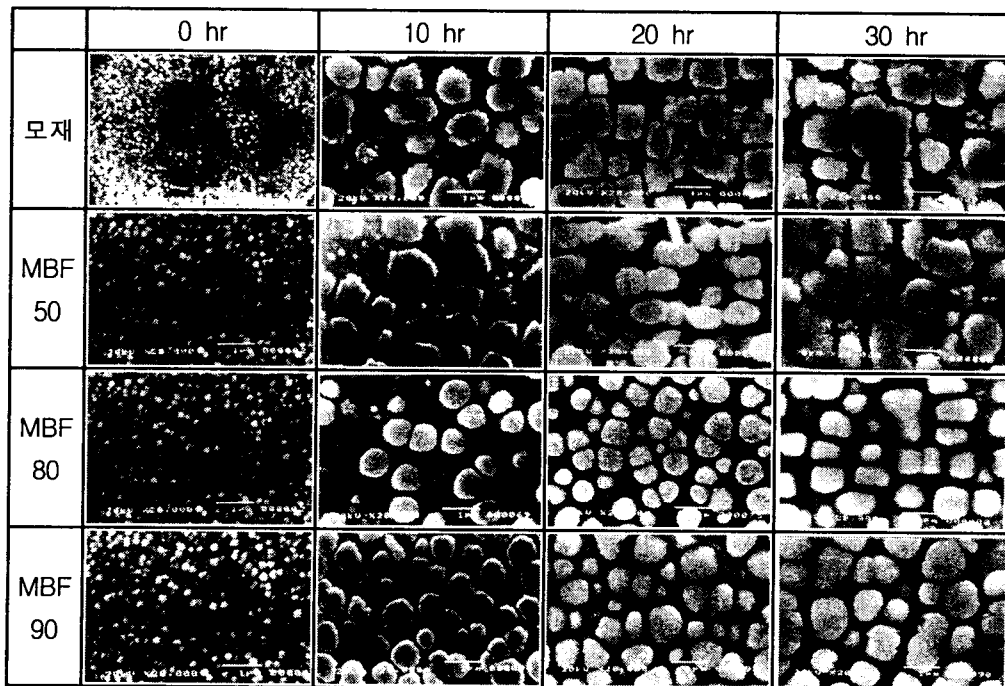


Fig. 2 Changes of  $\gamma'$  with homogenization time at 1393K.

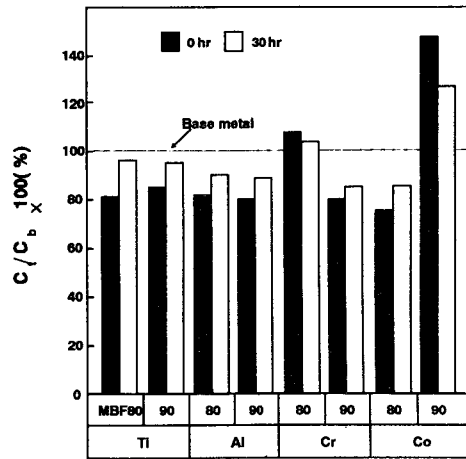


Fig. 3 Changes of elements' C/Cb with homogenizing time.

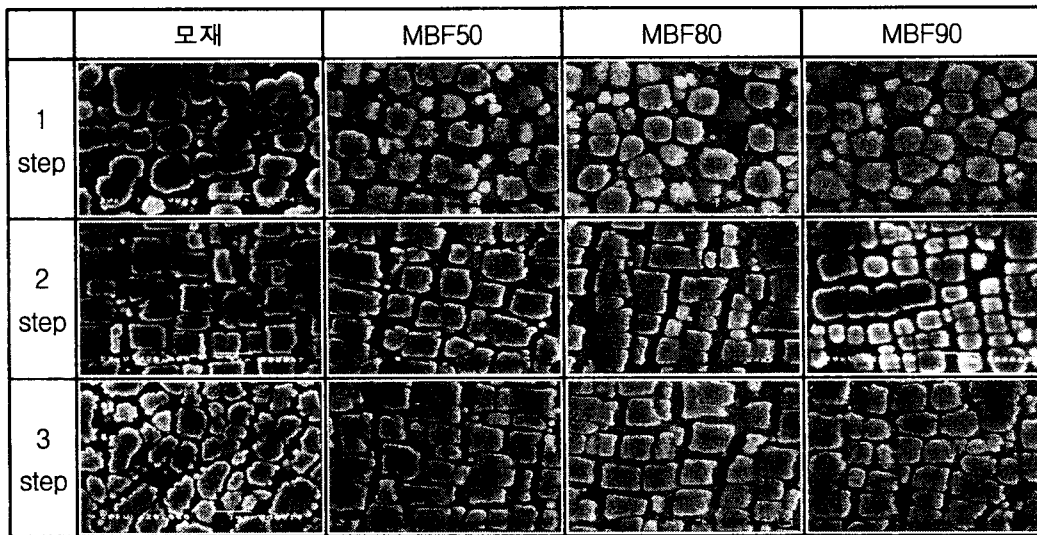


Fig. 4 Microstructures comparison of base metal and bonded interlayer with aging steps.

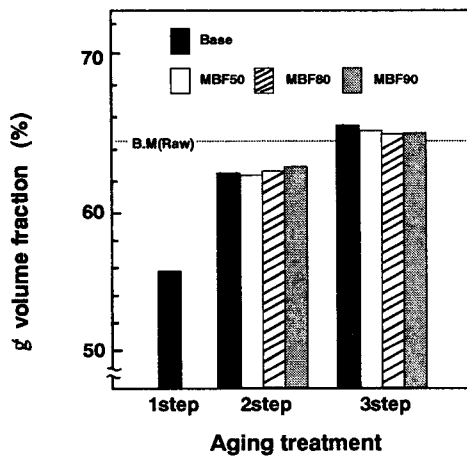


Fig. 5 Changes of  $\gamma'$  volume fraction of base metal and bonded interlayer with aging steps.

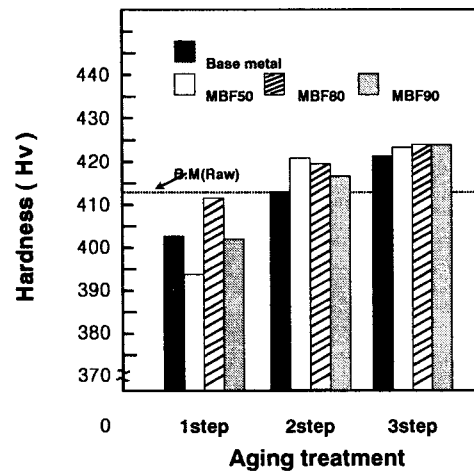


Fig. 6 Changes of hardness of base metal and bonded interlayer with aging steps.