

공정반응을 이용한 천이액상확산접합 공정의 접합현상
A Bonding Phenomenon of Transient Liquid Phase Diffusion
Bonding Process in the use of Eutectic Reaction

*이영진, 권민석, 황형철, 강정윤, 김인배
부산대학교 금속공학과

1. 서론

산업용 가스터빈 bucket 및 blade의 재료로 쓰이고 있는 일방향응고 Ni기 초내열합금은 고온에서의 강도와 내식성이 뛰어난 재료이지만, 용융용접시 용접부에서 다결정화하여 용접 균열이 발생하는 단점을 가지고 있어 다른 방향으로의 수리기술이 필요하다. 이에 그 방법으로 모재를 용융시키지 않고 접합하는 천이액상확산접합을 채택하였다.

본 연구에서는 Ni기 초내열합금을 사용하여 천이액상확산접합시 일부 고온구간에서 냉각속도를 달리하여 공정반응을 유도한 후 접합층 및 접합부 근방 모재부의 변화를 관찰하여 최적의 접합조건을 결정하는 것을 목적으로 두었다.

2. 실험방법

사용된 모재는 GTD111이고 화학조성은 Table 1과 같다. 삽입금속으로는 두께 40 μ m Ni기 비정질 금속 MBF35, 50을 사용하였고, 그 화학조성은 MBF35의 경우 Ni-7.5Si-2.1B이며, MBF50의 경우 Ni-17.8Cr-7.1Si-1.4B이다.

접합실험으로서는 모재사이에 삽입금속을 삽입하고 고주파 유도로에 장착한 후, 5×10^{-5} torr의 진공 분위기에서 1473K까지 가열한 후, 유지시간 없이 냉각속도를 400K, 100K, 66K, 40K, 10K로 달리하여 1273K까지 냉각 후 공냉하였다.

조직현출은 화학에칭(marble 용액)과 전해에칭(10% 과염소산알콜, 5V)으로 행하였고, 조직관찰은 OM 및 SEM으로 실시하였다. 생성상에 대한 분석은 EDX 및 EPMA를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig 1은 냉각속도에 따른 MBF35와 MBF50의 접합부 조직 사진을 거시적으로 나타낸 것이다. 이것으로부터 Fig2에서 보는 바와 같이 400K/min에서 혼합상이 관찰되나 100K/min에서는 미세한 공정상이 관찰됨을 알 수 있다. 또한 냉각속도가 느려짐에 따라 공정상 형상이 옆으로 늘어진 형상을 가지며, 크기가 점점 커지고 있음을 알 수 있다. 그리고 Fig 3에서 보는 바와 같이 냉각속도가 느려질수록 접합부 근방의 grainboundary에 존재하는 상이 괴상에서 공정상으로 바뀌어 감을 알 수 있다. 두 삽입금속간 냉각속도에 따른 접합양상을 비교하면 큰 차이는 없으나, 아주 느린 냉각속도에서 공정상의 크기가 MBF50이 MBF35보다 큰 것을 알 수 있다.

Fig 4는 접합부를 더욱 자세히 관찰하기 위해 SEM으로 본 미세조직을 나타낸 것이다. 이것으로부터 3가지 상이 관찰됨을 알 수 있다. EDX 분석 결과 a상은 Cr계 화합물, b상은 기지인 γ , c상은 조대 γ' 으로 생각된다. 그리고 냉각속도가 느려짐에 따라 a상이 감소하고 있음을 알 수 있다. Fig 5는 이러한 a상을 더욱 자세하기 분석하기 위해 EPMA를 실시한 결과이다. 이것으로부터 a상은 Cr과 B의 Cr-boride인 것으로 생각된다. Fig 6은 이러한 Cr-boride의 체적률을 냉각속도에 따라서 나타낸 것이다. 이것으로부터 냉각속도가 느려질수록 Cr-boride의 체적률은 감소함을 알 수 있다.

Fig 7은 냉각속도를 10K/min로 한 경우, 접합부 근방의 양모재와 접합부내에 형성된 γ' 상 형상을 비교한 것이다. 그림에서 접합부 내의 (b)은 γ' 상이 타원형 형상을 띠고 있고, 모재부 (a) 및 (c)는 사각형 형상을 띠고 있음을 알 수 있다. Fig 7은 이러한 형상의 차가 생기는 원인을 검토하기 위해 EPMA를 실시한 결과이다. 이것으로부터 접합부의 공정상은 Ti 농도가 높고, Al 농도가 낮으며, 모재부는 반대로 Ti 농도가 낮고 Al 농도가 높음을 알 수 있다. 그러므로 γ' 상의 형상이 차이가 나는 것은 Ti와 Al의 농도차에 기인한 것으로 생각된다.

일반적으로 1423K에서는 접합부에 Ni-B의 공정상이 생성되지만, 1473K에서는 접합부에 혼합상이 생긴다. Fig 8은 이러한 상 변화가 모재의 액화와 관계가 있을 것으로 생각되어 우선적으로 모재의 액화온도를 파악하기 위해 1433K와 1443K에서 가열하고 퀴칭한 미세조직 사진을 나타낸 것이다. . 이것으로부터 1433K에서는 원모재에서 나타나는 공정상 및 η 상 등이 그대로 존재하지만, 1443K의 결정립계에서는 공정상이 사라지고 새로운 상이 형성되며, 특히 액화된 흔적(화살표로 표시된 부분)이 관찰된다. 따라서 1443K에서 액화가 시작되는 것으로 생각된다. 그러므로 1473K에서 액화된 상의 Ti와 액상 삼입금속의 반응으로 Ti가 접합부로 유입되어 혼합상이 생기는 것으로 생각된다. 그리고 이러한 혼합상이 냉각속도가 느려질수록 Ti를 다량으로 가진 공정상으로 바뀌어가는 것으로 생각된다.

Cr-boride는 이러한 공정상이 먼저 응고되어 삼입금속에 함유된 B이 최종적으로 남게되고 이러한 B과 Cr이 결합하여 생성되는 것으로 생각된다.

Table 1 Chemical composition of directional solidified Ni-base superalloy

C	Cr	Co	Mo	W	Nb	Ti	Al	B	Zr	others
0.1	14	9.5	1.5	3.8	-	4.9	3.0	0.01	1.5	2.8Ta

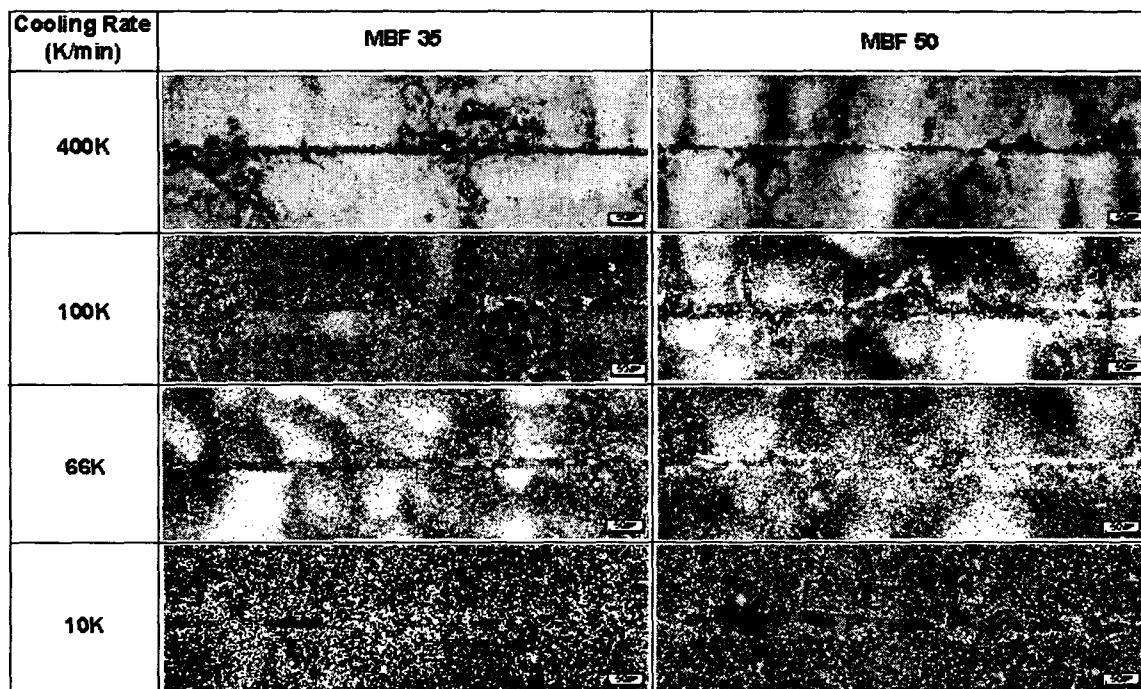


Fig 1. Change of macrostructures with cooling rate (1473K×0min)

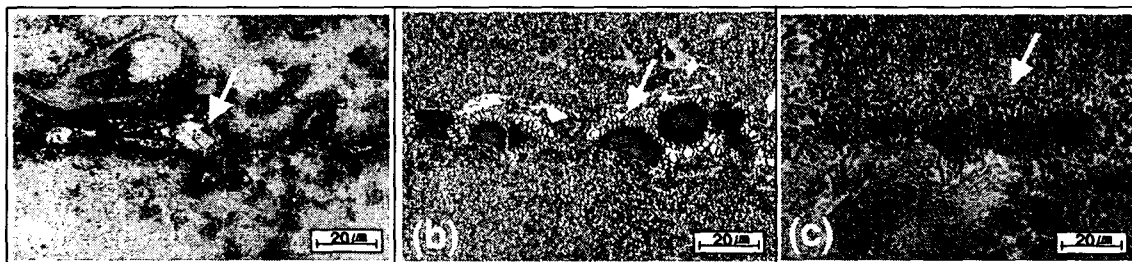


Fig 2. Change of microstructures in the bonded interlayer with cooling rate (1473×0min)
(a) 400K/min (b) 100K/min (c) 10K/min

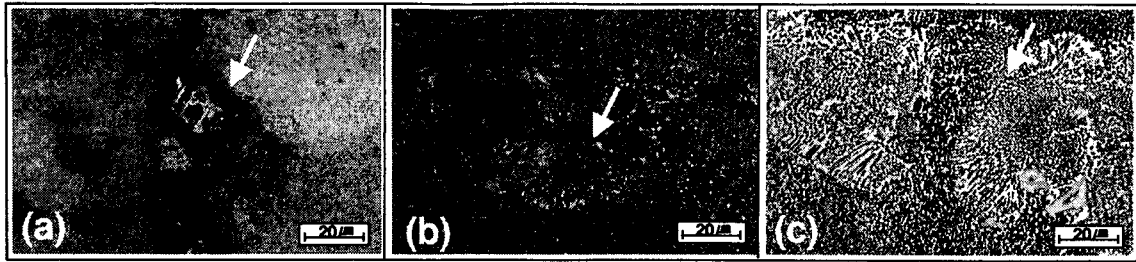


Fig 3. Phase shape of grainboundary in the vicinity of the bonded interlayer with cooling rate (1473×0min) (a) 400K/min (b) 100K/min (c) 10K/min

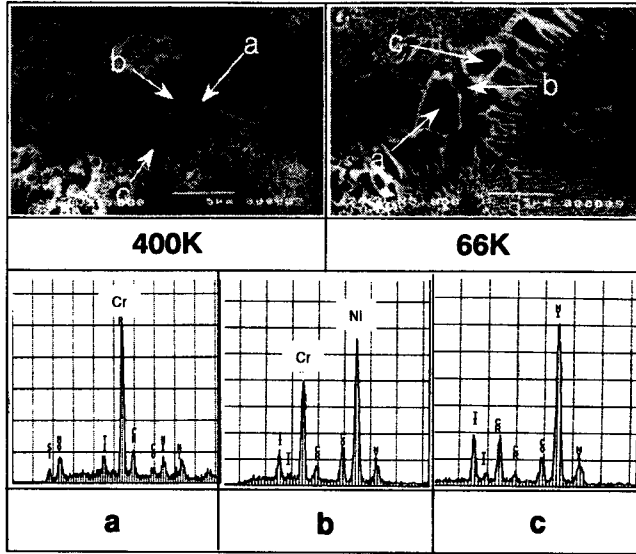


Fig 4. Microstructure and EDX result of the bonded interlayer

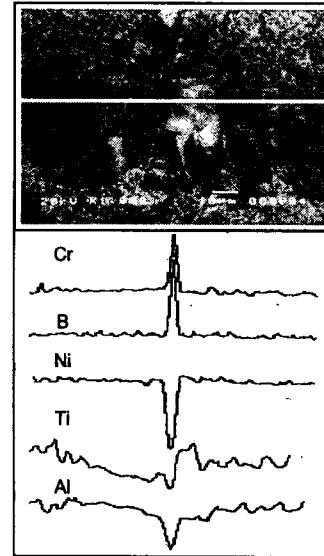


Fig 5. EPMA Result of Cr-compound formed in the bonded interlayer

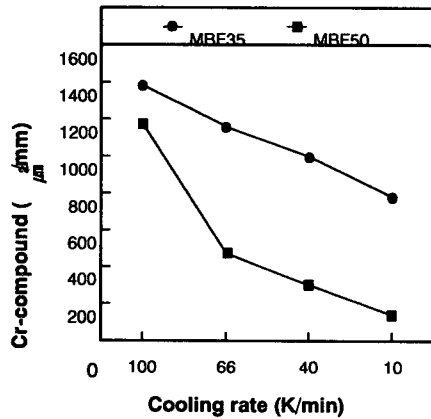


Fig 6. Change of Cr-boride volume fraction with cooling rate

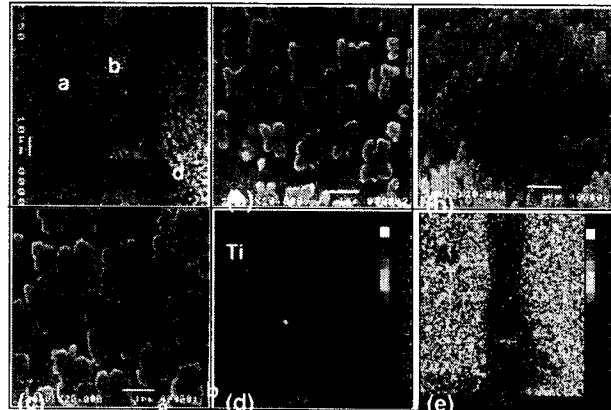


Fig 7. γ' shape and EPMA mapping result formed in the bonded interlayer and base metal(10K/min)

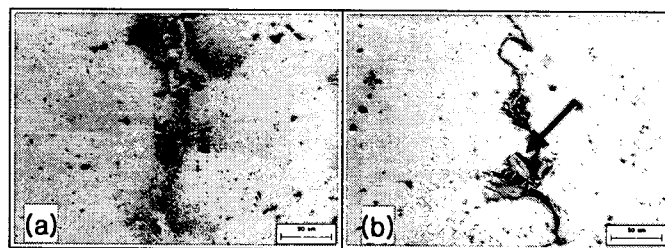


Fig 8. Change of eutectic phase quenched at 1433K and 1443K in grain boundary