

Ni기 초내열합금의 Wide gap 천이액상확산접합용 모재성분+B+Ti 삽입금속 개발을 위한 기초연구

A Fundamental Study on the Development of Insert Metal added Boron and Titanium to Base Metal for Wide Gap Transient Liquid Phase Diffusion Bonding of Ni-Base Super alloy

강 재영*, 권 민석, 이 희근, 이 봉근, 강 정윤, 김 인배
부산대학교 재료공학부

1. 서 론

Ni기 일방향응고 초내열합금은 고온에서의 강도와 내식성이 우수하여 산업용 가스 터빈 및 blade의 재료로 사용되고 있다. 그러나, 용융용접을 실시할 경우 용접부에서 다결정화 하여 용접균열이 발생하는 문제가 있어 이에 대한 대안으로 천이액상확산접합법을 실시하였다. 이 과정에서, Wide gap의 경우 Ni기 비정질 삽입금속인 MBF-50이 사용되어졌으나, 모재와의 성분 차이로 인하여 등온응고 완료까지 장시간이 소요되는 문제가 발생하였다.

따라서, 본 연구에서는 Ni기 일방향응고 초내열합금인 GTD-111의 수리기술로 사용할 천이액상확산접합용 삽입금속으로, 기존의 MBF-50보다 균질화 열처리 시간 및 등온응고 완료시간을 단축시키기 위해 모재와 유사한 성분의 삽입금속의 개발 방안을 검토해 보았다.

2. 실험 방법

본 연구에 사용된 모재로는 Ni기 일방향응고 초내열합금인 GTD-111으로서, Table. 1에 그 화학조성을 나타내었다. 삽입금속은 모재인 GTD-111에 일정량의 B과 Ti를 첨가하여 고주파용해로에서 1×10^{-5} 의 진공분위기로 용해하여 제조한 후, Mac Science사의 고온시차주사열량기(DSC)를 사용하여 용점측정을 실시하였다. 접합실험은 모재에 폭 $300 \mu\text{m}$, 길이 3mm의 gap 기계가공하고 제조한 삽입금속을 끼워넣어 진공 고주파용도로에 장착한 후 5×10^{-5} torr의 진공분위에서 접합온도 1403K, 유지시간 3.6ks로 합실험을 행하였다. 접합부 미세조직 현출을 위

해 시험편을 접합부에 수직하게 미세절단하여 연마를 하였다. 삽입금속 및 접합시편의 미세조직 현출을 위해, Marble 용액(10g $\text{CuSO}_4 + 5 \text{HCl} + 50\text{ml H}_2\text{O}$)을 사용하여 수초간 화학에 하여 광학현미경(OM)과 주사식전자현미경(SEM)으로 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

GTD-111 합금의 천이액상확산접합 과정중 1423K 이상의 온도에서, 모재조직의 텐드라이트 경계 및 결정입계 부위에서 공정상 및 η 상이 혼합상으로 변하는 이유를 검토하기 위하여 1423K에서 1443K까지 퀴칭실험을 실시하고 온도에 따른 조직의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 관찰결과, 1423K에서 액화가 부분적으로 발생하고 1433K에서 완전히 액화가 일어나는 것으로 판단된다. 이 액화현상에 기여하는 상인 η 상 및 조대 γ' 상들의 공통점은 Ti의 농도가 높다는 것을 참고하여 모재에 Ti를 첨가하면 용점이 낮아질 것으로 예상되어 모재에 Ti를 첨가하여 용점의 변화를 측정하였다. 모재성분에 Ti를 7, 9, 15, 18wt% 첨가하여 삽입금속을 제조하고 DS를 이용해 용점의 변화를 측정하였다.

Fig. 2는 Ti의 첨가량에 따른 냉각시 용점의 변화를 나타낸 것이다. Ti의 함량 증가에 따라 액상선과 고상선이 감소하고 있으나, 그 감소폭이 50K 가량으로 비교적 작게 나타나며, MBF5의 용점보다 최소 80K 이상 높게 나타남을 알 수 있다. Fig. 3에서는 Ti의 첨가량 변화에 따른 DSC 곡선의 변화와 OM조직을 비교하여 관찰해 보았다. Ti의 함량이 9wt%일 때 공정상이 생성되기 시작하며, 18wt%일 때 가장 많이 생성되

나, 초정 및 공정상이 고온영역에서 생성되므로 모재성분에 Ti만 첨가한 삽입금속은 MBF50을 대체하기에 적절치 못한 것으로 판단된다.

이에 추가적으로 모재에 용점 저하원소인 B를 첨가하여 삽입금속을 제조하였다. Fig. 4에서는 모재에 Ni-15%B 모합금을 이용하여 B를 1, wt%를 첨가하고, Ti를 함께 첨가하여 DSC로 냉각시 용점을 측정하여 결과를 나타내었다. Ti과 B를 함께 첨가할 경우, 2wt% B 첨가시 Ti을 7wt% 이상 첨가하면 용점이 상승하는 효과를 보여 Fig. 5에서 7wt% Ti 첨가시 B의 첨가량 변화에 따른 DSC 곡선의 변화와 OM조직을 비교하여 관찰해 본 결과, B의 첨가량이 증가할수록 생성상의 종류가 적어지고, 공정상이 증가하여 용점이 저하함을 알 수 있다. 적절한 B과 Ti의 첨가량을 선정하기 위하여 내삽법으로 일부의 실험결과를 가지고 시뮬레이션한 결과를 Fig. 6에 나타낸다. 이를 참고로 하여 시뮬레이션에서 얻어진 모재성분+3wt%B+6wt%Ti 전후를 D로 용점을 측정하고 미세조직을 관찰하여 보았다. 그 결과를 Fig. 7에 나타낸다. 이것으로부터도 모재성분+3wt%B+6wt%Ti이 용점이 낮고 정조직을 형성하고 있음을 알 수 있다. 모재성분+3wt%B+6wt% Ti를 첨가한 경우 가장 낮 1436K의 용점이었다.

Fig.8은 접합온도 1403K, 유지시간 3.6ks의 조건으로 Ni기 비정질 삽입금속인 MBF50을 사용하여 접합한 경우와 새로운 삽입금속인 모재성분+3wt%B+6wt% Ti 삽입금속을 사용하여 접합한 경우의 접합부 거시조직을 비교한 것이다. MBF50의 조성은 Ni-17.8Cr-7.1Si-1.5B이다. 새로운 삽입금속을 사용하여 접합한 경우와 MBF50을 사용하여 접합한 경우의 접합부를 비교하면, 새로운 삽입금속을 사용하여 접합한 경우 삽입금속과 모재의 반응에 의하여 접합부의 폭이 넓어지고, 접합부 내의 용고완료부로 생각되는 백색의 기지상도 많이 나타났다. 이 영역은 모재의 기지와 유사한 조성의 상으로 생각되어, 차후 유지시간을 증가시켜 본다면 등온용고 및 균질화 열처리 시간을 단축시킬 수 있을 것으로 생각된다.

4. 결 론

등온용고 완료시간 및 균질화열처리 시간의 단축을 위해 액화반응을 일으키는데 기여하는 Ti 및 용점저하원소인 B를 원모재에 첨가해 삽입금속을 제조하여 본 결과, 액화반응의 요인으로 용점저하에 기여할 것이라 생각했던 Ti를 첨가한 삽입금속은 접합부 내 생성상 및 공정상의 생성온도가 높아 용점저하의 효과가 미미한 것으로 판단되었다. B과 Ti를 함께 첨가한 경우는 Ti의 함량이 7wt%를 기준으로 용점이 오히려 상승하는 효과가 있어 새로운 삽입금속으로 적절치 못한 것으로 사료되어, 시뮬레이션(내삽법)을 이용하여 적절한 조성을 계산하여 본 결과 모재성분에 3wt% B과 6wt% Ti를 첨가한 삽입금속이 용점이 가장 낮게 나타났다. 실제로 삽입금속을 제조하여 본 결과 용점은 Ni기 비정질 삽입금속인 MBF50보다 15K정도 높게 나타났으나, 이를 이용하여 접합실험을 행한 결과 접합부 내의 기지조직이 모재와 유사하여, 새로운 삽입금속으로 사용이 가능할 것으로 생각된다.

후 기

본 연구는 한국과학재단 기초과학연구사업 연구비로 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

Table 1. Chemical composition of base metal

Base metal	Element (wt%)													
	Cr	Co	Ti	Al	Mo	W	Ta	Fe	Mn	Si	C	Cu	B	Ni
GTD111	14	9.5	4.9	3.0	1.5	3.8	2.8	0.5	0.2	0.3	0.1	0.1	0.012	bal.

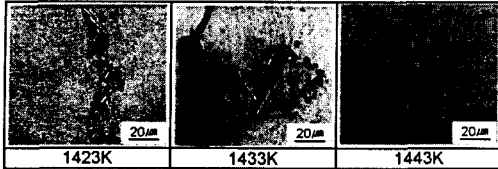


Fig.1 Microstructures at dendrite or grain boundary after water quenching at each temperature

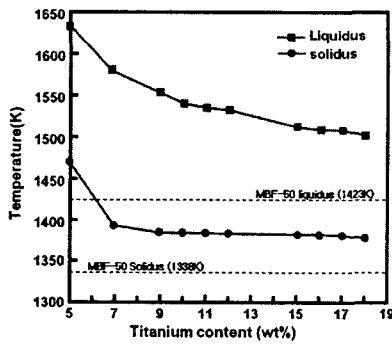


Fig. 2 The effect of Ti content on melting point.

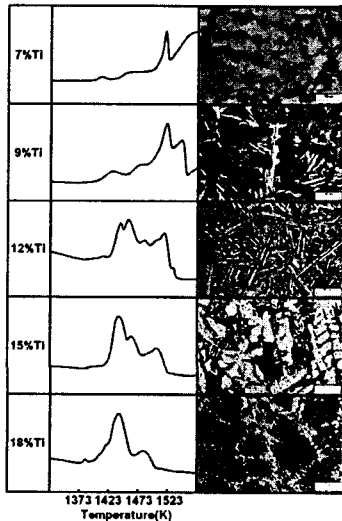


Fig. 3 Change of microstructures and DSC curve with Ti content.

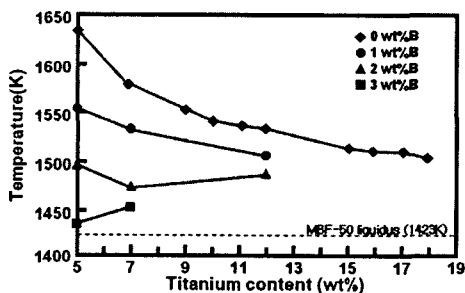


Fig. 4 The effect of B and Ti content on melting point.

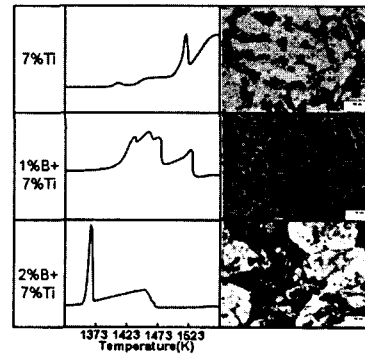


Fig. 5 Change of microstructures and DSC curve with 7wt% Ti + B content.

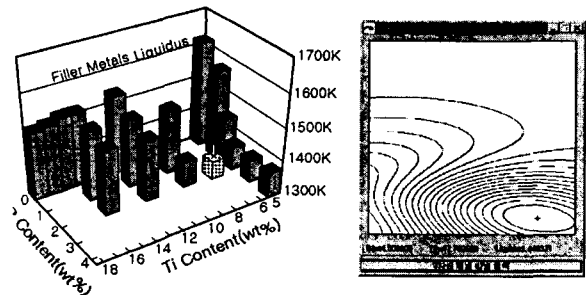


Fig. 6 Alloy design with modification method.

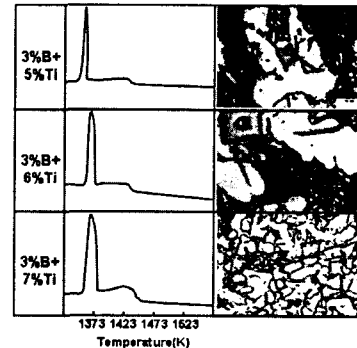


Fig. 7 Change of microstructures and DSC curve with 3wt% B + Ti content.



Fig. 8 Comparison of Bonded interlayer using MBF50 and new insert metal