

Ni기 초내열합금, GTD-111 천이액상확산접합부의 미세조직에 미치는 냉각속도의 영향 Effect of Cooling rates on the Microstructure in TLP bonded interlayer between Ni-base Superalloy, GTD-111

*이 희근, 이 봉근, 한 태교, 김 성준, 강 정윤

* 부산대학교 재료공학과

1. 서 론

산업용 가스터빈의 버켓용 Ni기 초내열합금 GTD-111의 수리기술로서 천이액상확산접합법(Transient Liquid Diffusion Bonding Process, 이하 TLP접합법)이 각광받고 있다. 그러나 이 방법은 등온응고 완료까지 장시간이 소요되므로 접합시간을 단축할 수 있는 공정 개발이 필요하다.

특히 전년도 연구결과에 의해 1423K이상의 온도에서 GTD-111을 사용하여 TLP 접합시 덴드라이트 경계 및 결정입계에서 액화가 발생하여 액상삼입금속과 모재의 용해반응이 일어나 결정입계에 많이 존재하는 γ' 생성원소인 Ti과 Al이 접합부 및 결정입계에 다량으로 함유된다는 것을 알았다.¹⁾ 따라서 냉각속도를 제어한다면, 접합부에서 모재 덴드라이트 경계의 조직과 유사하게 $\gamma-\gamma'$ 공정반응이 일어나 단시간 접합이 가능할 것으로 예상된다.

따라서 본 연구에서는 TLP 접합법의 공정시간을 단축시키는 일환으로 TLP 접합 후 냉각속도를 변화 주었을 때 접합부 내 미세조직의 변화 확인하여 실 적용 가능성을 검토하였다.

2. 실험방법

13.3mPa의 진공분위기의 고주파로를 사용하여 접합온도 1428K~1478K, 냉각속도 400~10K/min로 변화하였다. 삼입금속으로 아몰퍼스 합금인 MBF35 (Ni-7.3wt%Si-2.1wt%B)와 MBF50 (Ni-19.5wt%Cr-7.3wt%Si-1.5wt%B)을 사용하였다. 접합 후 13.3mPa의 진공분위기에서 1393K의 온도로 균질화열처리를, 접합부 내 γ' 체적율을 높게 하기 위하여 3단시효 처리²⁾를 실시하였다.

접합부의 미세조직 현출을 위해 시험편을 접합부에 수직하게 미세절단하여 연마한 후 화학에칭(Marble용액)과 전해에칭(10%과염소산알콜)하였다. 생성상 관찰은 OM 및 SEM으로, 성분분

석은 EDX, EPMA로 실시하였고, 접합부내 입계의 형성상황을 파악하기 위하여, EBSP로 모재 및 접합부의 결정방위 관계를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 삼입금속 MBF 35와 MBF 50을 사용하여 1453K의 온도에서 접합 후 냉각속도를 변화를 주어 나타난 접합부 광학현미경 사진이다. 400K/min(공냉)에서는 혼합상과 Cr계 보라이드로 보이는 상이 존재하고 이를 EDX 및 EPMA를 이용하여 상분석한 결과, 혼합상 내 η 상과 (Cr,W,Mo)B, M(Ti,Ta)C 및 삼입금속 공정조직(Ni-NiSi), γ' 상(Ni-Al,Ti)이 존재하였다. 냉각속도가 느릴수록 혼합상은 감소하고 접합부내 $\gamma-\gamma'$ 공정상이 생성되었고 그 크기는 증가하다가 10K/min의 냉각속도에서 full $\gamma-\gamma'$ 공정상이 생성되었다. 반면 (Cr,W,Mo)B의 양은 Fig. 2와 같이 두개의 삼입금속 동일하게 감소하는 경향을 나타내었다.

Fig. 3은 MBF 50을 사용, 10K/min의 냉각속도로 접합한 시편의 접합부 근방의 대표적인 미세조직을 나타낸 것으로, A는 모재, B는 접합부와 모재의 경계, C는 접합부 내부의 γ' 상을 나타낸 것이고, 이 부분에 대한 EPMA 면분석 결과를 같이 나타내었다. 접합부의 γ' 상의 형상은 모재와 다른 형상을 하고 있고, 체적률도 높은 것을 알 수 있다. γ' 상의 형상은 Ti과 Al의 농도비에 따라서 달라지는 것으로 알려져 있고, 분석결과 접합부가 모재에 비하여 Ti 및 Si 농도가 아주 높고, Al의 농도가 낮기 때문에 형상이 다른 것으로 생각된다.

Fig. 4는 A, B, C 영역에 대하여 EBSP로 결정방위 관계를 조사한 것으로 TD, LD, ND 방향의 결정방위를 해석하여 각각의 방위차를 표로 나타내었다. 이것으로부터 양 모재의 결정방위는 0.3~0.6°의 차이가 있고, 접합부와 모재의 결정방위는 TD 1.4~7.9°, LD 1.9~2.1°, ND 7.1~

7.7°의 차이가 있다. 즉 접합부와 모재의 결정 방위는 최대 7.9°의 차이가 있다. 이것은 공정상과 기지의 결정 방위 차이로 생각되며 접합부내 새로운 입체가 형성되어 있지 않다는 것을 알 수 있다.

Fig. 5은 MBF50을 사용, 1453K로 가열한 후, 10K/min의 냉각속도로 접합한 후, 1393K에서 균질화열처리한 경우, 유지시간에 따른 접합부내의 γ' 상의 변화를 나타낸 것이다. 모재는 유지시간이 길어짐에 따라서 cube형상으로 변화하고, 체적율도 증가하고 있으며, 접합부는 10hr에서 cube형상과 유사한 형상으로 변화하지만, 30hr에서는 조대화 되는 경향이 있음을 알 수 있다. Fig. 6은 열처리시간에 따른 접합부내에 존재하는 Cr계화합물량의 변화를 정량한 것이다. 유지시간이 증가함에 따라서 감소하여 접합 후 Cr계화합물이 많이 존재하는 MBF35(2.1%B)은 30hr에, Cr계화합물량이 적은 MBF50(1.5%B)은 20hr에서 소멸함을 알 수 있다.

Fig. 7은 MBF50을 사용하여 접합한 시편에 대하여 1393K × 30hr 균질화 열처리를 행한 후, 3단 시효한 경우, 모재와 접합부의 미세조직을 나타낸 것이고, Fig. 8은 γ' 상 분율을 나타낸 것이다. 여기서 기존 TLP접합법을 적용한 것은 1423K × 7.2K 동안 유지한 후, 공냉하여 접합한 것으로 열처리조건은 동일하다. 모재와 기존 접합법으로 접합한 것과 비교하여 새로운 접합법의 접합부 내 γ' 상의 체적은 높고, 크기가 큰 것을 알 수 있다.

4. 결 론

Ni기 초내열합금, GTD-111 천이액상화산접합부의 미세조직에 미치는 냉각속도의 영향을 확인하고, 최적조건에서 균질화처리 및 시효처리를 행하여 다음과 같은 결과를 확인하였다.

1. 400K/min(공냉)의 경우 혼합상과 Cr계화합물이 존재하였으나 냉각속도가 느릴수록 γ - γ' 공정상이 생성되고 그 양은 증가하여 10K/min에서 접합부 내 full γ - γ' 공정을 얻을 수 있었다. 그리고 Cr계 화합물량도 냉각속도가 느릴수록 감소되었다.

2. 접합온도 1453K, 냉각속도 10K/min으로 접합한 시편을 균질화열처리를 실시한 결과 접합부 내 γ' 은 10hr에서 cube형으로 변화하였고 30hr에서 조대화되는 경향이 있다. Cr계 화합물은 MBF35의 경우 30hr, MBF50의 경우 20hr에서 소멸되었다.

3. 접합온도 1453K, 냉각속도 10K/min의 조건으로 접합한 시편을 3단 시효처리를 한 결과, 접합부 내 γ' 상의 체적은 모재와 기존 접합법으로 접합한 것과 비교하여 높지만, 크기가 큰 것을 알 수 있다.

참고문헌

1. 강정운, 황형철 ; “일방향용고 Ni기초내열합금 GTD-111의 천이액상화산접합(II)”, 대한용접학회지 제2권1제2호, P89
2. 강정운, 황형철 ; “일방향용고 Ni기초내열합금 GTD-111의 천이액상화산접합(III)”, Journal of KWS, Vol. 21, No. 3. P78

Table 1 Chemical compositions of base metal

Cr	Co	Ti	Al	Mo	W	Ta	Fe	Mn	Si	C	Cu	B	Ni
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.

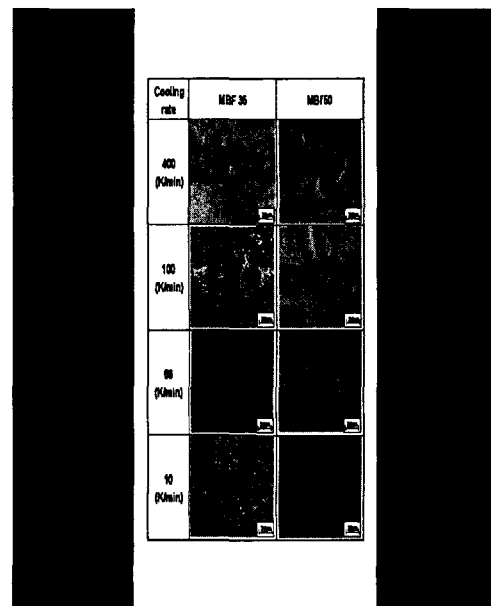


Fig. 1 Change of microstructures in the bonded interlayer with cooling rate

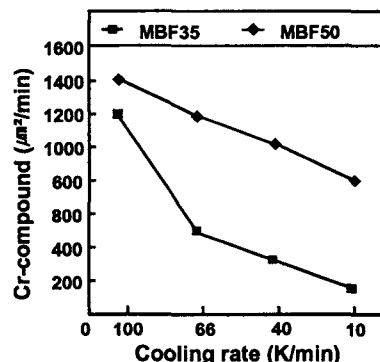


Fig. 2 Change of Cr compounds content in the bonded interlayer with cooling rates

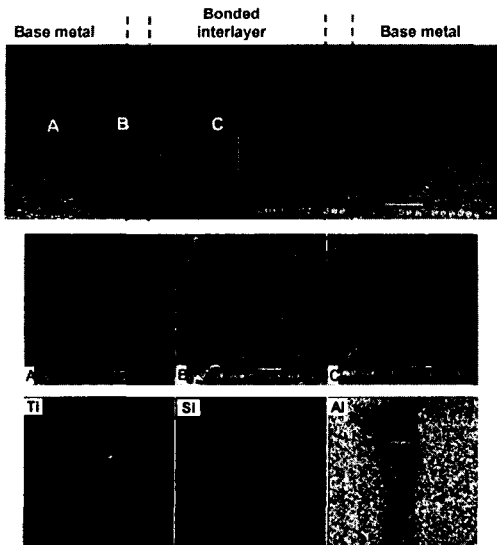


Fig. 3 Comparison of γ' shape and EPMA results in the joints and the base metal (MBF50, 10K/min)

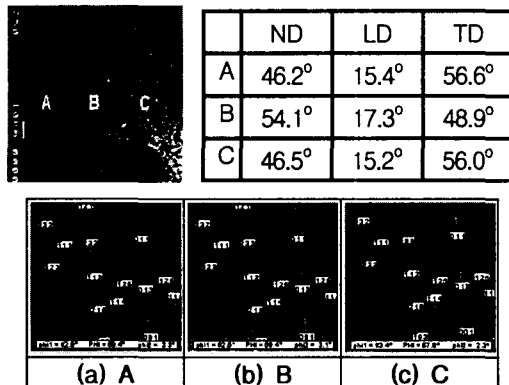


Fig. 4 Comparison of EBSP results in the joints and the base metal (MBF50, 10K/min)

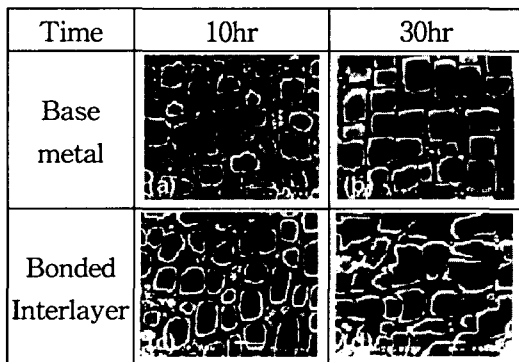


Fig. 5 Change of γ' shape in joints and base metal with homogenization times

(MBF50, 10K/min)

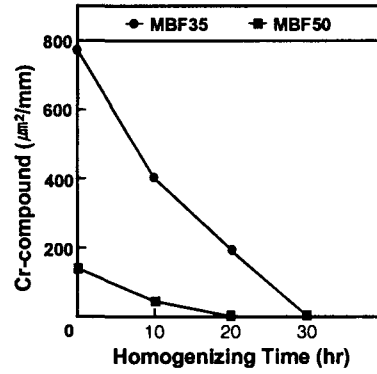


Fig. 6 Change of Cr compound content in the joints with homogenization time

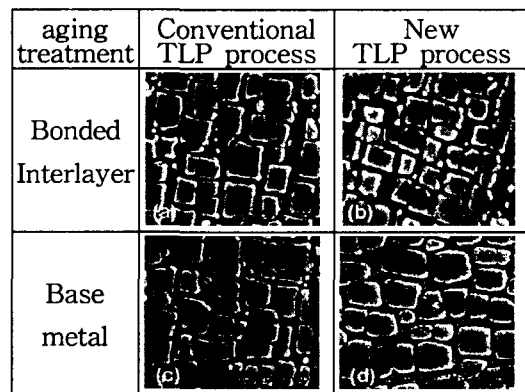


Fig. 7 Comparison of microstructures in conventional and new TLP bonding process with aging treatment

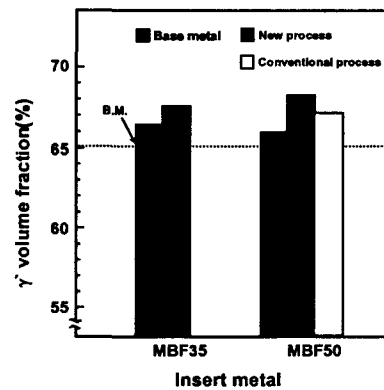


Fig. 8 Comparison of γ' volume fraction with aging treatment