

니켈기 초내열 합금 GTD-111의 천이액상확산접합에 있어서 가열 속도의 영향

Effect of heating rate on Transient Liquid Phase Diffusion Bonding of Ni-based superalloy GTD-111

최우혁, 김성욱, 이창희* · 김재철, 최철**

* 한양대학교 신소재공학부

** 한국전력 전력연구원 발전연구실

1. 서 론

현재 산업용 가스 터빈 버켓의 재료로 많이 사용되는 니켈기 초내열 합금 Equiaxed GTD-111은 1970년대 중반 GE사에 의해 개발되었는데, 기존의 니켈기 초내열 합금인 IN-738에 비해 과단강도면에서 내열 성능이 35°F(20°C)정도 향상되었으며, 저사이클 피로강도(LCF), 내 부식성도 IN-738에 비견할 만함 높은 기계적 특성을 지닌 것으로 알려져 있다. 터빈 블레이드 재생 공정중 하나로 사용되고 있는 천이 액상 확산 접합(Transient Liquid Phase Diffusion Bonding)은 기존의 고상확산접합과 브레이징의 장점만을 조합시킨 접합법으로서 접합 과정에서 접합면에 일시적으로 액상을 형성시키기 때문에 다른 접합법에 비하여 쉽게 금속 결합을 이룰 수 있는 장점이 있다. 또한, 액상을 형성시킨 후 접합온도에서 등은 응고하기 때문에 브레이징에서 문제가 될 수 있는 금속간 화합물을 형성하지 않기 때문에 접합부의 좋은 기계적 성질을 얻을 수 있다 [1],[2]. D. S. Duvall은 매우 느린 가열 속도에서는 접합 온도에 이르기 전에 모재의 용융 반응이 완료되고 응고 반응이 일어나지만 매우 빠른 가열 속도에서는 접합 온도에 이르렀을 때 모재의 용융은 거의 일어나지 않을 것으로 추측하였다 [3]. 실제 가스 터빈 부품 재생의 TLP 공정 적용에 있어서 가열 속도가 매우 빠르게 되면 재생 부품의 불균일한 온도 분포에 따른 수반하는 문제점을 피하기 위해서 너무 빠른 가열 속도는 적절하지 않을 것이다. 그러나, 아직 TLP 공정에 있어서 모재의 용융과 응고 반응에 미치는 가열 속도의 영향에 관한 연구는 아직 이루어지지 않았다. 제시하이 본 연구에서는 천이액상확산접합을 하는데 있어 모재로 사용되는 니켈기 다결정

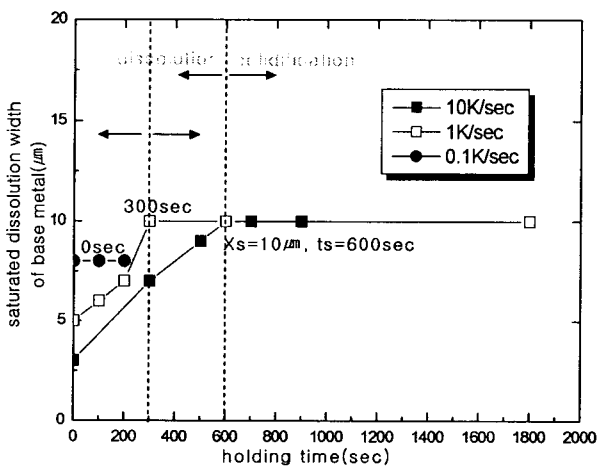
초내열 합금 GTD-111에 삽입재로 powder형태의 Ni-based AMDRY 780 paste를 사용하여 가열 속도의 변화에 따른 모재의 용융 및 응고 거동에 대하여 고찰하였다.

2. 실험방법

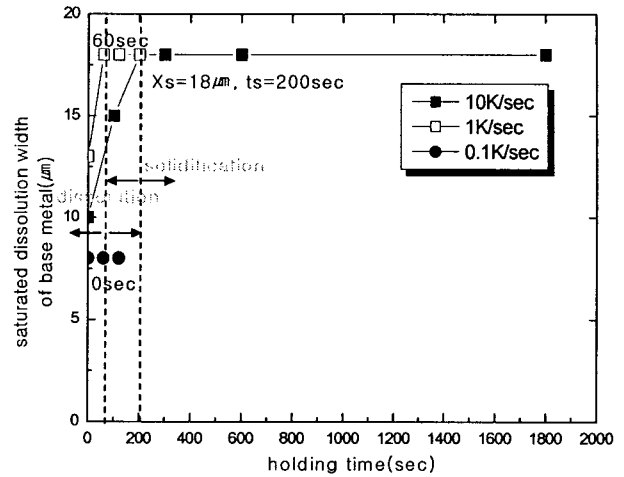
본 연구에 사용된 모재와 삽입 금속의 조성을 Table.1에 나타내었다. 모재는 진공 주조된 GTD-111 주조봉을 이용하여 접합실험을 실시하였다. 접합 전 시편은 표준 열처리의 용체화 처리와 시효처리를 거쳤으며, 와이어 커팅으로 3mm간격으로 커팅 후 표면을 연마지를 사용하여 접합면을 #400~#2000번까지 연마하여 준비하였다. 접합 전 표면은 아세톤으로 초음파 세척한 후 적정량의 삽입재를 도포하고, 고주파 유도로에 장착을 한 후 접합 실험을 실시하였다. 접합 조건은 접합 시편의 산화를 방지하기 위해 2×10^{-5} torr의 고진공 분위기에서 0.74MPa의 일정한 가압력을 주면서 접합온도 1373~1473K, 유지시간 0~7200sec, 가열속도 0.1~10K/sec로 다양한 접합 조건에서 실험을 실시하였다. 접합 계면과 접합부내의 미세 조직을 관찰하기 위해 접합 시편을 접합면에 수직하게 절단하고 연마한 후, Marble 용액(HCl 100ml + 에탄올 100ml + CuCl₂ 5g)을 이용하여 화학에칭을 실시하여, OM 및 SEM으로 접합부의 조직을 관찰하였다. 접합부내의 성분 원소의 분석은 SEM 및 EDX 분석을 실시하였다. 또한, 모재의 최대 용융폭 및 접합부내 공정상의 크기를 측정하기 위해 OM 및 image analyser를 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

Fig.1.은 접합온도 1373K, 1473K에서의 가열속도에 따른 모재의 최대 용융폭의 크기 변화를 나타낸 것이다. 가열속도가 느려짐에 따라, 접합 온도가 높아짐에 따라, 접합온도에 도달한 후의 모재의 용융 완료 시간은 감소하였다. 가열속도 0.1K/sec 에서는 접합온도에 이르기 전에 이미 모재의 용융반응은 완료되었고, 모재의 최대용융폭도 감소한 것을 알 수 있었다. 위의 결과로부터, 매우 느린 가열속도에서는 삼입금속의 B, Si과 같은 용점저하원소의 모재로의 확산이 증가하면서 접합온도에서의 모재의 최대용융폭은 감소한 것으로 확인되었다. Fig.2는 접합온도 1373K, 1423K에서의 가열속도와 유지시간의 변화의 따른 접합부내의 공정상의 크기 변화를 나타낸 것이다. 접합부내의 공정상이 완전히 사라지는데 요구되는 등온응고완료시간은 접합온도가 높을수록 B, Si과 같은 용점저하원소의 모재로의 확산 계수가 증가하고 모재의 용융폭이 증가하면서 감소하는 것을 알 수 있었다. 또한, 가열속도가 느려짐에 따라 Fig.2-a), b) 에서 알 수 있듯이 접합 온도(T_b)에서의 등온 응고완료 시간은 감소하였다. 그러나, 가열속도 0.1K/sec에서 접합시편을 가열하는 시작단계부터 등온 응고반응이 완료되는 데까지 걸리는 전체시간은 가열속도 10K/sec로 실시하였을 때의 등온응고반응이 완료되는 데 걸리는 전체시간과 거의 유사한 것을 알 수 있었다. 결론적으로, 가열속도가 매우 느린 경우, 접합온도에서의 등온응고완료시간은 감소하는 것을 알 수 있었고, 공정폭 또한 B, Si의 모재측으로의 확산반응에 의해 등온응고반응이 일어나는 동안 유지시간의 제공근에 비례하여 직선적으로 감소함을 확인할 수 있었다.

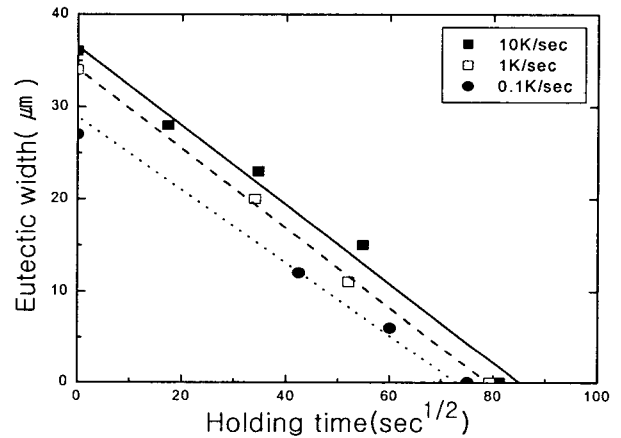


a)1373K

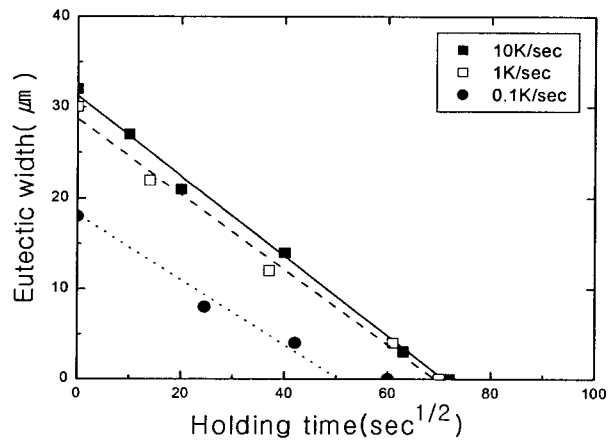


b)1423K

Fig.1 Effect of heating rate on dissolution width of base metal at 1373K, 1423K



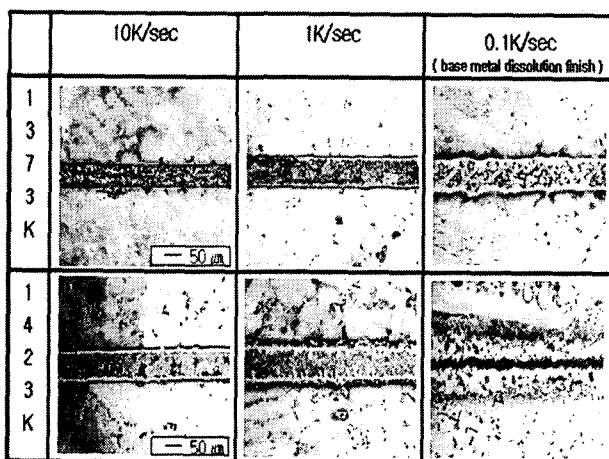
a)1373K



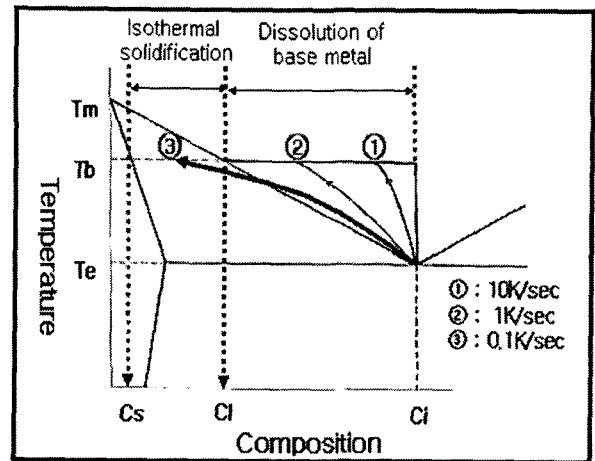
b)1423K

Fig.2 Effect of eutectic width by heating rate at bonding temperature 1373K, 1423K

Fig.3-a)는 접합온도 1373K, 1423K에서의 유지시간 없이 가열속도 0.1~10K/sec의 변화에 따른 접합부의 미세 조직 변화를 나타낸 것이다. 아래의 그래프에서도 알 수 있듯이 접합 온도가 높아짐에 따라, 모재의 용융폭은 증가하였다. 매우 빠른 가열 속도 1K/sec, 10K/sec에서는 모재의 용융이 접합 온도에 이르기 전에 거의 발생하지 않았다. 그러나, 매우 느린 가열 속도 0.1K/sec에서는 접합 온도에 이르렀을 때 모재의 용융반응은 이미 완료되었고 접합부내의 액상은 등온응고반응이 일어나면서 이미 많이 소멸된 것을 확인할 수 있었다. 가열 속도가 매우 빠른 경우에는 모재의 용융이 가열 단계에서 초기 액상의 농도(C_i)가 접합 온도에 이르기 전의 어떠한 중간 온도에서든 액상의 평형 농도(C_l)보다는 높기 때문에 모재의 용융이 일어나지 않는 것으로 판단되어진다. 결론적으로, 액상의 농도는 Fig.3-b)-①, ②처럼 액상선을 따라 감소할 것이다. 매우 느린 가열속도에서는 모재측으로의 용점저하원소의 확산이 크기 때문에 Fig.3-b)-③에서처럼 접합 온도에서 등온 응고 반응이 일어나기 전에 접합 온도에 이르기 전의 가열 단계에서 응고가 일어날 것으로 판단된다. 실험결과에서도 마찬가지로 가열 속도 0.1K/sec와 같이 매우 느린 가열 속도에서는 접합 온도에 이르기 전에 이미 모재의 용융반응이 완료되고 응고반응이 일어난 것을 확인할 수 있었다.



a)



b)

Fig.3 OM microstructures of bonded interlayer and schematic representation by heating rate at 1373K, 1423K

4. 결 론

1. 가열 속도가 매우 느린 경우, 접합 온도에 도달하기 전에 이미 모재의 용융 반응은 완료되고 접합부내의 액상의 응고반응이 진행되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나, 가열 속도가 빠른 경우에는 접합 온도에 이미 도달하였음에도 불구하고 모재의 용융 반응은 거의 일어나지 않음을 알 수 있었다. 이러한 거동은 모재측으로의 B, Si과 같은 용점저하원소들의 확산에 의해 설명되어졌다.
2. 접합부내의 액상의 공정폭은 접합온도에서 등온 응고 반응이 일어나는 동안 유지시간의 평방근에 비례하여 직선적으로 감소하였다. 그러나, 등온 응고반응 속도는 가열 속도에 무관하게 거의 일정하였다.

참고문헌

1. M. H. Haafkens and J.H. G. MATTY : Weld. Journal, 61, (1982), 25
2. R. Thamburaj, W. Wallace and J. A. Goldak : Inter. Metals Reviews, 28, (1983), 1
3. Duvall D.S., Owczarski W.A. and Paulonis D. F. : Weld. Journal, 53, (1974), 202