

니켈기 초내열합금의 천이액상확산접합에 있어서 접합온도 및 가열속도가 접합 특성에 미치는 영향

Effects on bonding properties of bonding temperature and heating rate in transient liquid phase diffusion bonded Ni-base superalloy

김성욱*, 최우혁*, Wu Jingwei*, 이청래*, 최철**, 김재철**, 이창희*

*한양대학교 신소재공학부

**한전 전력연구원 발전연구실

1. 서 론

가스터빈 고온부품으로 사용되는 니켈기 초내열합금은 최근까지 합금성분의 조절 또는 주조방법의 개선을 통하여 사용 온도를 증가시켜왔다. 하지만 이러한 조절된 미세조직을 가지는 부품의 접합은 더욱 어렵게 되었고, 특히 용접의 경우 균열이 발생하는 등 용접성이 상당히 떨어지게 되었다. 이에 특수한 접합법인 천이액상확산접합이 고려되어 왔고, 상당한 연구가 진행되었다. 접합은 확산에 의해 지배되므로 접합시간을 단축시키기 위해서는 온도 및 삽입금속 성분의 조절이 필수적이라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 온도와 접합온도까지 가열속도가 접합부 특성에 미치는 영향에 대하여 파악하고자 하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법

본 연구에서는 진공 주조된 GTD-111 주조봉을 이용하여 접합을 실시하였다. 접합 전 시편은 표준 열처리의 용체화처리 및 시효처리를 거쳤으며, 와이어 커팅으로 5mm간격으로 커팅 후 표면을 에머리 페이퍼 #2000번까지 연마하여 준비하였다. 접합 전 표면은 알코올로 세척하였으며, 적정량의 삽입재를 도포하여 접합을 실시하였다. 접합부의 간격은 narrow와 wide로 구분하여 접합하고자 하였다. Narrow의 경우에는 50 μ m wide gap은 200 μ m의 간격으로 접합하였으며, 합에 사용된 삽입재는 페이스트(paste) 형태의 AMDRY 780 및 AMDRY DF-4B이고, w

gap의 경우에는 모재 성분의 분말 IN738을 삽입재와 6:4의 비율로 혼합하여 사용하였다. Table 1은 본 연구에 사용된 모재와 삽입재의 조성을 나타낸 것이다.

준비된 시편은 2 \times 10⁻⁵torr 진공분위기 고주파 열처리로를 이용하여 접합온도, 접합시간, 가열속도 등을 변화시켜 접합하였으며, 접합온도까지 10K/s로 가열한 후 일정시간 유지한 다음 He가스를 분사시켜 강제 냉각 후 접합부를 관찰하였다.

2.2 실험결과 및 고찰

2.2.1 Narrow gap

Fig.1은 모재에 AMDRY 780 삽입재를 이용하여 접합온도 1373K, 1423K에서 유지시간에 따라 접합부의 조직 변화를 광학현미경으로 관찰한 것이다. 모재에서의 dissolution 현상은 연구1-2) 많이 된 것으로, 유지 시간이 증가함에 따라 모재 쪽으로 dissolution이 일어나면서 접합부의 폭은 넓어지게 되고, 접합온도가 증가함에 따라 접합온도 1373K에서는 600sec, 접합온도 1423K에서 200sec 이르렀을 때 모재의 dissolution이 완료되면서 모재의 dissolution 폭은 최대에 이르게 된다. 접합부 내 액상은 모재의 dissolution이 완료된 시점에서 확산 계수가 큰 B 성분이 모재 쪽으로 확산되면서 액상의 조성을 유지하기 위해 등온응고반응이 일어나게 되고, 유지 시간이 증가함에 따라 점점 소멸하게 되어 접합온도 1373K에서는 7200sec, 접합온도 1423K에 5400sec에서 액상이 완전히 사라지게 되는 것을 관찰하였다.

Fig.2는 두 접합 온도에서의 유지 시간에 따른

모재의 최대 dissolution 폭 변화를 나타내었고, 모재가 최대 dissolution 폭에 이르렀을 때의 모재의 dissolution 완료 시간을 측정 한 결과이다. 그림에서 살펴볼 수 있듯이 초기에는 급격하게 모재의 dissolution이 진행되다가, 모재가 어느 시점에서 dissolution 폭이 최대가 되었을 때는 유지시간이 증가하더라도 더 이상 모재의 dissolution이 진행되지 않고 일정하게 유지되는 것을 알 수 있다. 그리고, 좀 더 고온의 접합 온도인 1423K에서는 모재의 최대 dissolution폭의 크기도 18 μ m로 1373K일때 보다 거의 두 배로 증가를 하였고, 모재의 dissolution 완료 시간도 600sec에서 200sec로 훨씬 감소한 것을 알 수 있었다.

Fig.3은 접합 온도 1423K에서 가열 속도의 화에 따른 모재의 dissolution 완료 시간을 측정 한 결과이다. 문헌3)에 의하면 가열속도가 매우 느릴 경우 가열 중에 dissolution이 끝나고 응고가 시작될 수 있음을 예측하였고, 본 연구에서 실제 실험 시 가열 속도가 느려질수록, 접합 온도에 이르렀을 때 이미 모재의 dissolution이 상당히 진행되었고, 가열 속도가 매우 느린 0.1K/sec에서는 접합 온도에 이르렀을 때 이미 접합부의 폭은 최대에 이르면서 모재의 dissolution이 완료되고 이미 등온 응고 반응이 진행되고 있는 것을 알 수 있었다.

2.2.2 Wide gap

천이액상확산접합은 확산에 의해 제어되는 접합법이므로 비교적 넓은 gap을 접합시 순수 삼입재만으로는 접합시간이 상당히 소요된다. 따라서 본 연구에서는 모재 분말과 삼입재를 혼합하여 접합시간을 단축시키고자 하였다.

접합 온도 및 유지시간에 따른 접합부의 변화를 관찰하기 위하여 AMDRY 780과 모재분말의 혼합 삼입재를 이용하여 접합온도를 1373K, 1423K, 1453K, 1473K 및 접합시간을 각각 60s, 600s로 설정하여 가열속도 10K/s, 냉각속도 10K/s로 접합을 실시하였다. Fig.4는 그 결과 나타낸 것으로 1373K의 경우 접합온도까지 가열하였다가 그대로 냉각시킨 0s의 경우 내부의 모재분말은 초기의 형태를 그대로 유지하고 있으며, 액상이 존재하였던 영역에서는 어두운 공정상이 관찰된다. 접합온도에서 60s유지 후 냉각시킨 경우에는 모재 분말 일부가 내부로 겹게 변색

되었으며, 모재분말의 가장자리에서 일정한 폭의 검은 band가 관찰되고 있다. 600s를 유지한 경우에는 공정상이 관찰되지 않으며, 접합부 주변의 검은 band의 영역이 넓게 확장되어 있음을 관찰할 수 있다. 이 단계에서 접합부 내의 액상은 모두 등온응고 하였음을 판단할 수 있다. 1373K보다 약간 높은 온도인 1423K에서 접합을 실시한 경우에는 접합부에서 모재분말의 분해가 발생하였음을 볼 수 있다. 이는 온도가 증가함에 따라 dissolution에 의해 모재의 일부가 용융되고 특히 모재분말 내의 결정립계를 따른 우선 확산에 의한 것으로 판단된다. 접합온도를 증가시킬수록 이러한 분해 현상은 초기에 나타나며, 1453K이상의 온도에서는 접합초기에 모재분말 원래의 형태를 거의 찾아 볼 수 없다.

한편, 접합부 주위로 dissolution 폭을 관찰 결과는 Fig.5와 같다. dissolution 폭은 온도에 게 영향을 받으며, 1423K까지는 큰 변화가 없다가 1453K이상에서는 시간에 따라 급격한 변화를 보인다. 이러한 dissolution 폭은 앞서 narrow gap에서와 마찬가지로 시간이 지남에 따라 일정한 폭을 가지는 것으로 관찰되었고, 온도가 높을수록 dissolution 폭도 증가하는 것을 볼 수 있었다.

3. 결 론

1) 접합온도에서 일정하게 유지시 저융점원소의 확산에 의해 dissolution이 발생하며 최대 dissolution 폭은 저융점원소의 함량과 접합온도에 의해 결정된다.

2) 가열속도가 느릴 때 가열도중에 dissolution이 발생할 수 있으며, 매우 느린 경우 접합 온도에 도달하기 전 등온응고 반응이 시작되었다.

3) 모재분말과 삼입재를 혼합하여 wide gap을 접합한 경우 접합완료시간이 상당히 단축되었다.

참고문헌

1. Y.Nakao, K.Nishimoto, K.Shinozaki, C.Y.Kan, Y.Hori: J.Jpn.Weld.Soc., 6 (1988), 591-526
2. I.Tuah-Poku, M.Dollar, and T.B.Massalski: Trans. A, 19A (1988), 675-686
3. H.Nakagawa, C.H.Lee, T.H.North: Modeling of base metal dissolution behavior during transient liquid-phase brazing. Metall. trans. A, 22A (1991), 543-555

Table 1. Chemical composition of base metal and insert metal

Alloy	Chemical composition (wt.%)													
	Cr	Co	Al	B	Ti	Mo	W	C	Nb	Ta	Zr	Y	Si	Ni
GTD111	14	9.5	3.0	0.01	4.9	1.5	3.8	0.1	2.8					bal.
IN738	16	8.5	3.4	0.01	3.4	1.7	2.6	0.17	0.9	1.7	0.1			bal.
DF-4B	14	10	3.5	2.75	2.5	0.1								bal.
AMDRY 780			3.2						4.5					bal.

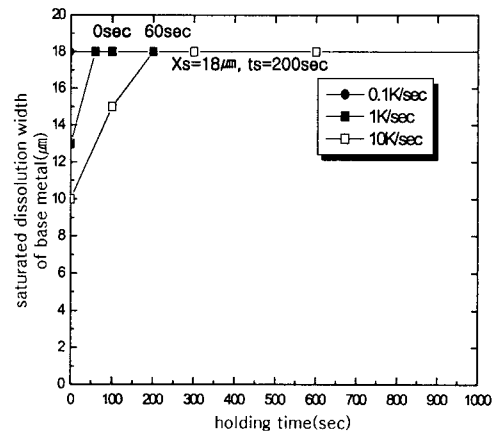


Fig.3 Effect of heating rate at 1423K maximum dissolution width of base met

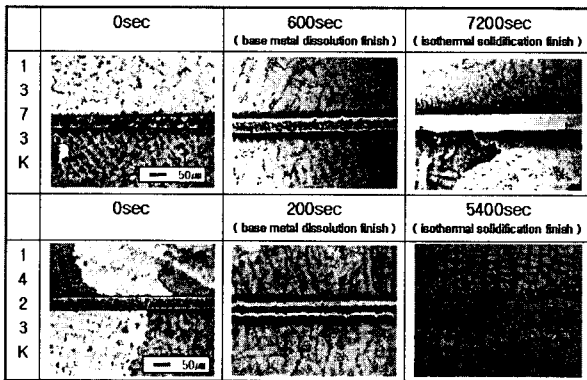


Fig.1 Microstructure change of bonded interlayer by holding time at 1373K, 14

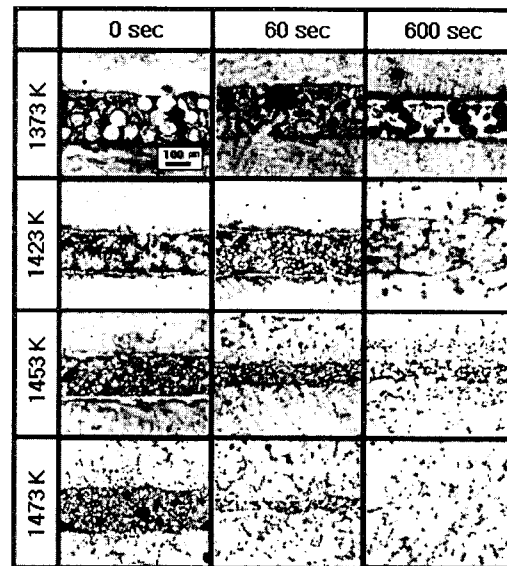


Fig.4 Microstructure change of bonded interlayer by holding time at 1373K, 14 1453K, 1473K

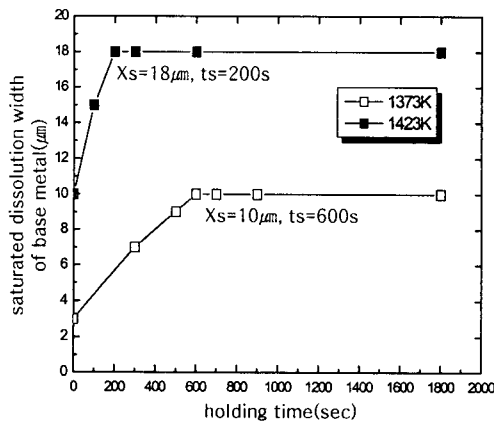


Fig.2 Effect of holding time at 1373K, 1 on maximum dissolution width of base m

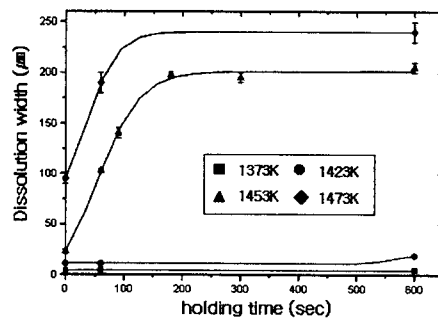


Fig.5 Effect of holding temperature on maximum dissolution width of base met