

니켈기 초내열 합금의 와이드 갭 천이액상 확산접합에 미치는 첨가 모재분말의 영향

Effects of additive base metal powder on the wide gap TLP bonding of Ni base superalloy

김성욱, 이창희

한양대학교 공과대학 신소재공학부

1. 서 · 론

니켈기 초내열 합금은 고온에서의 고강도 향상을 위해 석출 강화상인 γ' 의 분율을 증가시키는 추세에 있었다. 하지만 γ' 을 형성하는 Ti, Al의 함량이 증가함에 따라 응고 시 고온 균열을 유발하는 경향이 증가한다.[1] 따라서 이러한 니켈기 초내열 합금은 용융 용접이 어려우며 확산 접합을 이용한 접합 방법의 적용이 고려되어 왔다. TLP(Transient Liquid Phase, 천이액상) 확산접합 공정은 D.S.Duvall 등[2]에 의해 제안된 것으로 고온에서 유지함으로써 삼입금속이 용융되고 삼입금속 내 용점 저하원소가 모재 쪽으로 확산해 들어감에 따라 등은 응고되는 접합 방법이다. 한편, 접합 간격이 넓은 경우에는 접합부 내의 액상량도 증가하기 때문에 등은 응고 시간은 상당히 증가하게 된다. 따라서 공정 시간을 단축시키기 위한 방법으로 접합 온도를 증가시키거나 확산 면적을 증가시키는 방법이 고려될 수 있다.

삼입금속과 모재분말을 혼합하여 적용 시 모재분말은 용융되지 않고 잔존함으로써 접합 간격을 줄이는 역할과 용융 삼입금속과의 접촉 면적을 증가시키는 역할을 한다. 따라서 접합 간격이 넓은 와이드 갭에서 모재분말 혼합 삼입금속을 이용한 TLP 접합 공정은 주로 첨가되는 모재분말과 액상 삼입금속과의 표면 반응에 의해 결정된다.[3] 이에 본 연구에서는 니켈기 초내열 합금의 와이드 갭 TLP 접합 시 접합 공정에 미치는 첨가 모재분말의 영향에 대하여 연구하고자 하였다.

2. 실험방법

모재는 니켈기 초내열 합금인 GTD-111을, 삼

입금속으로는 Ni-B-Si계 AMDRY 780을 사용하였다. 사용된 재료의 화학 조성은 표 1과 같다. 접합을 위한 모재는 진공 주조된 13 ϕ 봉을 와이어 커팅으로 두께 3mm로 절단하여 쿠편 형상으로 준비하였고, 표면은 에머리페이퍼 2000번까지 연마하여 와이어커팅으로 인한 표면 스케일을 제거하였다. 모재성분 첨가분말로는 GTD-111과 거의 유사한 성분의 IN738을 이용하였다. 분말은 평균 70 μ m의 입도를 가지고 있으며, 가스 분무제조법으로 제조되어 형상은 구형인 것으로 파악되었다. AMDRY 780 삼입금속은 모재분말과 유사한 크기를 가지며, 혼합 시 균일한 혼합이 이루어졌다. 모재분말 혼합 삼입금속은 혼합비율을 60(모재 분말) : 40(삼입 금속) 및 40(모재 분말) : 60(삼입 금속)으로 혼합하였고, 페이스트(paste)형태로 적용하기 위해 Microbraz 바인더를 적용하였다.

가열은 진공 유도 가열로(3 \times 10 $^{-5}$ torr)를 이용하여 10 $^{\circ}$ C/sec의 가열 속도로 실시하였으며, 접합 온도에 도달 후 일정시간 유지한 후 퀘칭을 실시하였다. 접합 후 접합부는 1.2g CuCl₂ + 10ml HCl + 10ml ethanol 용액으로 에칭을 실시하여 광학 및 전자 현미경을 이용하여 관찰하였다.

3. 실험결과 및 고찰

동일한 모재와 삼입금속을 이용하여 모재성분의 분말을 첨가하지 않고 50 μ m의 접합 간격으로 접합을 실시한 이전의 연구[4]에서 각 온도에 따른 모재의 최대 용융폭 및 용융 완료 시간, 등은 응고 완료 시간은 표 2와 같다.

실험 데이터로부터 온도에 따른 최대 용융폭의 일반식[5]을 구하면,

$$X_s = h \exp(-2.83 \times 10^4/T + 19.62)$$

(Xs: 최대용융폭, 2h: 접합초기액상폭, T: 온도(K))

이고, 이 식을 이용하여 삽입금속 만을 이용하여 200 μ m를 접합 시 온도에 따른 최대 용융폭은 Fig.1과 같이 예상할 수 있다. 만일 200 μ m 접합 폭을 60(모재분말) : 40(삽입금속)의 혼합 삽입금속을 이용하여 접합한다면 모재의 용융 과정 동안 접합부 내 모재분말의 용융도 발생하게 된다. 이 때 온도에 따른 모재분말의 용융은 Fig.2와 같고, 40(모재분말) : 60(삽입금속)의 경우에는 Fig.3과 같다. 따라서 40 : 60의 혼합분말의 경우에는 1160 $^{\circ}$ C이상으로 가열하지 않는다면 모재분말이 모두 용융되지 않을 것으로 예상할 수 있다.

접합부의 미세구조를 Fig.4에 나타내었다. 200 μ m 접합 폭을 60(모재분말) : 40(삽입금속)의 혼합 삽입금속을 이용하여 온도 및 시간에 따른 접합부의 변화를 관찰한 결과 유지시간 없이 냉각한 경우에는 온도가 증가함에 따라 모재분말의 용융 현상이 관찰되었다. 또한 접합온도에서 일정시간 동안 유지함으로써 분말의 용융이 발생하고 등온응고가 진행되는 것을 관찰할 수 있었다.

한편, 삽입금속 만을 이용하여 50 μ m의 접합부를 TLP 접합 시 등온 응고에 걸리는 시간으로 일반식을 도출하면

$$t_f^{1/2} = 2h (16814) \exp(7062.3/T)$$

와 같다. 이 식은 용점 저하원소의 확산은 액상과 접촉한 두 모재 쪽으로만 이루어지는 것을 예상하여 도출한 것이다. 접합부 내부에 모재분말이 잔류할 경우에는 용점 저하원소의 확산이 두 모재 뿐 만 아니라 접합부 내부의 모재분말로도 발생하고, 또한 접합부 내부에 존재하는 모재분말은 응고에 대한 시드(seed)로도 작용할 수 있기 때문에 등온 응고 과정은 위 식을 이용하여 구한 결과 보다 더 빨리 이루어졌다.

Fig.5는 모재의 용융 및 응고 조직에 대하여 EBSD 분석을 실시한 결과를 나타낸 것이다. 용융 초기에 모재 분말은 결정립 형태를 이루고 있는 것을 볼 수 있다. 하지만 모재 분말의 용융 과정이 모두 끝나고 모재 분말의 용융에 의한 결정립의 재배열, 추가적인 응고과정에서 결정립은

조대화되면서 관찰된 바와 같이 하나의 조대한 결정립계를 형성하는 것으로 파악되었다.

등은 응고된 상의 분석을 위해 TEM 관찰을 실시하였다. Fig.6에서와 같이 SAD 패턴 분석 결과 등은 응고 조직은 FCC 구조를 가지는 Gamma임을 확인하였다.

4. 결 론

첨가된 모재분말은 접합 간격을 줄이는 역할과 용융 삽입 금속과의 접촉 면적을 증가시키는 역할을 함으로써 TLP 접합 시 용융과정과 응고과정에 큰 영향을 미친 것으로 파악되었다. 모재분말은 용융과정 동안 결정립계 형태로 분해되며 재배열, 응고과정을 통하여 등은 응고를 촉진시켰다.

참고문헌

1. M.H.Haafkens and J.H.G.Matty : Weld. Journal, Vol.61, 1982, p.25
2. D.S.Duvall, W.A.Owczarski and D.F.Paulonis : Weld. Journal, Vol.53, 1974, p.202
3. R.M.German : 'Liquid phase sintering', Plenum Press, NY, 1985, p.43
4. Woohyuk Choi, Sungwook Kim, Changhee lee, and Jungcheol Jang : Materials Science Forum, vol. 449-452, 2004, p.133-136
5. Y.Nakao, K.Nishimoto, K.Shinozaki, C.Y.Kang and Y. Hori : Journal J.W.S. Vol.6, 1988, p.519

Table 1 Chemical compositions of base metal and insert materials (wt.%)

GTD-111	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	-	bal
A780	-	-	-	3.2	-	-	-	-	-	-	-	4.5 bal

Table 2 Maximum dissolution width, dissolution completion time and isothermal solidification time with bonding temperature (gap: 50 μ m)

	1100 $^{\circ}$ C	1150 $^{\circ}$ C	1200 $^{\circ}$ C
Max. dissolution width	10 μ m	18 μ m	40 μ m
Dissolution completion time	600s	200s	90s
Isothermal solidification time	7200s	5400s	3600s

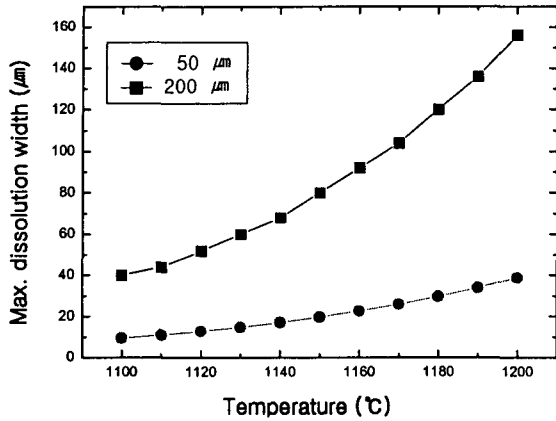


Fig.1 Maximum dissolution width with temperature and bonding gap

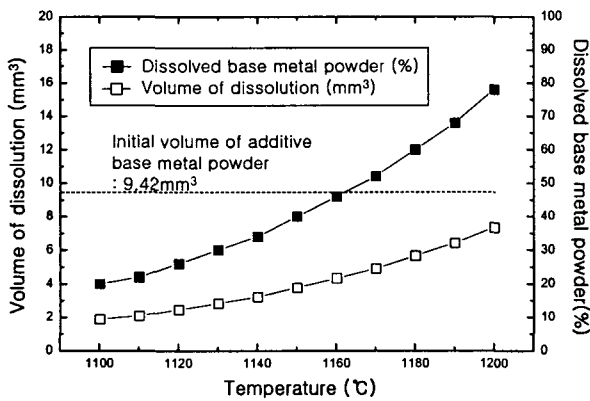


Fig.2 Maximum dissolution of base metal powder with temperature (60:40 mixture used)

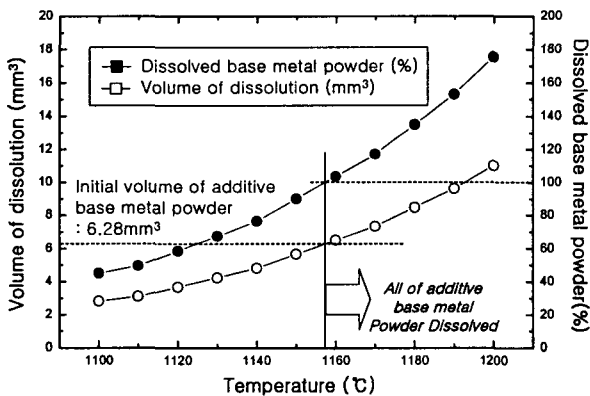


Fig.3 Maximum dissolution of base metal powder with temperature (40:60 mixture used)

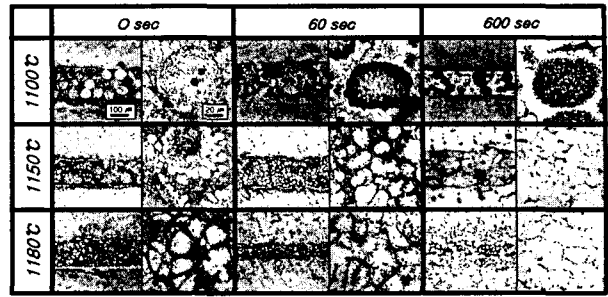
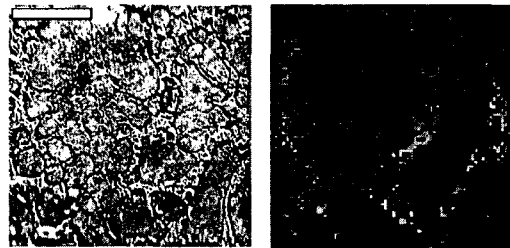


Fig.4 Microstructures of mixture insert metal used TLP bond with temp. and time.

Dissolution



Solidification

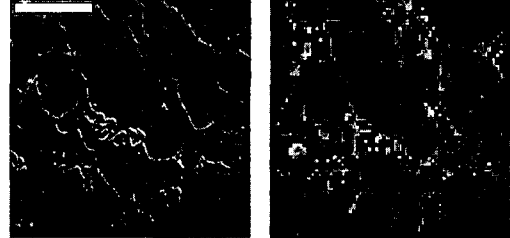


Fig.5 Results of EBSD analysis on bond interlayer

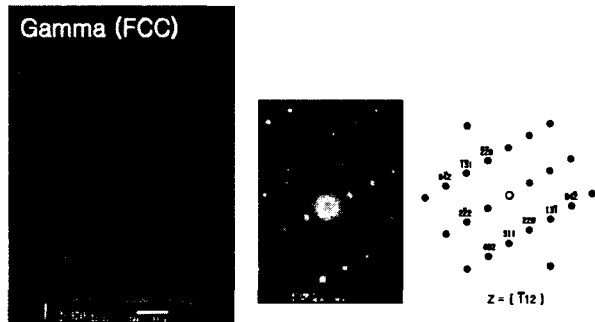


Fig.6 TEM structure and diffraction pattern of solidified phase