

## 모재분말/Ni기 삽입금속 분말의 혼합비에 따른 일방향응고 Ni기 초내열합금 GTD-111의 Wide Gap 천이액상확산접합부의 미세조직 변화

Microstructural change of wide gap transient liquid phase bonding with directional solidified Ni base superalloy GTD-111 by the mixing ratio of the base metal powder/Ni base filler metal.

송 우영\*, 이 봉근\*, 한 태교\*, 예 창호\*\*, 강 정윤\*

\* 부산대학교 재료공학과

\*\* Sermatech Koear. LTD.

### 1. 서 론

현대사회에서 전기에너지의 사용량의 증가로 인해 전기 발전량의 증대에 대한 요구가 가중되고 있는 시점이다. 그러나, 핵발전의 경우 건설 시간, 건설비용 및 폐기물의 후처리 문제 등에 의해서 어려움에 봉착하였다. 그래서, 건설비용이 작으며 에너지 효율이 우수한 열병합발전소의 건설이 증가되는 추세에 있다.

열병합발전소 핵심기술인 가스터빈의 제작 및 수리기술은 GE, ABB, SIEMENS 등의 외국계 기업이 독점하고 있으며, 기술의 공개 및 이전에 난색을 표하고 있다. 특히, 터빈버킷의 경우 효율화의 증대에 의해서 다결정에서 일방향 및 단결정 합금으로 변환되고 있다.

터빈버킷의 미세크랙에 대한 수리기술이 국내에는 전무한 실정이며, 발생되는 크랙은 폭이 300  $\mu\text{m}$  이내 깊이 3mm 이내의 크랙으로 이 부분의 수리 기술 확립이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 200 $\mu\text{m}$ 의 폭을 모사한 시험편에 모재분말 및 Ni기 삽입금속분말을 이용하여 천이액상확산접합법으로 접합을 실시하였을 경우 분말의 혼합비 및 접합조건에 따른 미세조직의 변화를 관찰하였다.

### 2. 실험방법

일방향응고로 제작된 시험편을 절단 후 200 $\mu\text{m}$  Mo 선재를 시험편 사이에 삽입하여 200 $\mu\text{m}$ 의 폭을 유지시켰으며, 표 2.1과 같이 모재분말의 양을 20~50wt% 변화시켜며 혼합 삽입금속재를 제작하여 사용하였다. 접합온도는 용체화처리 온

도인 1463K 조건에서 혼합삽입금속의 완전 용융을 유도한 후 1443K 조건에서 천이액상확산접합을 실시하였다. 혼합분말의 용점은 DSC로 측정하였으며, 광학현미경으로 미세조직을 관찰하였다. 이미지 분석장치로 접합부위의 잔류액상폭 및 등온응고폭을 측정하였다.

### 3. 결 과

#### 3.1 접합부 미세조직

##### 3.1.1 분말재의 용점측정

그림 3.1은 접합사이클을 도식적으로 나타낸 그림으로 1463K의 조건에서 45분간 유지 후 1443K 조건에서 천이액상확산접합을 실시하였다. 1463K 조건으로 45분간 유지하는 이유는 혼합삽입금속의 완전한 용융 및 접합부내 액상의 완전한 충전 조건을 유도하기 위해서이다. 그리고, 1443K 조건에서 천이액상확산접합 현상이 발생하기 위해서는 혼합분말재가 완전용융 되어

Table 2.1. Chemical composition of insert metal (wt%)

Symbol	Cr	B	Ni	Etc.
GN20 (GTD111 20wt%)	14	2	bal.	Ti,Al...
GN30 (GTD111 30wt%)	14	1.75	bal.	Ti,Al...
GN40 (GTD111 40wt%)	14	1.25	bal.	Ti,Al...
GN50 (GTD111 50wt%)	14	0.75	bal.	Ti,Al...

야 한다.

표 3.1은 시차열분석장치(DSC)를 이용하여 혼합분말재의 용점을 측정된 결과이다. 표 3.1에서 보는 바와 같이 GN50까지는 액상선이 1443K 이하이다. 그러나, GN50의 경우 액상선이 접합온도인 1443K와 유사하므로 접합은 어려울 것을 사료된다. 이는 접합온도인 1443K 조건에서 일부 초정상이 생성되게 되며 이러한 초정상에 의해서 접합시 다결정화가 될 것으로 사료된다.

3.1.2 유지시간에 따른 미세조직

그림 3.2는 삽입금속의 종류에 따른 미세조직의 변화를 나타낸 그림이다. 접합조건은 그림 3.1의 c조건에서 미세조직을 나타내고 있으며 천이액상화산접합을 시작한 위치의 조직을 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 GTD-111 모재 분말의 혼합비가 증가함에 따라 반응층의 폭이 감소하는 것을 관찰된다. 또한 접합부내의 잔류 용융액상폭이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 그리고, GN50의 경우 표 3.1에서 나타나 있는 것과 같이 액상점이 1442K이므로 분말재의 초정상의 생성으로 인한 다결정화가 진행되고 있는 것으로 사료된다.

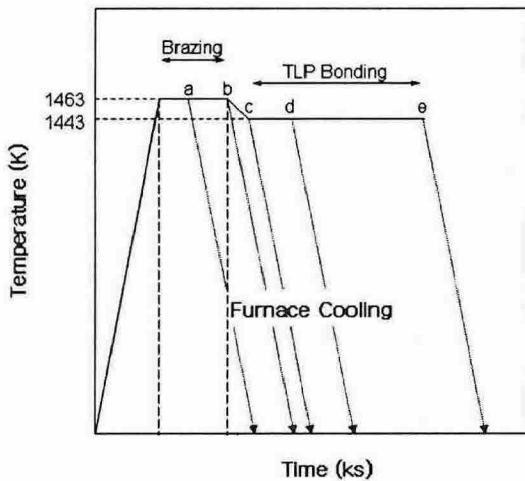


Fig 3.1 Bonding condition

Table 3.1 Solidus and Liquidus of Insert Metal (K,20K/min)

Symbol	Solidus	Liquidus
GN20	1337.2	1419.0
GN30	1342.2	1423.2
GN40	1349.4	1431.9
GN50	1359.5	1442.0

그림 3.3는 GN30 혼합분말 삽입금속을 이용하여 접합을 행하였을 때 그림 3.1의 a,b,c,d지점의 미세조직 부위를 나타낸 사진이다. 그림 3.3에서 보는 바와 같이 초기에는 초정형태의 상이 접합부 내부에 다량 존재하고 있으나 유지시간이 증가함에 따라서 이러한 상들이 줄어들면서 등은 응고되어 성장하는 것을 관찰 할 수 있다. 이와 함께, 접합부 주위의 반응층에 미세조직의 변화가 관찰되었다.

그림 3.4는 GN30에 대해 그림 3.1의 a,b,c,d 지점의 모재 용융폭 및 잔류하는 액상폭을 측정 한 데이터 이다. 초반 모재 용융폭이 급격히 증

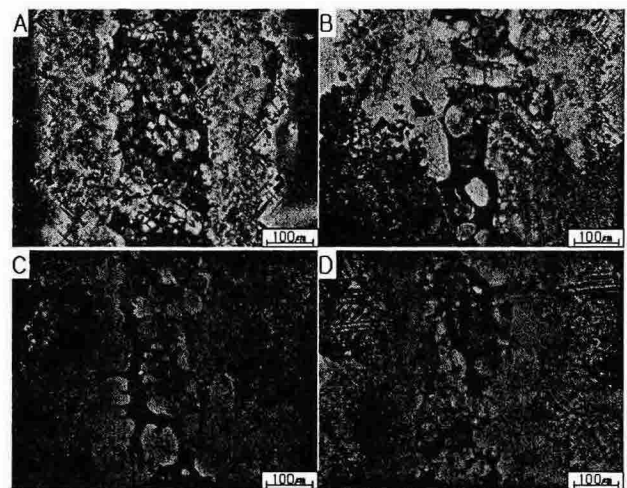


Fig 3.2 The change of microstructures the ratio of GTD111/Ni base filler metal on the condition of 1463K x 45min and 1443K x 0ks.  
A) GN20 B) GN30 C) GN40 D) GN50

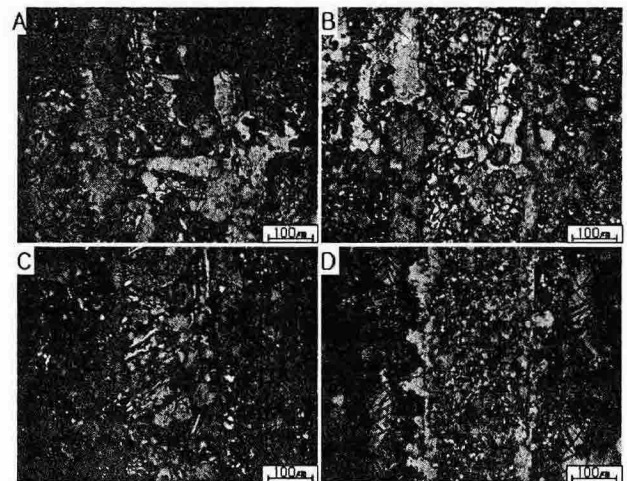


Fig 3.3 The change of microstructure with various bonding condition.(GN30)  
A) 1463K x 15min B) 1463K x 45min  
C) 1463K x 45min -> 1443K x 0min  
D) 1443K x 45min -> 1443K x 30min

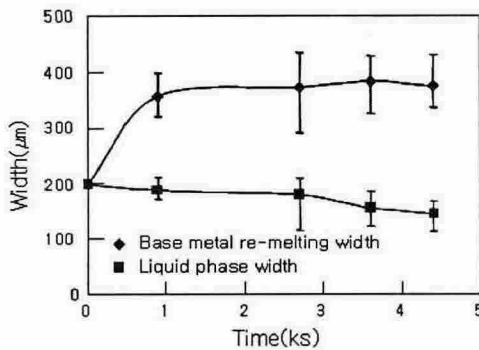


Fig 3.4 Base metal re-melting width and liquid phase width. (GN30)

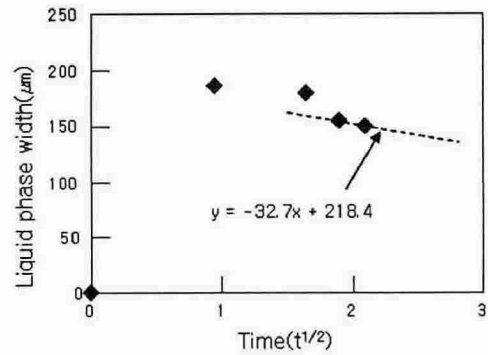


Fig 3.5 liquid phase width.(GN30)

가하게 되지만 350 ~ 400μm까지 모재의 용융 현상이 발생하며, 3ks이상의 조건에서는 더 이상의 모재의 용융현상이 발생하지 않게 된다. 또한, 잔류 액상폭을 측정하여 그림 3.1의 a,b지점까지의 변화와 c,d지점에서 잔류 액상폭의 감소형태가 틀린 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 a,b지점의 경우 브레이징 구간으로 1463K에서 유지하였기 때문이다.

GN30에 대한 등온응고 완료시간을 측정하기 위해서 식 3.1과 같은 확산식을 이용한 등온응고 완료시간을 측정하여 보았다.

$$2X = 2\lambda - (4C_0/\pi^{1/2}\lambda V_0) \int_0^X (C_0/V_0 - C/V_0)^{-1} (D\lambda^2)^{1/2} dx \quad \text{--- Eq. 3.1}$$

2X: 용고폭, 2λ: 초기용융폭,  
D: 확산계수, λ: 유지시간

그림 3.5는 GN30의 잔류액상폭의 변화를 t<sup>1/2</sup>로 변환하여 계산하여 나타낸 그래프이다. 그림에서 보는 바와 같이 그림 3.1의 a 지점까지는 액상폭의 증가가 발생하게 되며, b지점은 1463K 조건에서의 등온응고 이므로 c,d지점에서의 등온응고현상만을 파악하였다. 그림에서 보는 바와 같이 유지시간에 따른 액상삼입금속의 소멸에 대한 수식을 찾아보면 다음과 같다.(Eq 3.2)

$$Y = -32.7X + 218.4 \quad \text{--- Eq 3.2}$$

상기 수식을 기준으로 등온응고 완료시간을 계산하여 보면 12시간 39분의 시간이 소요되는 것을 확인할 수 있다. GN30에 대해서 1443K에

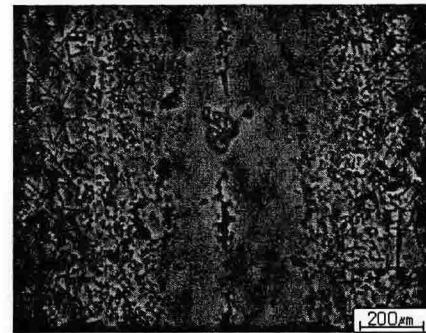


Fig 3.6 Microstructure of bonded zone on the condition of 1163k x 12hr (GN30)

서의 12시간 유지한 시험편의 조직을 관찰한 사진이 그림 3.6이다. 그림에서 보는 바와 같이 전체적으로 등온응고가 거의 완료 되었으며 중심부에는 잔류 액상이 거의 없는 것을 확인할 수 있다. 또한, 접합부 내부에 다결정화 된 흔적을 찾을 수 없었다.

#### 4. 결 론

상기 결과로부터 혼합삼입금속중 GTD-111모재 분말의 양이 40wt% 이하의 조건에서 천이액상확산접합을 이용할 경우 다결정이 생성되지 않는 접합부를 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 그리고, GN30의 경우 12시간 39분 동안 접합을 실시할 경우 등온응고가 완료될 것으로 사료된다.

#### 참고문헌

1. W. Miglietti, J. Benson, F. Blum, R. Pennefather, *Brazing and High Temperature Brazing and Diffusion Welding -5th International Conference in Aachen, 1998, 11-15.*