

모재와 유사한 성분의 분말과 GNI-3 혼합분말을 사용한 천이액상확산접합 초기과정에서의 혼합분말의 용융현상

Dissolution Phenomenon of the Insert Metal Powder Composed of the Modified Base Metal and GNI-3 during TLP Bonding

송 우영*, 김 도연*, 이 봉근*, 강 정윤*

* 부산대학교 재료공학과

1. 서 론

최근 핵발전소의 경우 건설시간, 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, 발생하는 크랙은 폭이 300 μ m 이내 깊이 3mm 이내의 크랙으로 이 부분의 수리 기술 확립이 절실히 요구되고 있는 실정이다. 수리기술 중 천이액상확산(TLP) 접합의 경우 모재와 유사한 성질을 얻을 수 있다는 잇점을 가지고 있으므로 이에 대한 연구가 필요한 실정이다.

본 연구에서는 접합공정 시간을 단축시킬 목적으로 모재와 유사한 성분의 분말과 Ni기 삽입금속 분말을 사용한 천이액상확산 접합에 대한 기초연구로써 접합 초기과정에서의 온도 및 혼합비에 따른 혼합분말의 용융현상을 관찰하였다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 혼합분말은 모재와 유사한 성분의 분말 및 Ni기 삽입금속 분말을 혼합하여 사용하였다. 모재는 G.E에서 개발된 GTD-111이며, Ni기 삽입금속과 혼합하여 TLP 접합용 삽입금속으로 사용할 경우 생성되는 붕화물의 양을 최소화하기 위하여 붕소와 결합하기 쉬운 원소들

을 제거한 분말을 사용하였다. 모재인 GTD-111의 성분을 수정하였으므로 Modified GTD-111 (이하 MGTD-111)이라 명하였으며 Ni기 삽입금속과 혼합한 분말을 MGNXX (XX: 혼합분말중의 MGTD-111의 wt%)이라 명하였다. 표.2.1에 MGTD-111 및 Ni기 삽입금속인 GNI-3의 간략한 조성을 표시하였다.

가열은 고주파 유도로를 통해 수행되었으며 코일 내부에 그림 2.1과 같이 밀폐된 흑연 도가니 내부에 혼합분말을 넣은 알루미나 도가니를 넣은 후, CA열전대를 이용하여 흑연 도가니 내부의 분위기의 온도를 측정하며 가열하였다. 가열속도는 10K/min으로 했으며 냉각은 10K/min으로 냉각하였다.

Table 2.1. Chemical composition of the powder (wt%)

powder	Cr	Co	Ti	B	Ni	Etc.
MGTD-111	14	9.5	4.9	0.01	bal.	Al...
GNI-3	14	9.5	-	2.50	bal.	Al...

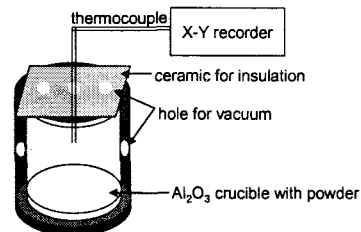


Fig 2.1. schematic of heat heating equipment

3. 결과 및 고찰

3.1 온도에 따른 용융현상

그림 3.1은 MGN50의 경우, 가열온도에 따른 단면의 전체 조직사진을 보여주며 그림 3.2는 그림 3.1에서 표시된 영역에 대해 좀 더 확대된 조직을 보여준다. 그림 3.1에서 보는 바와 같이 MGN50을 1413K로 가열한 경우, 전체적으로 그림 3.2에서 볼 수 있는 조직들이 관찰된다. 그러나 1418K로 가열 시 dendrite 조직이 관찰되며 일부 영역에서는 1413K로 가열했을 경우 나타나는 조직이 관찰된다. dendrite는 액상에서 응고되는 조직이므로 1418K로 가열할 경우 분말의 일부가 녹았으며 일부는 녹지 않고 잔존한 것으로 사료된다. 1423K로 가열한 시편의 경우 단면의 전체에서 dendrite가 관찰되므로 분말이 모두 용융되어 액상으로 존재하였으며 냉각에 의해 dendrite의 형태로 초정이 정출되고 잔류액상이 공정변태된 것으로 생각된다. 즉, 혼합분말에 존재하는 MGTD-111 분말의 경우, 온도가 올라감에 따라 액상에 의해 일부가 용융되며 일정한 온도 이상으로 가열될 경우 모두 용융될 것으로 사료된다.

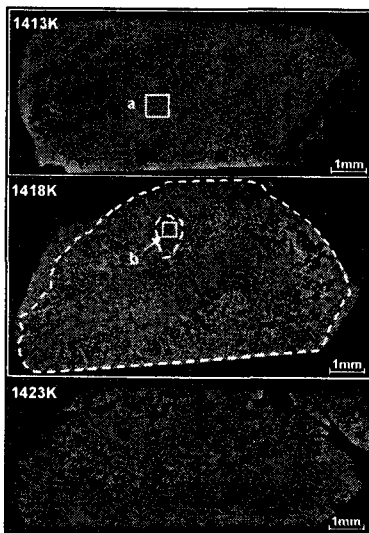


Fig 3.1. Section aspect of MGN50 with heating temperatures.

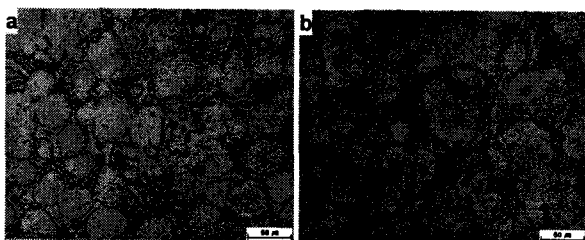


Fig 3.2. Higher-magnification view of the region outlined by the rectangle in Fig 3.1

3.2 가열 시 혼합분말의 미세조직

미용융된 MGTD-111 분말이 온도가 올라감에 따라 액상에 의해 용융되어 냉각 시 dendrite로 응고될 것으로 생각되었으므로 dendrite가 존재하는 영역(이하 액상영역)과 미용융된 분말이 존재하는 영역(이하 고-액 영역)에 대한 미세조직을 분석하였다.

그림 3.3에서 볼 수 있는 바와 같이 비교적 액상 영역과 고-액 영역이 명확하게 구분되는 MGN60을 1423K로 가열한 시편을 선택하였다. 그림 3.4는 그림 3.3에서 a로 표시된 액상 영역에 대한 SEM 사진을 보여주며, 그림 3.5는 그림 3.3에서 b로 표시된 고-액 영역에 대한 SEM 사진을 보여준다. 액상 영역에서는 dendrite 형태의 초정(a) 및 잔류액상에서 최종응고된 공정조직(b), 그리고 분해물로 생각되는 상(c)이 관찰된다. 고-액 영역에서는 미용융된 분말로 생각되는 상(d) 및 공정조직(e), 그리고 분해물로 생각되는 상(f)이 관찰된다. 미용융된 분말로 생각되는 상의 경우 상 내부에 분해물로 생각되는 작은 침상형의 상(g)이 존재하는 것이 특징이다. 분말을 모두 녹이기에 충분한 온도로 가열되지 못하였기 때문에 미용융된 분말이 존재하고 이 고상 분말이 냉각 시 핵생성 사이트로 작용하여 응고가 일어난 것으로 사료된다.

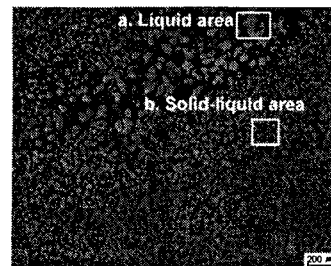


Fig 3.3. microstructure of MGN60 after heating to 1423K

3.3 가열에 따른 분말의 용융

MGTD-111 분말의 가열 시 용융 형상을 파악하기 위하여 액상과의 반응을 최소화할 수 있도록 급가열한 후 MGTD-111 분말의 미세조직을 관찰하였다. 그림 3.6은 분당 50K로 1408K로 가열했을 경우 MGTD-111 분말의 미세조직을 보여준다. 파우더의 입계를 통해 액상이 침투한 형상이 관찰된다. 이를 통해 액상의 침투에 의한

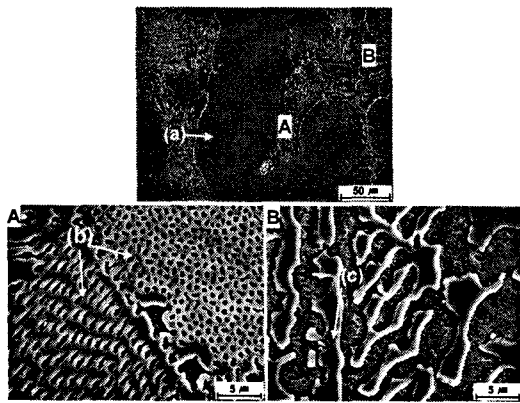


Fig 3.4. SEM microstructure of the region marked a in Fig 3.3

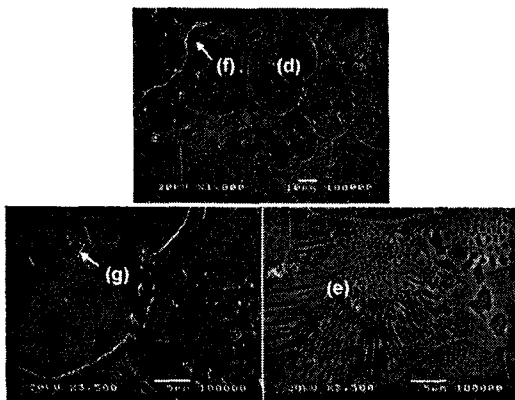


Fig 3.5 SEM microstructure of the region marked b in Fig 3.3

분말의 분해가 진행된다는 것을 알 수 있다. 분말이 분해됨으로 인해 액상과의 계면의 면적이 증가하게 되고, 이 메커니즘에 의해서 비교적 용점보다 훨씬 낮은 온도에서 분말이 용융될 수 있는 것으로 사료된다.

3.4 혼합비에 따른 용융현상

그림 3.7은 혼합비 및 가열온도에 따른 용융현상을 보여준다. 그림에서 표시된 dendrite zone은 dendrite가 관찰되는 영역을 나타낸다. 그림 3.7은 혼합비가 증가함에 따라 분말이 용융하기 위해 더 많은 온도가 필요하다는 것을 보여준다.

혼합분말이 완전용융하였을 때 혼합비에 따른 초정 dendrite의 분율을 그림 3.8에 도시하였다. MGN70의 경우 MGN50 및 MGN60에 비해 초정의 양이 많은데 이는 MGTD-111의 양이 많을수록 모재의 성분을 많이 포함하고 있으므로 응고시 초정으로 정출되는 양이 많기 때문인 것으로 사료된다.

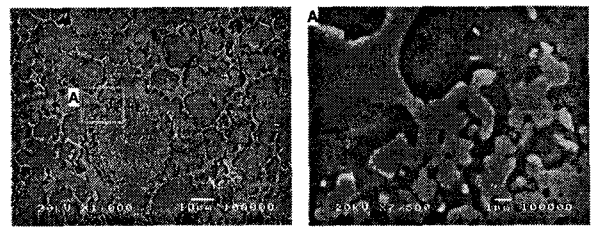


Fig 3.6. Microstructure of MGTD-111 powder showing penetration of liquid.

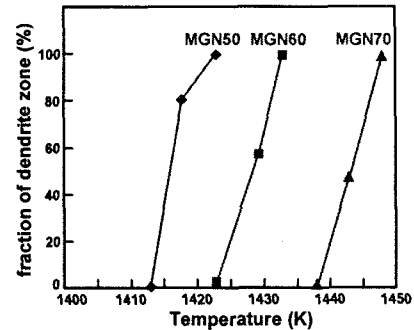


Fig 3.7. Dissolution of the mixed powder with the mixing ratio and temperatures.

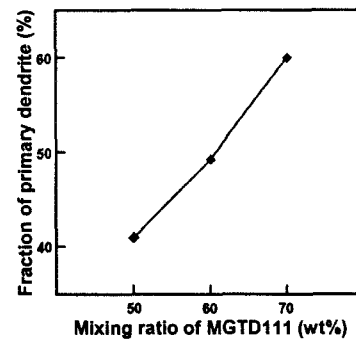


Fig 3.8 Fraction of primary dendrite with the mixing ratio

4. 결 론

상기 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. MGTD-111 분말과 GNI-3의 혼합분말을 가열할 경우, 온도가 올라감에 따라 액상 GNI-3에 의해 MGTD-111분말이 일부 용융되며 일정한 온도 이상이 되면 분말이 완전 용융된다.
2. 혼합분말의 가열 시 MGTD-111 분말은 액상의 침투에 의해 분해가 일어나며 이로 인해 용점보다 훨씬 낮은 온도에서 용융될 수 있다.
3. 혼합분말 중의 MGTD-111 분말의 양이 증가할수록 분말이 모두 용융되기 위해 더 높은 온도가 필요하며 완전 용융 시 모재의 성분을 많이 함유하고 있는 초정의 양이 많아진다.