

단결정 액상확산접합부의 생성상 거동 (Behaviors of Microconstituents in TLP-Bonded Region of Single Crystal Superalloys)

김 대업*, 강 정윤**

* 현대우주항공(주) 중앙연구소, ** 부산대학교 금속공학과

1. 서론

단결정 초내열합금의 조직관찰 결과에 의하면, 접합조건에 따라서 접합층내에 여러 형태의 생성상이 존재하게 되고, 이들은 접합이음부의 기계적 특성을 크게 저하시키는 원인이 되고 있다¹⁾²⁾. 본 연구에서는, 단결정 초내열합금을 액상확산접합하여 접합부 근방에 생성하는 생성상의 원소분석 및 동정을 행함과 동시에 접합조건에 따른 생성상의 생성상황에 대하여 조사하였다. 또한, 이들 결과에 기초하여 접합부 근방에 생성하는 생성상의 생성/소멸기구에 대해서 고찰하였다.

2. 공시재료 및 실험방법

모재는 Ni기 단결정 초내열합금인 CMSX-2 및 CMSX-4를, 인서트 금속으로서는 Ni기 합금 비정질 박막인 MBF-80 및 F-24를 사용했다. 이들의 조성을 Table 1에 나타낸다. 접합은 접합온도 1373~1548K, 유지시간 0~19.6ks, 가압력 2.3MPa의 조건에서 행하였다. 원소분석에는 EDX 및 EPMA를, 생성상의 동정에는 TEM을 사용하여 분석하였다.

Table 1. Chemical composition of materials used (mass%)

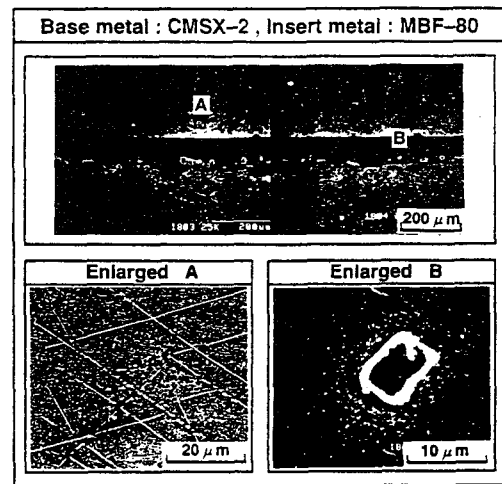
| Materials | | Ni | B | Cr | Co | Mo | W | Ti | Al | Ta | Re | Hf |
|--------------|--------|------|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Base metal | CMSX-2 | Bal. | - | 8.0 | 4.6 | 0.6 | 8.0 | 1.0 | 5.6 | 6.0 | - | - |
| | CMSX-4 | Bal. | - | 6.5 | 9.0 | 0.6 | 6.0 | 1.0 | 5.6 | 6.5 | 3.0 | 0.1 |
| Insert metal | MBF-80 | Bal. | 3.7 | 15.5 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | F-24 | Bal. | 2.8 | 8.8 | 8.0 | 10.8 | 3.7 | - | 2.9 | 3.0 | - | - |

3. 실험결과 및 고찰

3.1 생성상의 금속조직학적 검토

Fig.1은 CMSX-2에 MBF-80인서트금속을 사용해서 1373K×19.6ks의 등온응고완료 조건에서 접합한 이음부의 접합부 조직을 나타낸 것이다. 이들 생성상은 생성하고 있는 장소 및 형상에 따라 접합계면에 인접한 모재에 생성하는 칩상생성상, 미세한 입상생성상 및 접합층내에 존재하는 괴상생성상의 3종류로 분류할 수 있었다. EDX 및 EPMA에 의한 원소분석 결과, 이들 생성상들은 Cr, W등을 함유한 붕화물이었다. 또,

Fig.1 Microstructures of bonded interlayer and microconstituents for CMSX-2/MBF-80 joint



TEM으로 부터 얻어진 전자선 회절패턴을 동정한 결과, CMSX-2에 MBF-80인서트금속을 사용한 접합부에서는 M을 (Cr, W)으로 한 MB형, M₅B₃형, M₂B형의 3종류의 붕화물이, F-24인서트금속을 사용한 경우에는 위의 3종류의 붕화물 및 그외에 MB₄형, M₂B₅형, MB₂형, M₂B₃형의 7종류의 붕화물이 동정되었다.

3.2 생성상의 소멸온도

생성상의 소멸온도를 조사하기 위하여, 접합온도와 등온응고완료시의 생성상량과의 관계를 Fig.2에 나타낸다. 모든 접합부에서 접합온도의 상승에 따라 생성상량이 감소하고 있다. CMSX-2의 액상확산접합에서는, MBF-80인서트금속을 사용한 경우는 1503K이상, F-24인서트금속의 경우는 1548K이상, CMSX-4에 MBF-80인서트금속을 사용한 액상확산접합에서는 1523K이상의 접합온도에서 접합을 행하면 등온응고 완료시에 생성상이 없는 양호한 접합부를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

3.3 생성상의 생성·소멸 거동

Fig.3은 접합온도를 변화시킨 때의 유지시간과 접합층내의 생성상량과의 관계를 나타낸다. 생성상량은 접합초기 단계에서 일단 증가하여 접합시간이 길어짐에 따라 최대치를 나타낸 후에 감소하고 있다. 접합온도를 변화시킨 때의 유지시간과 접합층내 생성상의 평균 크기의 관계를 Fig.4에 나타낸다. 생성상량의 변화와 동일하게 생성상의 크기는 접합초기 단계에 유지시간에 따라 크게 되고, 그후에는 거꾸로 작아지는 경향을 나타낸다. 또, 접합온도가 낮을수록 생성상의 크기가 최대에 달하는 시간은 길어진다. 생성상의 개수와 유지시간과의 관계를 보면, Fig.5에 나타낸 바와 같이, 모든 접합온도에서 생성상의 개수는 유지시간에 따라 단순하게 감소하는 것을 알 수 있다.

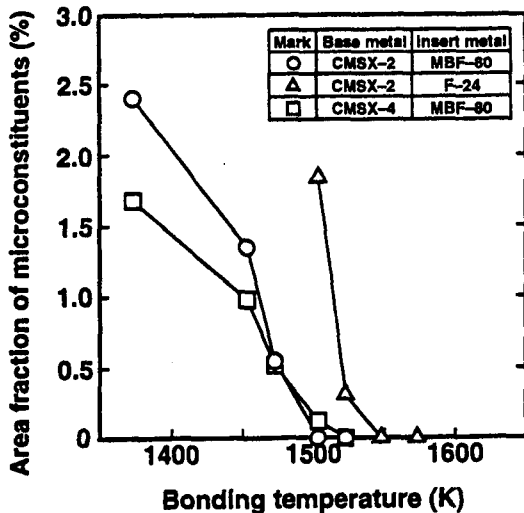


Fig.2 Effect of bonding temperature on the area fraction of microconstituents

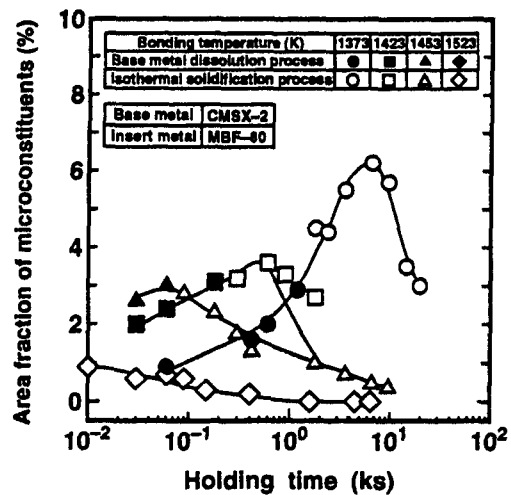


Fig.3 Relation between holding time and the area fraction of microconstituents

3.4 생성상의 구성원소의 변화

TEM에 의해 생성상의 동정을 행한 결과, 동일 접합층내에 수종류의 붕화물이 동정된

사실로부터, 유지시간 변화에 따른 각 봉화물의 존재비율을 조사했다. Fig.6에 의하면, M2B 형의 봉화물이 많이 동정되었으나, 유지시간의 증가에 따라 생성상이 MB형 → M₅B₃형 → M₂B 형으로 변화하는 경향이 인정되었다. 또, 생성상의 구성원소비의 변화를 보면, Fig.7에 보이는 것 같이 접합초기에는 Cr량이 많고 Cr과 W과의 비도 거의 변화하지 않으나, 유지시간이 길어짐에 따라 생성상내의 Cr량에 대한 W 혹은 Co함유량이 증가하는 경향을 나타냈다.

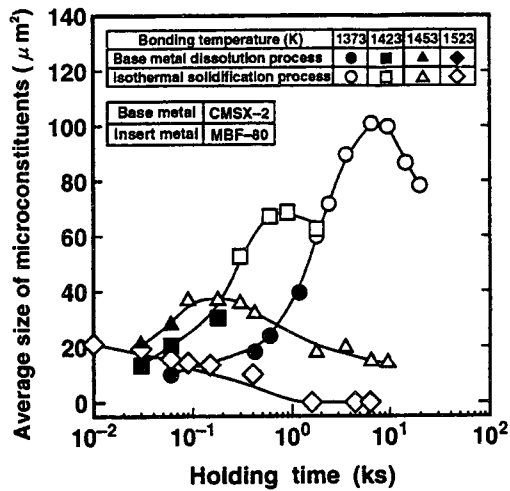


Fig.4 Relation between holding time and the average size of microconstituents

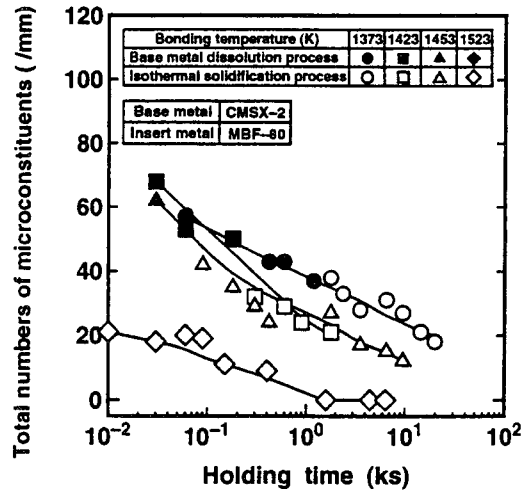


Fig.5 Relation between holding time and the total numbers of microconstituents

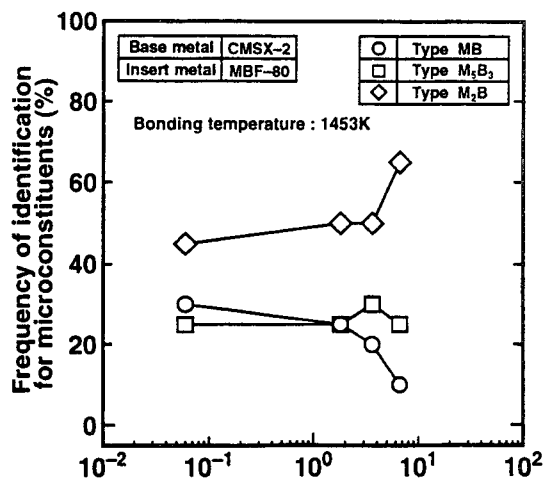


Fig.6 Relation between holding time and the frequency of identification for microconstituents

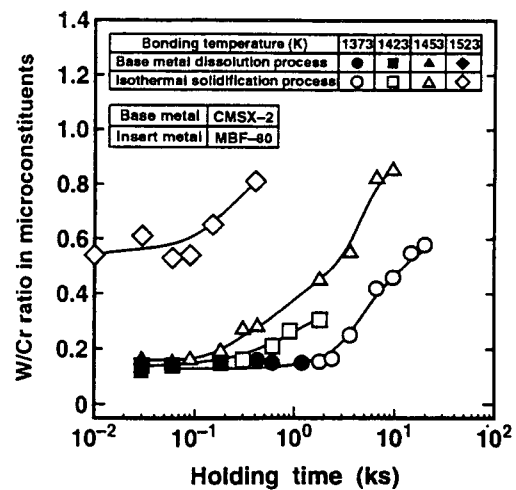


Fig.7 Relation between holding time and the element ratio consisted microconstituents

4. 결론

- (1) CMSX-2 및 CMSX-4에 MBF-80 및 F-24인서트금속을 사용하여 액상확산접합한 결과, 접합층 근방에는 Cr 및 W을 주성분으로 하는 붕화물의 생성상이 생성하였다.
- (2) 접합초기 단계에서는 작고 수많은 생성상이 생성하나, 접합온도 및 유지시간의 증가에 따라 생성상이 성장하고 더 유지시간이 길어지면 생성상은 MB형→M₅B₃형→M₂B형으로 변화하면서 분해·소멸하였다.
- (3) CMSX-2에 MBF-80인서트금속을 사용한 경우는 1503K이상, F-24의 경우는 1548K이상, CMSX-4에 MBF-80을 사용하면 1523K이상의 접합온도에서 접합을 행하면 등온응고 완료시에 생성상이 없는 양호한 접합부를 얻을 수 있었다.

※ 참고문헌

- 1) 田村, 恩拓, 鈴村 : 耐熱合金A286ならびにハステロイXの擴散接合, 日本溶接學會紙, 47-4, (1978) p230
- 2) 平根, 吉成, 森本 : Ni基超合金單結晶の液相擴散接合界面, 鐵と鋼, 72-13, (1986) p1607s