

**단결정 액상화산접합부의 단결정화 메카니즘**  
**(Single Crystallization Mechanism of**  
**TLP-Bonded Region of Single Crystal Superalloy)**

김 대업\*, 우 유철\*, 강 정윤\*\*

\* 현대우주항공(주) 중앙연구소,      \*\* 부산대학교 금속공학과

**1. 서론**

단결정 초내열합금은 입계강화원소를 함유하지 않기 때문에, 단결정 초내열합금을 접합할 경우 재료 본래의 특성과 동등한 기계적 특성을 얻기 위해서는 접합부를 모재와 동일하게 단결정화시킬 수 있는지 여부가 대단히 중요하다. 본 연구에서는, 동방위 및 이방위 액상화산접합체에 대해서 등온응고과정중에 모재로부터 성장하는 고상의 성장거동을 명확히 함과 동시에 접합부의 단결정화 메카니즘에 대해서 검토를 행했다.

**2. 공시재료 및 실험방법**

모재는 Ni기 단결정 초내열합금인 CMSX-2를, 인서트 금속은 MBF-80을 사용했다. 접합조건은 접합온도 1373~1523K, 유지시간 0~19.6ks, 가압력 2.3MPa이다. 모재 및 접합부의 양측에서의 결정방위 변화의 조사는 EBSD(Electron Back Scattering Pattern)법에 의해 분석을 행했다. 또, 접합계면 직접관찰용의 박막시료는 가속전압 200kV의 초고분해능 투과형 전자현미경을 사용해서 관찰했다.

**3. 접합부에서 고상의 성장현상**

단결정재의 액상화산접합에서 등온응고과정동안 양접합모재로부터 성장하는 고상의 결정방위 변화를 EBSD법에 의해 조사했다. CMSX-2에 MBF-80인서트 금속을 사용해서 1523×1.8ks의 조건에서 접합한 동방위 접합체에 대해, 접합한 상태 및 접합후열처리한 경우의 접합부의 양측에서 결정방위를 분석한 결과를 Fig.1에 나타낸다. 그림중의  $\Delta\bar{\theta}$ 는 접합계면에서의 양 접합재의 평균 결정방위차를 나타내고 있다. 접합한 상태에서는 각 분석위치에서의 결정방위는 약간의 오차는 인정되지만, 양측의 모재에서 성장한 고상의 결정방위는 거의 동일한 결정방위로 되어 있다. 또, 접합후열처리를 행한 경우에 있어서도, 접합계면에서의 결정방위의 변화는 인정되지 않는다.

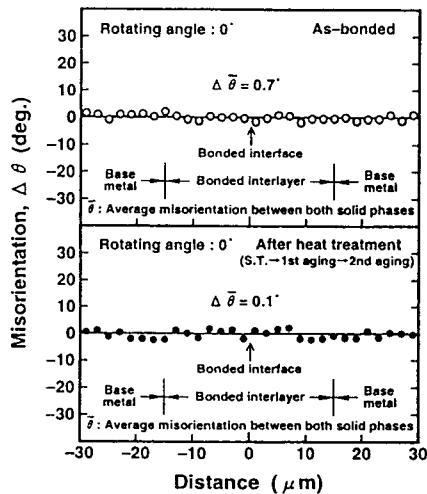


Fig.1 Misorientation analyzed by the EBSD method across the bonded interlayer for CMSX-2 joints with rotating angle of 0 degree.

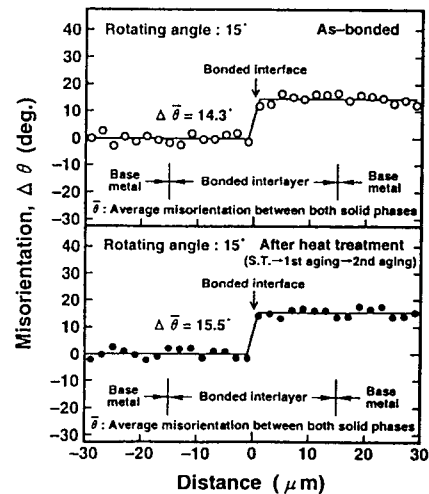
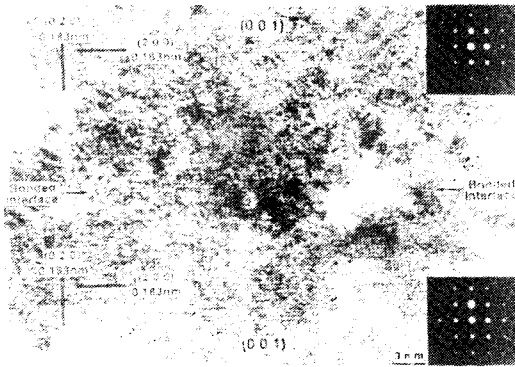


Fig.2 Misorientation analyzed by the EBSD method across the bonded interlayer for CMSX-2 joints with rotating angle of 15 degree.

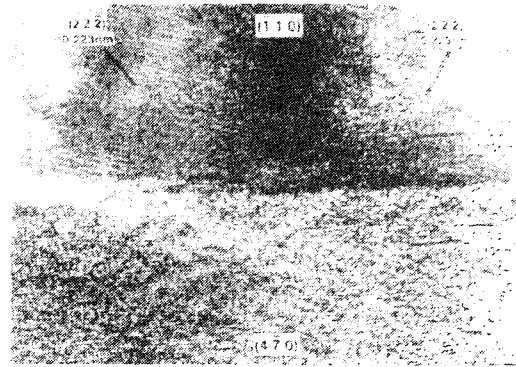
**Fig.2**는 회전각을 15°로 하였을 경우, 접합부의 양측에서의 결정방위를 분석한 결과이다. 회전각을 가지는 접합체에 있어서는, 고상의 성장은 각각의 양 모재의 결정방위를 그대로 반영해서 접합계면의 수직방향으로 성장하여, 최종응고계면의 접합계면에서 고상의 성장이 완료하고 있다. 또, 접합계면을 중심으로 대응하는 양 접합재의 결정방위는 틀리고, 접합계면에는 결정입계가 형성되어 있는 것을 반증하고 있다. 또, 접합후열처리를 행한 경우에도 접합한 상태와 비교하여 결정방위의 변화는 인정되지 않는다.

#### 4. 접합계면의 직접관찰

**Fig.3**은 동방위 접합체에 대해서, 접합한 상태에서 접합계면 근방에서의 격자상 및 결정방위 해석결과를 나타낸 것이다. 접합계면에 평행방향의 (200)면의 원자배열 및 수직방향의 (020)면의 원자배열 모두 최종응고계면인 접합계면을 구분할 수 없을 정도로 거의 동일방향으로 배열해 있고, 접합계면은 원자레벨에서 거의 정합하고 있다. 또, 회전각을 가지는 이방위 접합체에 있어서는 **Fig.4**에 나타낸 바와 같이 접합계면의 양측에서의 원자배열이 다른 것을 명확히 알 수 있고, 접합계면의 극히 근방에서도 원자배열의 흐트러짐이 생긴 흔적은 보이지 않는다.



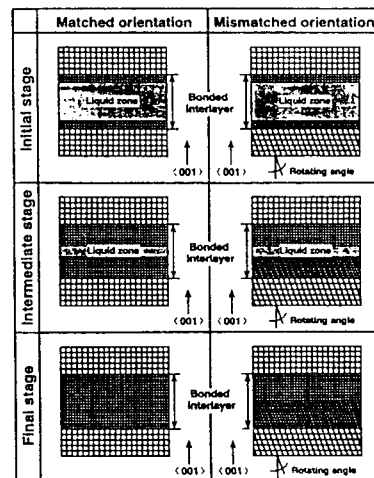
**Fig.3** Lattice image of bonded interface in CMSX-2 joint with rotating angle of 0 degree by the high resolution electron microscopy.



**Fig.4** Lattice image of bonded interface in CMSX-2 joint with rotating angle of 15 degree by the high resolution electron microscopy.

#### 4. 접합부의 단결정화 메카니즘에 관한 고찰

**Fig.5**에 동방위 및 이방위접합체를 액상확산접합한 때의 등온응고과정에서의 고상의 성장현상을 모식적으로 나타낸다. 등온응고 초기단계에서는 모재와 동일한 결정방위의 고상이 양 접합모재로부터 액상을 향해서 에피탁살 성장을 개시한다. 그후, 등온응고 진행중에 있어서도 등온응고 초기 단계부터 에피탁살 성장한 고상은 반대측의 모재에서 성장한 고상의 영향을 전혀 받지 않고, 각각의 고상의 결정방위를 유지하면서 성장을 계속한다. 등온응고 완료시에도 등온응고중에 양모재측으로부터 성장한 고상은 모재의 결정방위를 반영한 채로 에피탁살 성장하여 양고상의 회합부인 최종응고계면에서 고상의 성장이 완료한다. 최종적으로는 회합부에 있어서도 거의 원자오더의 격자 matching이 달성된다.



**Fig.5** Schematic illustration showing the growth phenomena of solid phase during isothermal solidification process.