

**Ni기 단결정 초내열합금 CMSX-2 접합이음부의 기계적특성**  
**(Mechanical Characteristics of TLP Bonded Joints of**  
**Ni-Base Single Crystal Superalloy, CMSX-2)**

김 대업\*, 우 유철\*, 강 정윤\*\*

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

**1. 서론**

Ni기 단결정 초내열합금은 고온에서의 기계적특성, 특히 크리프 파단강도가 대단히 우수하기 때문에 단결정 재료의 특성을 유지시킬수 있는 접합기술의 확립은 본 재료의 적용분야의 확대를 위해서도 불가결하다. 전 보고<sup>1)</sup>에서 CMSX-2 단결정의 액상확산접합현상을 명확히 하고, 접합부의 단결정화가 달성되는 최적접합조건을 구했다. 여기서, 본 보고에서는 단결정화가 달성된 접합조건에서 액상확산접합을 행하여, 그 접합이음부의 고온인장, 크리프 파단 및 고온저사이클 피로특성에 대해서 평가/검토를 행하였다.

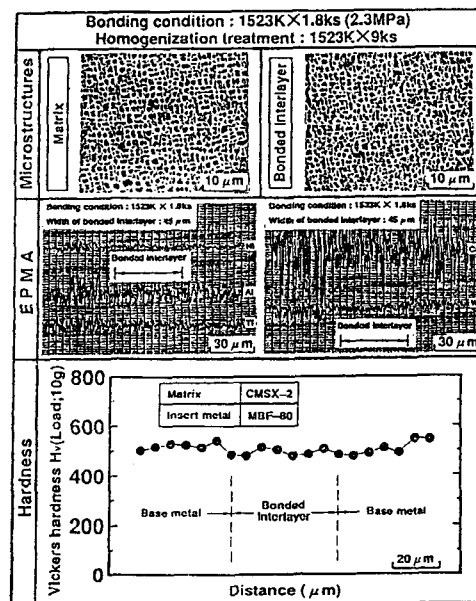
**2. 공시재료 및 실험방법**

본 실험에 사용한 모재는 Ni기 단결정 초내열합금인 CMSX-2를, 인서트 금속에는 시판의 비정질 박막인 MBF-80을 사용했다. 접합은 접합온도 1523K, 유지시간 1.8ks, 가압력 2.3MPa의 조건에서 행하였다. 접합후에는 용체화처리(1589K×7.2ks), 1차시효처리(1353K×14.4ks) 및 2차시효처리(1144K×72ks)의 순으로 Ar분위기중에서 열처리를 행하였다. 고온인장시험은 923~1173K에서 행하고, 크리프 시험은 시험시의 유지온도 및 응력을 수단계 변화시켜 행했다. 또한, 고온저사이클 피로시험은 전변형 범위를 1.2%, 1.5%, 2.0%로 한 때의 파단반복수를 측정했다.

**3. 접합부의 균일화 현상**

Fig.1은 1523K×9ks의 조건에서 균일화 처리한 후의 접합이음부의 조직, 합금원소의 농도변화 및 경도변화를 나타낸 것이다. 합금원소 및 경도분포 모두 모재와 접합부에는 차이를 보이지 않고, 거의 균일하게 되어있다. 한편, 접합이음부에 균일화처리를 생략하고 용체화처리만 행한 경우에도 합금원소 및 경도분포 모두 균일하게 되어 있어, 용체화처리만으로도 균일화처리를 대신할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

**Fig.1** Results of SEM structures, analyses by EPMA and hardness distribution in joint after homogenization treatment



#### 4. 접합이음부의 기계적특성

##### 4.1 고온인장 특성

액상화산접합이음부의 고온인장 시험결과를 Fig.2 및 Fig.3에 나타낸다. Fig.2에 보이는 바와 같이 시험온도 923~1173K에서 접합강도는 어느 시험온도에서나 모재강도와 거의 동등한 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 또, Fig.3에 나타낸 연신율 및 단면수축율은 시험온도가 낮은 경우에는 모재와 거의 동등한 값이 얻어졌으나, 시험온도가 1073~1173K에서는 모재의 값에 비해 약간 낮은 값을 나타내는 것도 있었다.

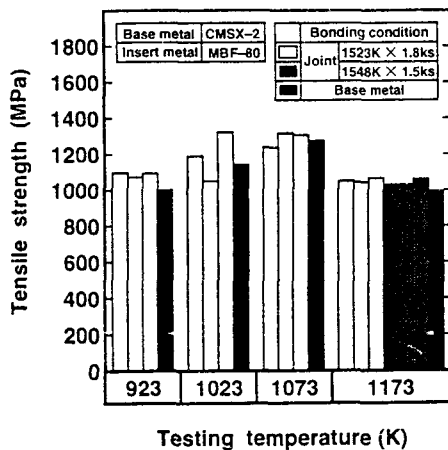


Fig.2 High temperature tensile strength of CMSX-2 joints

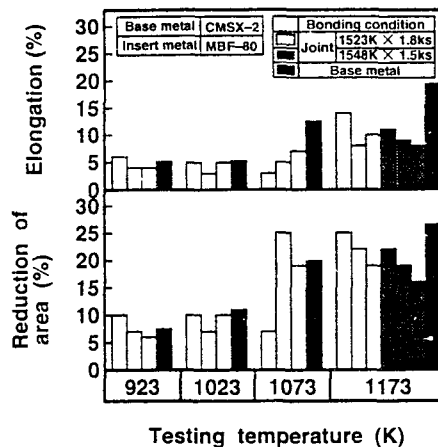


Fig.3 High temperature tensile properties of CMSX-2 joints

##### 4.2 크리프-파단 특성

Fig.4는 크리프 파단 시험결과를 Larson-Miller Parameter로 정리하여 모재강도와 비교한 것이다. 그림중의 곡선은 모재의 크리프 파단강도의 평균치를 나타내고 있다. 모든 접합이음부에서 크리프 파단강도는 모재와 같은 레벨의 파단강도를 나타내고 있고, 상당히 우수한 기계적특성을 가지는 접합이음부를 얻을 수 있었다.

##### 4.3 고온 저싸이클 피로 특성

Fig.5는 1523K x 1.8ks의 조건에서 접합한 이음부를 시험온도 1073K에서 고온 저싸이클 피로시험을 행한 결과를 모재의 결과와 비교해서 나타낸 것이다. 변형진폭이 큰 경우(전변형 범위:2.0%)에서는 접합이음부의 피로수명이 모재에 비해 다소 낮으나, 변형진폭이 작은 경우(전변형 범위:1.2%,1.5%)에는 접합이음부의 피로수명은 모재와 거의 동등한 값을 나타내는 것을 알 수 있다.

#### 5. 고온 파단형태

고온인장 파단면을 관찰한 결과, Fig.6에 나타낸 바와 같이 파단면은 마크로적으로는 3개의 파단형태로 대별되었다. 즉, Type A는 접합부에서 떨어져 있고 비교적 기복이 큰 예리한

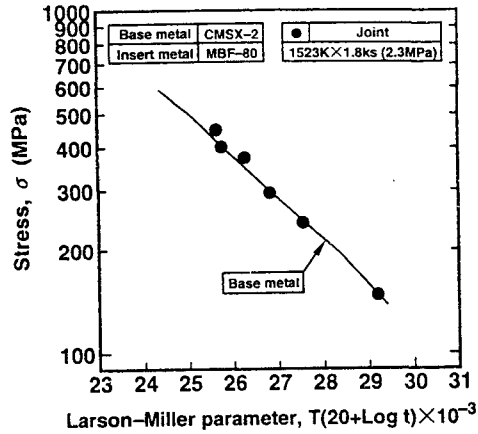


Fig.4 Creep rupture strength of CMSX-2 joints

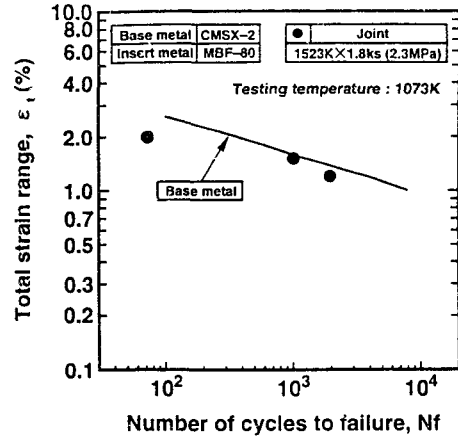


Fig.5 Low cycle fatigue properties of CMSX-2 joints

파단면, Type B는 인장방향에 대해 약 45도 방향으로 칼로 절단한 것 같은 매우 날카로운 파단면이었다. Type C는 접합부 부근에서 파단하여 비교적 기복이 있는 파단면이었다. 시험온도의 증가에 따라 접합이음부의 파단형태가 Type A → Type B → Type C로 변화하는 것을 알 수 있었다. 또한, Type B의 파단형태를 가진 시험편이 가장 인장강도가 높았으며, Type C의 경우가 연신율 및 단면수축율의 값이 높았다. 한편, 크리프 및 피로 시험파단면에서도 거의 모재 파단면이었으며, 접합부 파단은 인정되지 않았다.

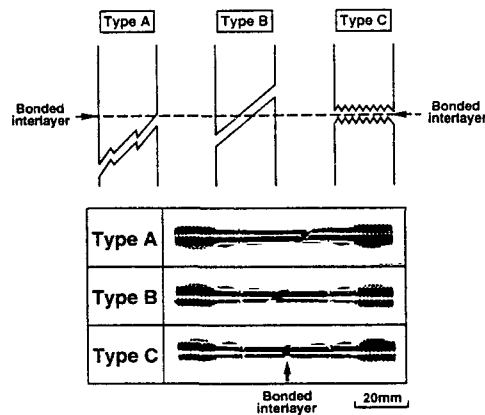


Fig.6 Classification of fracture mode of CMSX-2 joints

## 6. 결론

위 시험결과로부터, Ni기 단결정 초내열합금은 액상확산접합법에 의해 모재와 동일 레벨의 접합부 특성을 가지는 대단히 우수한 접합이 가능하다는 것을 명확히 알았다.

## ※ 참고문헌

- 1) 대한용접학회 춘계학술발표 개요집, (1997), p201~202