

단결정 초내열합금의 고온접합강도에 미치는 Twist Boundary의 영향 (The Influence of Twist Boundary on High Temperature Bonding Strength of Single Crystal Superalloy)

김 대업*, 강 정윤**

* 현대우주항공(주) 중앙연구소, ** 부산대학교 금속공학과

1. 서론

단결정 재료를 접합할 경우 접합현상 및 접합이음부의 기계적특성이 접합면에서의 결정 방위관계에 크게 의존하고 있는 것이 보고¹⁾²⁾되고 있으나, 그 기구에 대해서는 거의 연구가 행해지지 않고 있다. 본 연구에서는 접합부의 단결정화가 달성되는 조건에서 접합한 동방위 접합이음부 및 접합면에서 회전각(misfit)을 변화시킨 이방위 접합이음부에 대해 조직관찰을 행함과 동시에 크리프-파단특성을 평가하여 접합부의 고온 기계적특성에 미치는 접합방위의 영향에 대해서 조사하였다. 또한, 접합면에서의 회전각의 증가에 따른 크리프-파단특성의 저하요인에 대해서 검토를 행하였다.

2. 사용재료 및 실험방법

본 연구에 사용한 모재는 Ni기 단결정 초내열합금인 CMSX-2를, 인서트 금속으로서는 Ni기 합금 비정질 박막인 MBF-80을 사용했다. 이들의 조성을 Table 1에 나타낸다. 접합방법은 Fig.1에 나타낸 바와 같이, 동방위접합은 양접합재의 결정방위를 일치시켰으며, 회전각을 가지는 이방위접합에 있어서는 접합면이 <001>에 대해 수직방향이 되도록 축방위를 일치시켜 축방위를 중심으로 회전시켜 접합방위를 변화시켰다. 접합은 접합온도 1523K, 유지시간 1.8ks, 가압력 2.3MPa의 조건에서 행하였다. 크리프-파단 시험조건은 시험온도 1173K, 부하응력 372MPa로 일정하게 하여 크리프-파단시간을 측정했다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 회전각에 의한 접합부의 조직변화

Fig.2는 동방위 및 회전각을 5도, 10도, 15도로 한 경우의 접합후 열처리를 행한 접합부의 조직변화를 나타낸다. 접합후 열처리는 모재의 표준 열처리조건인 용체화처리(1589K×7.2ks→수냉), 일차시효처리(1353K×14.4ks→수냉) 및 이차시효처리(1144K×36ks→공냉)의 순으로 Ar분위기중에서 실시했다. 매크로 조직에서는 회전각이 증가할수록 양접합재의 결정 방위차에 따라 접합부의 최종응고계면이 선명하게 관찰되고, 회전각이 15도 이상이 되면 최종응고계면에서 분리·파단하고 있다. 최종응고계면에서의 마이크로 조직을 보면, 동방위에서는 접합계면에서의 γ' 상이 균일하게 배열하나, 회전각이 증가할수록 최종응고계면이 보다 명확히 관찰되는 것으로 보아 접합부에 입계가 형성되어 있는 것으로 사료된다. 따라서, 접합부에서의 회전각이 커질수록 접합부의 단결정화가 달성되어 있지 않을 가능성이 크다고 판단된다.

3.2 크리프-파단특성의 결정방위 의존성

1523K×1.8ks의 조건에서 접합한 동방위 접합이음부의 크리프-파단강도를 Larson-Miller 파라미터로 정리하여 모재강도와 비교하여 Fig.3에 나타낸다. 모든 접합이음부의 크리프-파단강도는 모재와 동일한 레벨의 파단강도 및 수명을 나타내고 있다. 연신을 및 단면 수축율은 모재에 비해 약간 낮은 값을 나타냈다. Fig.4는 크리프-파단강도에 미치는 접합부에서의 회전각의 영향을 조사한 결과이다. 회전각 3도 이하에서는 거의 모재와 같은 강도를 나타내나, 회전각이 5도에서는 모재의 약1/2의 파단강도를 나타내어 회전각이 증가할수록 크리프-파단강도가 현저하게 저하하는 것을 알 수 있다. 회전각이 15도 이상에서는 시험편 가공도중에 파단되어 시험이 불가능하였다. 또한, 열처리분위기에 의한 영향을 보면, 크리프-파단강도가 낮은 8도~15도의 회전각에서는 진공중에서 열처리한 경우가 Ar중에서 열처리한 경우보다 크리프-파단강도가 약간 개선되었다. 각 시험편의 파단면을 관찰한 결과, 회전각이 커질수록 최종응고계면에서 파단하는 비율이 증가하고, 회전각 10도 이상에서는 완전히 최종응고계면에서 파단되었다. 연신을 및 단면수축율의 경우도 회전각이 증가함에 따라 저하하는 경향을 나타냈다.

접합부에서의 회전각의 증가에 따른 크리프-파단특성의 저하는 접합계면이 입계에너지의 증가에 의해 에너지적으로 불안정하기 때문에 접합후 열처리에 접합계면에서의 산소침입이 용이하여 입계산화량의 증가에 기인한 입계취화가 생기는 것이 주요요인으로 판단되었다.

4. 결론

- (1) 접합부에서의 회전각이 커질수록 최종응고계면이 명확하게 관찰되고, 회전각이 15도 이상의 이음부에서는 접합후 열처리를 실시한 경우 최종응고계면에서 분리·파단하였다.
- (2) 1523K×1.8ks의 조건에서 접합한 동방위 접합이음부는 모든 시험조건에서 모재와 동일한 크리프-파단강도 및 수명을 나타내었다.
- (3) 회전각을 가지는 접합이음부에서는 회전각이 3도 이하에서는 모재와 동일한 크리프-파단강도를 나타내나, 그후 회전각이 증가할수록 크리프-파단강도, 연신을 및 단면수축율은 현저하게 저하하였다.

※ 참고문헌

- 1) 大橋, 目黒, 山縣 : Ni基單結晶超耐熱合金TMS26の擴散接合部に及ぼすねじり角の影響, 日本金屬學會誌, 59-3, (1995) p319
- 2) 大橋, 菅 : モリブデン單結晶の擴散接合部の引張強さとねじり角との關係, 日本溶接學會論文集, 10-1, (1992) p53

Table 1 Chemical composition of materials used (mass%)

| Materials | | Ni | B | Cr | Co | Mo | W | Ti | Al | Ta |
|--------------|--------|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Base metal | CMSX-2 | Bal. | - | 8.0 | 4.6 | 0.6 | 8.0 | 1.0 | 5.6 | 6.0 |
| Insert metal | MBF-80 | Bal. | 3.7 | 15.5 | - | - | - | - | - | - |

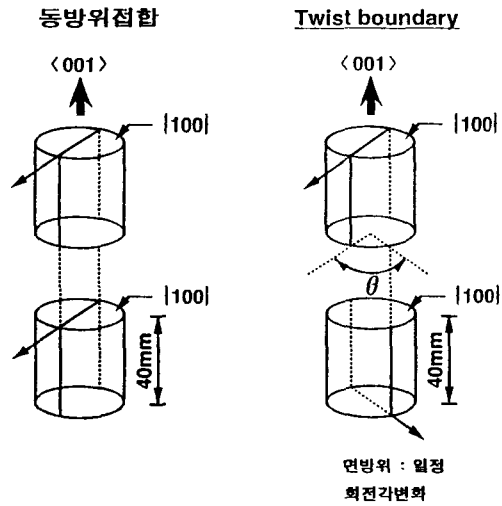


Fig.1 Schematic illustration of bonding method

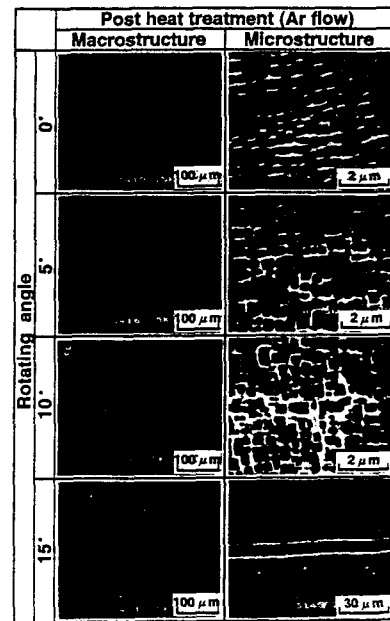


Fig.2 Macro and microstructures of bonded interlayer with rotating angle after heat treatment in Ar flow

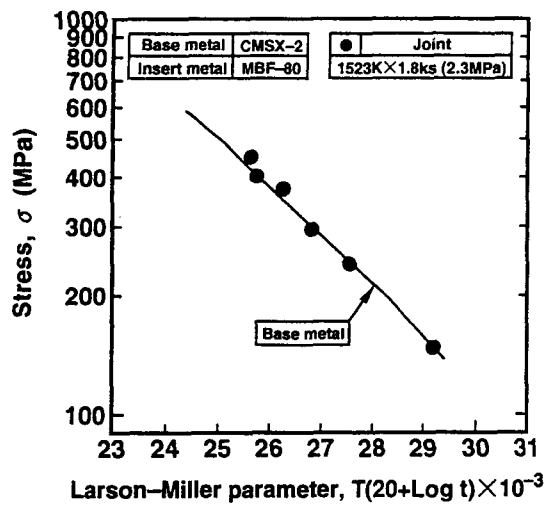


Fig.3 Creep rupture strength of joints

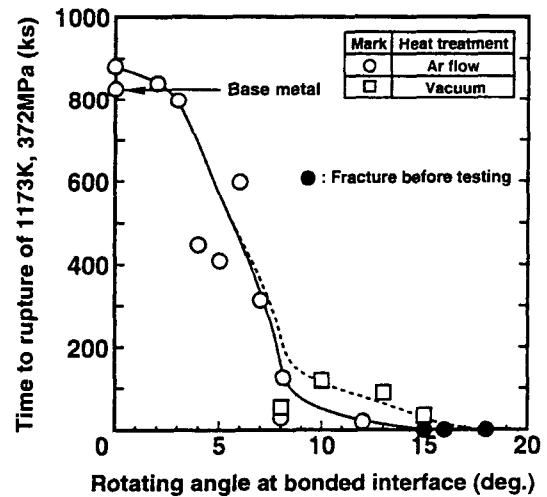


Fig.4 Relation between the creep rupture time of joints and the rotating angle at bonded interface