

단련용 Ni기 초내열합금의 입계구조 제어를 통한 HAZ 특성 향상 가능성 고찰

홍현욱, 김인수, 최백규, 정희원, 유영수, 조창용
한국기계연구원 재료연구소, 구조재료연구본부

Potential of HAZ Property Improvement through Control of Grain Boundary Character in a Wrought Ni-based Superalloy

H.U. Hong, I.S. Kim, B.G. Choi, H.W. Jeong, Y.S. Yoo, C.Y. Jo
Structural Materials Division, Korea Institute of Materials Science

Abstracts

단련용 다결정 Ni기 초내열합금은 우수한 가공성, 내산화성, 고온특성 등으로 가스터빈 연소기, 디스크, 증기발생기 전열관 등 발전용 고온부품 소재에 널리 적용되고 있다. 최근 발전설비의 고효율화를 꾀하기 위해 작동 온도를 현격히 증가시키는 기술방향으로 발전하고 있고, 소재측면에서는 기존의 초내열합금 대비 고기능성을 확보할 수 있는 차세대 Ni기 초내열합금 개발이 유럽, 미국, 일본, 중국 등을 중심으로 활발히 이루어지고 있다. 이러한 소재의 고온강도 (온도수용성)를 향상시키기 위해서는 통상 규칙격자 금속간화합물인 $Ni_3(Al,Ti)-\gamma'$ 상의 분율을 증가시킬 수 있지만, γ' 상분율이 증가할 경우 용접 및 후열처리 동안 용접열영향부 (HAZ)에서 액화균열이 발생할 가능성이 높아진다. 결정립계를 따라 발생하는 HAZ 액화균열은 입계특성에 의해 크게 영향을 받을 것으로 판단된다.

한편, 본 연구자들은 최근 입계 serration 현상을 단련용 합금에 도입시키는 특별한 열처리를 이론적 접근법을 통해 개발하였다. 형성된 파형입계는 결정학적인 관점에서 조밀 {111} 입계면을 갖도록 분해 (dissociation)되어 낮은 계면에너지를 갖게 됨을 확인하였으며, 입계형상 변화뿐만 아니라 탄화물 특성변화까지 유도하여 크리프 수명을 기존대비 약 40% 정도 향상시킴을 확인하였다. 이러한 직선형 입계 대비 'special boundary'로 간주되는 파형입계가 도입될 경우, HAZ 결정립크기 변화 및 액화거동에 미치는 영향을 고찰하고, 아울러 입계특성 제어가 용접성/용접부 품질 향상에 기여할 수 있는 가능성도 토의하고자 하였다.

본 연구에서는 재현 HAZ 열사이클 시험을 통해 미세구조를 정량적으로 비교하였다. 상대적으로 입계구조가 안정된 파형입계의 이동속도가 고계면 에너지를 갖는 직선형 입계보다 느려 HAZ 결정립 성장이 효과적으로 억제됨을 확인할 수 있었다. 입계 액화거동을 살펴보면, 두 시편 모두 $M_{23}C_6$, MC 등 입계탄화물 계면이 빠른 승온중 액화반응 (constitutional liquation)에 의해 입계가 액화되었으며, 이후 급냉에 의해 입계에 액상막이 존재한 흔적이 발견되었다. 최고온도별로 입계액화 폭/비율을 정량적으로 비교한 결과, 파형입계가 직선입계 대비 대체로 낮음을 확인할 수 있었으며, 때때로 액화되지 않고 잔존하는 입계 탄화물이 관찰되었다. 재현 HAZ 미세조직을 통해 Hot ductility 시험 결과를 유추하자면, 파형입계가 직선입계 보다 좁은 취성온도영역 (Brittle Temperature Range)을 나타낼 것으로 예상되어, 입계특성제어에 의해 Ni기 초내열합금의 용접성을 향상 가능성을 확인하였다.

Key Words : Ni-based superalloy, HAZ, Liquation, Serration, Grain boundary character