

단결정 초내열합금 CMSX-4의 고온등압압축처리 효과에 관한 연구  
(The effect of Hot Isostatic Pressing for CMSX-4 single crystal  
superalloy.)

김두수, 장중철, 최철, 박원식, 김재철, 유영수\*  
한전 전력연구원  
\*한국기계연구원

발전용 가스터빈 설비는 산업의 고도화, 환경친화 기술, 고효율화 기술에 의해 급격히 증가하였으며, 대부분의 기술들이 항공 및 국방산업과 관련되어 있는 첨단 및 고부가가치 기술이다. 고성능의 터빈 엔진 개발이 요구되고 있는 가운데 발전용 가스터빈 엔진에도 일방향/단결정 터빈 블레이드의 개발과 적용이 가속화되고 있다. 진공주조한 다결정 터빈 블레이드는 고온에서 사용중 결정입계가 취약하여 파괴가 결정입계에서 우선적으로 일어나기 때문에 응력과 수직 방향으로 결정입계를 제어한 일방향 블레이드와 결정입계를 완전히 제어한 단결정 블레이드가 실용화되고 있다. 일방향 및 단결정 블레이드의 실용화로 고온 크립 특성과 열피로 특성이 증가되었다. 발전용 가스터빈 블레이드의 길이가 약 350mm 정도의 대형이며 부위별로 두께 및 형상의 변화가 크다. 이러한 형상의 단결정 블레이드의 경우 두께가 두껍고 길이가 상대적으로 길기 때문에 내부에 기공 발생이 쉽다. 이들은 사용 중에 균열생성의 우선장소로 역할을 한다. 이와 같은 결함을 제거하기 위해 본 연구에서는 고온등압압축기술(Hot Isostatic Press: HIP)을 이용하여 그 효과를 분석하였다.

단결정용 Ni기 초내열합금인 CMSX-4를 진공주조로 시험편을 제작하여 균질화 처리와 시효 처리를 한 후 고온등압압축처리를 하였다. 단결정 초내열합금의 경우  $\gamma'$ 상의 충분한 고용이 일어나기 전에 압력이 가해지고 또  $\gamma'$ 상의 고용범위가 극히 제한되어 있으므로 온도가 불균일할 경우 소재의 국부용융이 일어나기 쉽다. 따라서 초기에는 극히 낮은 압력조건으로 유지하면서 CMSX-4의 최종 용체화처리 온도까지 서서히 가열한 후 일정시간 유지한 다음 압력을 일정시간에 걸쳐 서서히 올린 다음 충분한 시간 유지하여 가능한 한 빨리 냉각시켰다. HIP처리 후에 용체화처리를 다시 한 다음 시효처리를 거쳐 시험편을 제작하였다. 각 시험편을 미세조직이 변화되지 않게 절단하여 미세조직 관찰용 시험편을 제작하였다. 연마한후 6, 3, 1, 0.25 $\mu\text{m}$ 의 다이아몬드 현탁액으로 정마하였다. 시험편을 Leica MEF4M 금속현미경으로 기공의 분포를 관찰하였고, 에칭액으로 부식시킨 후 금속현미경으로 미세조직을 관찰하고 Jeol JSM5410 SEM으로  $\gamma'$ 의 형상을 관찰하였다. 기계적 성질변화는 355MPa 950 $^{\circ}\text{C}$ 조건에서 ATS 사 크리프시험기로 응력과단시험을 하여 HIP처리의 효과를 분석하였다.

1. H.V Atkinson, Hot Isostatic Processing, H.I.P Limited, 1991
2. D.Sieborger, H.Knake, U.Glatzel, Mat. Sci. & engA. 298, 26(2001)
3. B. Bottger, U.Grafe, D.Ma, Superalloy 2000, 313(2000)
4. A.K, Koul, Advances in High Temperature Structural Materials and Protective Coatings, National Research Council of Canada, 1994, Chap.8
5. 최철, 한국재료학회지, 제10권, 제2호, 128(2000)