

**GTD-111 초내열합금의 고온등압압축처리(HIP)과 후열처리가 미세조직과
기계적 특성에 미치는 영향**
(The effect of Hot Isostatic Pressing and post heat treatment on the
microstructure and mechanical properties for GTD-111 superalloy)

장중철, 김두수, 최철, 박원식, 이성호, 김재철
한전 전력연구원

가스터빈의 고온부 부품중 가장 열악한 환경하에서 사용되는 1단 버켓은 고온에서 우수한 크리프 파단 특성과 열피로 특성이 요구된다. 니켈기 초내열합금은 γ' 이나 탄화물같은 석출물에 의한 강화 및 고용에 의한 강화효과에 의하여 고온에서의 기계적 성질이 우수하고 내식과 내마모성이 뛰어나 항공기용 및 산업용 엔진 재료로 많이 사용되고 있다.

GE에서 개발한 GTD-111 초내열합금은 IN738보다도 20°C 우수한 크리프 성질을 보일 뿐 아니라 저주기 피로 저항성이 우수하고 비슷한 정도의 부식저항성을 갖는 것으로 알려져 1단 버켓 뿐 아니라 3단 버켓 등에도 사용되고 있다. 한편, 고온등압압축처리(HIP) 기술은 1970년대부터 진공정밀주조품의 구조결합의 하나인 미세기공의 제거에 따른 기계적 성질을 향상시키고 클프 손상을 입은 모재의 creep void를 제거하여 파단수명을 연장시키는 수단으로 주목받기 시작하였다.

Cannon Muskegon사에서 구입한 ingot을 진공정밀주조하여 환봉시편($\phi 20 \times 200\text{mm}$)을 얻었다. 우선 열처리 조건을 알기 위해 DTA 분석을 수행하였으며, 이 결과를 바탕으로 시편을 Quintus-3 type(ABB사) HIP장비를 사용하여 1150°C, 1175°C 및 1200°C에서 100MPa의 압력하에서 4시간동안 유지시킨 후 급냉시켰다. 단, 초내열합금의 경우 γ' 상의 충분한 고용이 일어나기 전에 압력이 가해지고 또한 γ' 상의 고용범위가 극히 제한되어 있으므로 온도 분포가 불균일할 경우 소재의 국부적인 용융이 일어나기 쉽다. 따라서 초기에는 극히 낮은 압력조건으로 유지하면서 최종 조건으로 수행하였다. HIP처리 후 시편을 다시 1120°C, 2시간동안 용체화처리를 한 다음 843°C에서 24시간동안 시효처리를 거쳐 시험편을 제작하였다.

각 조건에 대한 미세조직의 변화를 확인하기 위해 시편을 제작하여 연마지로 #2000번까지 연마한 후 6, 3, 1, 0.25 μm 의 다이아몬드 현탁액으로 연마하였다. 연마된 시편에 대해 Leica MEF4M 금속현미경을 사용하여 기공의 분포를 관찰하였으며, 다시 증류수(170ml)질산(20ml)빙초산(10ml) 용액으로 1.5V의 조건으로 1분 10초간 전해 에칭하여 금속광학현미경으로 조직을 관찰하고 미세조직은 EDS가 장착된 Jeol JSM5410 SEM으로 γ' 의 형상을 관찰하였다.

HIP처리와 후열처리에 따른 기계적 특성변화를 관찰하기 위해 각 조건의 시편을 제작하여 인장 시험(25°C와 650°C)은 Instron사의 고온 인장 시험기를 사용하였으며 응력파단시험(187MPa에서 870°C 및 982°C)은 ATS사 크리프시험기로 수행하였으며, 각 파단된 시편에 대한 분석을 다시 SEM으로 수행하였다.

1. J. F. Radavich, P. D. Desai, "Hot Isostatic Pressing and Rejuvenation Technology", MIAC Report #4, Sponsored by Defence Technology Information Center, 1994
2. J. A. Daleo, J. R. Wilson, J. Eng. for Gas Turbines and Power, Apr., Vol. 120, 1998
3. K. C. Antony, J. F. Radavich, in Superalloys 1980, p257
4. N. S. Cheruvu, V. P. Swaminathan, 99-GT-425
5. D. N. Duhl: Superalloys II, John Wiley & Sons