

니켈기 초내열합금 IN738LC의 저주기피로 특성 평가 Estimation of LCF Characteristics of Ni-base Superalloy IN738LC

*이동근¹, 이시영¹, 구재민², #석창성²

*D. K. Lee¹, S. Y. Lee¹, J. M. Koo², #C. S. Seok(seok@skku.edu)²

¹성균관대학교 대학원 기계공학과, ²성균관대학교 기계공학부

Key words : Superalloy, Low cycle Fatigue

1. 서론

터빈 블레이드는 화력발전소 증요설비 중 하나로서, 니켈기 초내열 합금이 주요 재료로 사용된다. 가스터빈 작동 시 블레이드는 3600 rpm 정도의 고속 회전에 의해 원심응력을 받게 되며 동시에 잦은 가동 및 정지 특성으로 저주기적인 피로를 겪고 있다. 또한, 화염에 의해 고온 환경에서 작동되므로 열피로와 기계적 피로를 동시에 받는 가혹한 조건에서 가동되고 있다.[1]

장시간 가동 시 터빈 블레이드는 극심한 가동 환경에 의한 결함 및 파손이 발생할 수 있으며 이는 심각한 인명피해와 재산피해를 야기시킬 수 있다. 따라서 이를 방지하기 위해 가스터빈 블레이드 소재의 내구수명 평가 및 수명 예측에 관한 연구가 필수적이다.[2,3]

이에 본 연구에서는 가스터빈 블레이드에 널리 적용되는 IN738LC에 대해 고온 저주기피로(LCF) 시험을 수행하였다. 가스터빈 가동 환경을 고려하여 LCF 시험은 850℃에서 다양한 변형률 범위로 진행 하였으며, 이를 통해 $\epsilon-N$ 선도를 획득 하였다. 또한, 획득한 선도를 통해 IN738LC에 대한 LCF 수명 예측식을 도출하였다.

2. 시험 장치 및 조건

본 연구에서는 LCF 수명 평가를 위해 상용 가스터빈 블레이드에 널리 사용되는 니켈기 초내열 합금 IN738LC를 선택하였다. LCF 시험에 앞서 시험 조건을 도출하기 위해 Shimadzu사의 25ton 용량 전기 모터식 시험기를 이용하여 인장 시험을 수행하였으며 동일 시험기를 이용하여 LCF 시험을 수행하였다.

온도조건의 경우 가스터빈 블레이드 가동 시 소재의 온도와 유사하여 IN738LC 물성 평가에서

보편적으로 적용되는 850℃를 기준으로 하였다.[4] 인장 시험편은 ASTM-E8[5]에 의거하여 제작하였으며 1mm/min의 속도로 시험을 수행하였다. 또한, 시험 시 변형률게이지를 장착하여 시험과 동시에 시험편의 변형률을 측정하였다.

LCF 시험편의 경우 ASTM-E606[6]에 의거하여 제작하였으며, 1Cycle을 20분으로 하여 850℃에서 인장 및 압축 조건이 반복되도록 시험을 진행하였다. 파손 수명은 시험편이 완전히 파단 될 때를 기준으로 하였다.

Fig. 1은 LCF 시험편 형상을 나타내며, Fig. 2는 시험에 사용된 장치를 나타낸다.

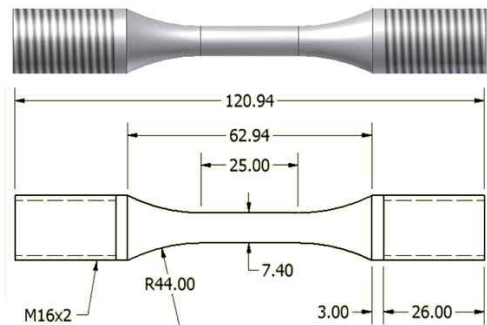


Fig. 1 Low cycle fatigue test specimen



Fig. 2 Test equipment

3. 시험 결과 및 고찰

인장 시험 결과 850℃에서의 항복 강도는 약 630MPa 로 나타났으며, 약 13.5%까지 변형된 후 파단 되었다. 인장 시험 결과를 바탕으로 변형률 범위 0.352, 0.250, 0.203, 0.153%에서 LCF 시험을 수행하였으며, 그 결과를 Table 1 및 Fig. 3에 나타내었다. Fig. 3의 x축은 시험편 파단 수명을 나타내며, y축은 변형률 범위를 나타낸다. 또한, Fig. 4에 변형률 범위 0.352% 시험에 대한 Hysteresis loop를 나타내었다.

Table 1 Low cycle fatigue test result

Strain Amplitude, %	0.352	0.250	0.203	0.153
Failure Cycle, N	11	46	84	150

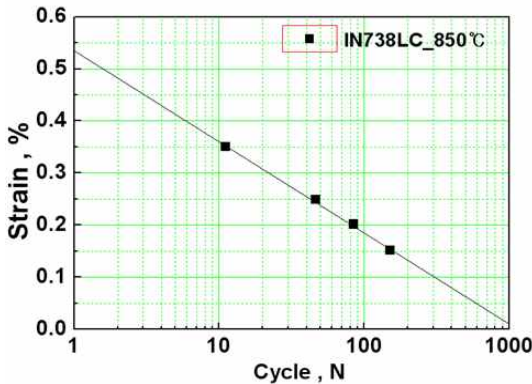


Fig. 3 Low cycle fatigue test result and life prediction

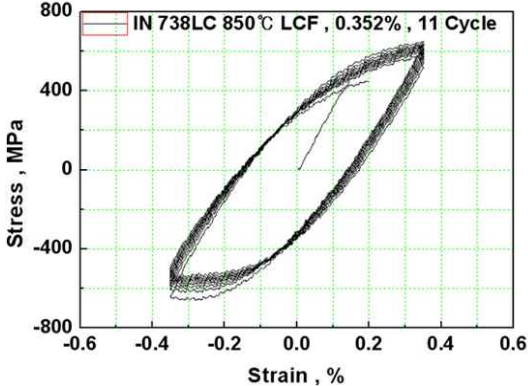


Fig. 4 Hysteresis loop of low cycle fatigue test (0.352%)

LCF 시험 결과 변형률 범위가 증가할수록 파손 수명은 점차 감소하였으며, 변형률(ϵ)과 파손수명(N_f) 사이의 관계는 식 (1)과 같이 나타났다.

$$\epsilon_{LCF} = 0.535 - 0.175 \times \log(N_f) \quad (1)$$

또한, Fig. 4에 나타난 바와 같이 시험 사이클이 증가함에 따라 최대 응력이 감소하는 피로연화(cyclic softening) 경향이 관측되었다. 이는 재료 내부의 성질이 전위의 이동이 쉬워지는 방향으로 변하는 것으로 황권태 등이 수행한 연구와 일치하는 결과이다.[7]

4. 결론

본 논문에서는 IN738LC에 대하여 고온 LCF 시험을 수행하였으며, 이를 통해 얻어진 결론은 다음과 같다.

1. LCF 시험 결과 변형률과 파손수명 사이의 관계는 $\epsilon_{LCF} = 0.535 - 0.175 \times \log(N_f)$ 와 같이 나타났다.
2. LCF 시험 사이클이 증가함에 따라 최대 응력이 감소하는 피로연화(cyclic softening) 경향이 관측되었다.

후기

This work was supported by the R&D program of the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) grant funded by the Korea government Ministry of Knowledge Economy (No. 20111020400020).

참고문헌

1. I.G. Wright, T.B. Gibbons, "Recent developments in gas turbine materials and technology and their implications for syngas firing," International Journal of Hydrogen Energy, 32, 3610 - 3621, 2007.
2. W.J. Evans, J.E. Screech, S.J. Williams, "Thermo-mechanical fatigue and fracture of INCO718," International Journal of Fatigue, 30, 257-267, 2008.
3. Brooks JW, Bridges PJ, "Metallurgical stability of inconel alloy 718," Superalloys 1988, 33-42, 1988.
4. "Gas Turbine Blade Superalloy Material Property Handbook," EPRI, 2001.
5. "Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials," ASTM-E8, 2002.
6. "Standard Practice for Strain-Controlled Fatigue Testing," ASTM-E606, 2005.
7. 황권태, 김재훈 외 3인, "니켈기 초내열합금 IN738LC의 고온 저주기피로 거동," 대한기계학회 논문집 A권, 34권 10호, 1403-1409, 2010.