

가스터빈 블레이드의 저주기 수명평가

Evaluation on Low Cycle Fatigue Life of Gas Turbine Blade

*김용석¹, 신인환², #석창성², 구제민²

*Y. S. Kim¹, I. H. Shin¹, #C. S. Seok(seok@skku.edu)², J. M. Koo²

¹성균관대학교 대학원 기계공학과, ²성균관대학교 기계공학부

Key words : Low Cycle Fatigue, Tensile Test, Cyclic Hardening, Cyclic Softening

1. 서론

항공기 및 발전용으로 널리 사용되고 있는 가스터빈은 효율성의 극대화를 위해 지속적으로 가동온도가 증가하여왔으며, 현재 약 1350°C의 온도조건에서 약 3600rpm의 속도로 고속 회전하는 가혹한 환경 속에서 운전되고 있다. 따라서 가스터빈 고온 핵심 부품들의 고온 신뢰성 평가 및 파괴 메커니즘 분석은 우수한 가스터빈의 설계를 위해 필수적으로 선행되어야 할 연구이다.[1]

본 연구에서는 상온 및 고온 인장시험을 통해 국내 발전설비에 사용되는 가스터빈의 1단 블레이드 소재인 GTD-111DS의 상온 및 고온 특성을 비교·평가 하였으며, 실제 가스터빈의 가혹조건을 고려한 상온 및 고온에서의 저주기 피로시험을 통해 재료의 온도에 따른 피로저항성을 비교·평가 하였다.

2. 시험재료 및 시험편

국내 발전설비에 사용되는 가스터빈의 1단 블레이드 소재인 GTD-111DS를 이용하여 지름 6mm, 평행부 길이 30mm의 환봉형 인장시험편과 의 지름 9mm, 평행부 30mm의 환봉형 저주기 피로시험용 시험편을 제작하였다.

3. 인장시험

상온과 850°C의 온도환경에서 재료물성의 변화를 알아보기 위하여 인장시험을 실시하였다. 소성 변형의 원인이 되는 전위변화에 영향을 줄 수 있는 시험 속도는 1mm/min로 동일하게 적용하였으며, 고온 인장시험의 경우 시험편의 내부까지 고르게 열이 전달되도록 850°C에서 1시간 유지후 시험을 수행하였다.[2,3,4]

상온과 850°C에서의 항복강도는 각각 973MPa과

655MPa로 측정되어 온도의 증가에 따라 33%감소하였고, 인장강도는 각각 1140MPa과 1145MPa로 큰 변화가 없는 것으로 측정되었다. 또한 Fig. 1에서 보이는 바와 같이 Stain-Stress 그래프상의 탄성구간 기울기는 상온에 비해 850°C에서 현저히 완만해진 것을 확인할 수 있었으며, 이는 고온영역에서 재료가 상당히 연화되었음을 보여준다.

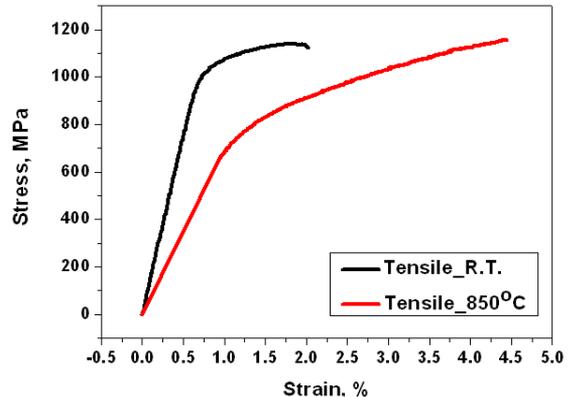


Fig. 1 Tensile tests at room teampature and 850°C

4. 저주기 피로시험

실제 가스터빈 블레이드의 사용 환경조건을 고려하여 상온과 850°C에서 저주기 피로시험을 수행하였다. 각각 변형률 0.8%와 1.0%범위에서 시험이 수행되었으며, 인장 시험과 마찬가지로 시험속도에 의한 영향을 배제하기 위하여 시험 주기수를 0.1Hz로 고정하여 같은 변형률 조건에서는 같은 시험속도가 적용되도록 하였다. 시험결과는 Table.1과 Fig.2에 보이는 바와 같이 고온 영역에서의 저주기 피로수명이 상온에 비해 상대적으로 길게 평가되었다.

이는 고온에 재료가 연화되면서 같은 변형률 조건에서 시험에 가해지는 응력이 감소하였기 때문으로 생각된다. 0.8% 변형률 조건의 경우 상온에서의

최대응력은 1120MPa, 고온에서의 최대 응력은 937MPa로 측정되었다.

또한 일반 스테인리스강에서는 저주기 피로시험이 진행됨에 따라 반복연화거동이 발생한다는 보고 [4]와는 달리 GTD-111DS재료의 경우 사이클이 증가함에 따라 최대하중이 증가하는 반복경화 거동이 Fig.3과 Fig.4에서 보여주는 것과 같이 관측되었다.

Table 1 LCF life at R.T. and 850°C

Strain(%)	0.8	1.0
R.T.	47	2
850°C	293	7

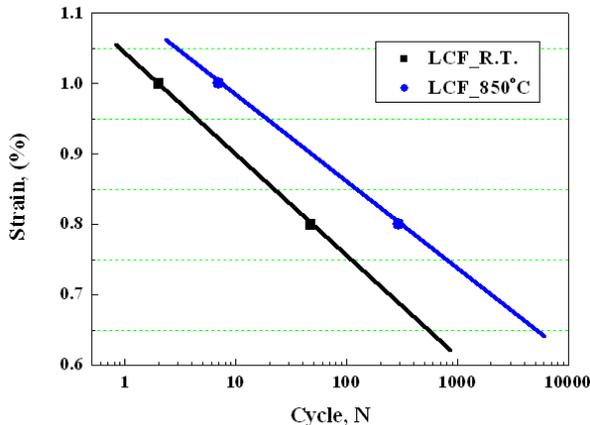


Fig.2 Strain-Cycle Curves at R.T. and 850°C

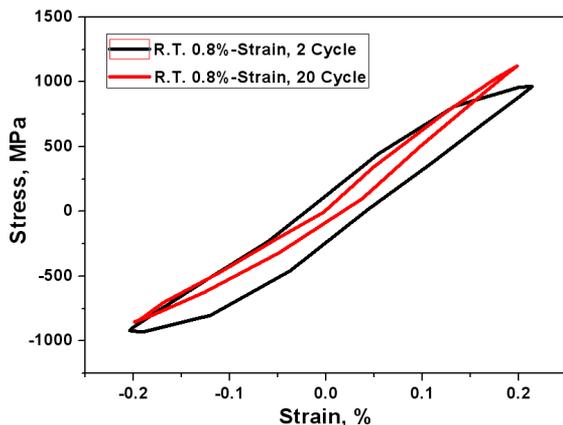


Fig.3 Increase of Maximum Stress

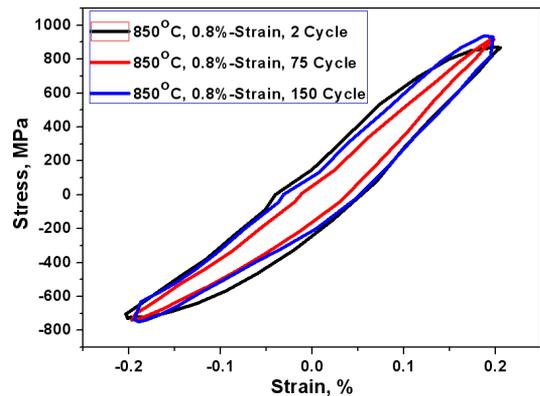


Fig.4 Increase of maximum stress

5. 결론

1. 상온과 850°C에서의 인장시험결과 항복강도의 감소 및 Stress-Strain 그래프의 기울기의 감소 등의 결과를 통해 재료가 연화되었음을 알 수 있었다.
2. 온도가 증가함에 따라 동일한 변형률 구간에서 GTD-111소재의 저주기 피로수명이 증가하였으며, 이는 고온연화로 인해 같은 변형률 조건에서의 최대 응력이 감소되었기 때문으로 판단된다.
3. 일반 스테인리스강에서 보고된 바와 같은 반복연화거동은 관측되지 않았으며, 이와 반대로 피로 사이클이 진행됨에 따라 최대하중이 증가하는 반복경화거동이 관측되었다.

후기

본 연구는 2단계 두뇌한국 BK21사업과 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원 주관으로 수행된 과제임.(2008T100100272)

참고문헌

1. 김문영 외, "모델 변천에 따른 가스터빈 1단 버켓의 손상경향 분석" 대한기계공학회논문집 A권, 제31권, 제6호, 718-724, 2007.
2. 이현우, "Strain rate을 고려한 크롬몰리브덴강의 고온저주기 피로특성 연구," 한국자동차공학회 춘계학술대회논문집, 1640-1645, 2004
3. 홍성구, "냉간가동된 316L 스테인리스강의 인장 및 저주기 피로 물성치에 미치는 동적변형시효의 영향," 대한기계학회 논문집 A, 27권 제8호, 1640-1645, 2004.
4. 이금오, "429EM 스테인리스강의 고온 저주기 피로 거동," 대한기계학회 논문집 A, 28권 제4호, 427-434, 2004.