

STD61 열간 금형강의 고온피로거동에 관한 연구

여은구*(국민대 자동차전문대학원), 이태문(국민대 대학원), 이용신 (국민대 기계자동차공학부)

A Study on the High Temperature Fatigue Behavior of Hot Forging Die STD61 Steel

E. G. Yoh(Automotive Eng. Dept., KMU), T. M. Lee(Mechanical Eng. Dept., KMU)
 , Y. S. Lee(Mechanical Eng. Dept., KMU)

ABSTRACT

Although recent research of metallic materials in high temperature fatigue have been much accomplished, many studies about brittle material as a die steel in high temperature fatigue does not have been reported. Especially, the study on the fatigue behavior over the transformation temperature is not studied sufficiently because of its difficult analysis and experiment. Therefore, reliable results of brittle material in high temperature fatigue behavior are needed. In this paper, stress-strain curves and stress-life curves in die STD61 steel at 700 and 900 are carefully examined, as the basic experimental data are used to predict from fatigue life over 700 .

Key Words : High Temperature Fatigue (고온피로), Hot Forging Die (열간단조금형), Stress-Life curve (응력-수명곡선), Fatigue Life (피로수명)

1. 서론

열간 성형가공의 경우 열간단조나 열간압출, 압연 가공시 온도는 약 400-1200℃ 정도이다. 이때 성형소재 뿐만이 아니라 금형도 같은 고온의 환경에서 성형하중을 받게 된다. 일반적으로 피로파괴로 인한 수명예측은 하중에 의한 소재의 변형정도가 탄성영역일 경우 고사이클 응력-수명곡선을 기초로 예측하는데, 반복하중이 주어지는 온도가 고온으로 올라갈수록 기계적 물성치는 연성화된다. 최근 금속재료의 고온피로에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그럼에도 불구하고 금형강과 같은 취성재에 대한 고온피로, 즉 변태온도를 넘어선 환경에서의 피로거동에 대한 연구는 실험 및 해석상의 어려움으로 인하여 충분히 규명되어 있지 않다. 따라서 취성재의 고온피로거동에 대한 신뢰성있는 해석결과가 필요한 실정이다.

Shi 등^(1,2)은 TZM 몰리브덴합금의 고온피로거동에 대하여 열기계적 반복하중상태에서 실험한 결과로 수명예측을 하는 연구를 발표하였고, Myoung 등⁽³⁾은 고온충격, 굽힘에 대한 취성에서 연성으로 변동하는 재료의 성질에 대하여 연구하였다. Maday⁽⁴⁾

는 고온에서 재료의 저사이클 피로거동에 대하여 연구하였다. Eck⁽⁵⁾와 Luo⁽⁶⁾ 등의 연구자들은 고온에서의 몰리브덴합금 거동에 대한 물성치 연구를 하였다. 하지만 대부분의 고온 피로, 크립 연구들⁽⁷⁻¹⁰⁾이 200-600℃에서 이루어졌다.

따라서 본 연구에서는 금형강 STD61의 700℃와 900℃에서 응력-변형률 곡선과 응력-수명 곡선을 실험을 통하여 구한다. 이러한 물성치 실험자료는 700℃이상의 고온 피로파괴로 인한 수명결정의 기초자료로 사용할 수 있다.

2. 실험방법

본 연구에 사용된 실험재료는 STD61 종의 금형강으로서, 일반적인 열간단조, 열간압출용 금형재료로 사용된다. Fig. 1은 사용한 시편의 형상으로 규격은 ASTM E 606-92에 맞추어 제작하였고, 금형의 경도를 만족시키기 위하여 시편가공 후 열처리하여 표면경도를 77(HRA)로 맞추었다. 실험재료의 화학적 조성은 Table 1과 같다. 실험장비는 MTS 810 만능재료시험기와 고온로(furnace), 냉각장치를 사용하였다. 피로실험은 하중제어로 일정하중 값을 주어

파손이 일어날 때까지 반복 수행하도록 하였다. 실험조건은 일정 응력비(R=0)와 일정 하중속도(16Hz)로 고정하였다.

피로실험에 들어가기에 앞서 고온인장실험을 하여 고온상태에서 열성화된 STD61의 기계적성질을 측정한다. 장착된 시편의 표점거리 주변을 감싸는 소형 고온로를 설치하여 표점거리 주변을 가열한다. 고온로의 온도센서는 시편과 가열판 사이에 장착되어 있어서 시편의 온도를 감지한다. 고온에 의한 시편의 열팽창이 어느 정도 멎기까지 약 10분에서 15분 정도 소요된다. 마지막으로 열팽창이 적은 고온용 세라믹 신장계(extensometer)를 부착하고 나서 실험을 시작한다. 고온에서의 단축인장실험은 일정 변형률증분(constant strain rate) 제어로 $\dot{\epsilon}=0.1, 0.01, 0.001$ (mm/mm/sec)의 세가지 조건을 700°C와 900°C에서 각각 구하였다. 본 실험에 사용한 고온로(furnace)는 100°C부터 1300°C까지 사용할 수 있는 장비로 가열구간이 45mm 밖에 되지않는 소형장비이다. 이 때문에 시편을 붙잡고있는 유압그립(grip)이 가열되는 것을 방지하기 위하여 그립안쪽으로 냉각수가 흐르도록 설계한 냉각그립을 사용한다. 고온단축인장실험을 통해 구해진 고온극한강도는 고온 고사이클 피로실험에 최대하중 값으로 사용되며 피로실험의 경우 시편이 파손될 때 까지의 수명을 측정하기 때문에 신장계는 부착하지 않는다.

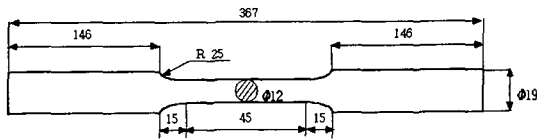


Fig. 1 Geometry of fatigue specimen

Table 1 Chemical composition of test piece

S T D 61	Chemical Composition(%)							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V
	0.3	0.8	0.5	0.03	0.03	4.5	1	0.8
	~	~	↓	↓	↓	~	~	~
	0.4	1.2				5.5	1.5	1.2

3. 실험결과 및 고찰

3.1 고온단축인장

Fig. 2, 3은 700°C와 900°C에서의 단축인장실험 결과이다. STD61은 열간 금속강으로서 상온에서는 취성의 기계적 성질을 가지고 있다. Table 2는 상온과 고온에서의 STD61강의 기계적 성질에 대한 실험

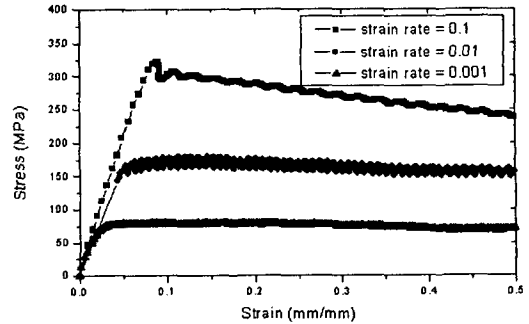


Fig. 2 Constant Strain Rate Tension Test at 700°C

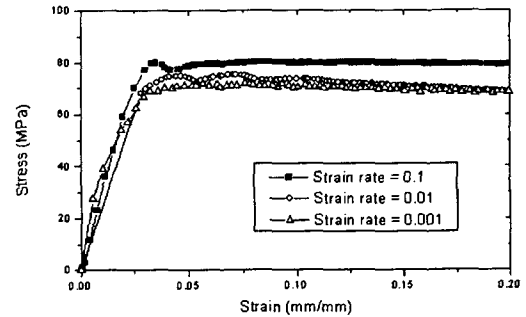


Fig. 3 Constant Strain Rate Tension Test at 900°C

Table 2 Mechanical properties of the STD61 steel

Temperature(°C) /strain rate	0.2% Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Modulus of Elasticity (GPa)
20	1250	1906	197.8
700	0.1	310	320
	0.01	160	180
	0.001	65	80
900	0.1	70	80
	0.01	70	75
	0.001	62	70.5

결과이다. 고온에 가장 민감한 성질은 탄성계수로서 상온에서보다 약 100배의 차이가 나는 것을 관찰할 수 있다. 극한강도는 약 30배, 항복응력은 약 20배의 차이가 나는 것으로 관찰되었다. 고온에서 일정변형률속도(constant strain rate)에 따라 극한강도의 차이가 700°C에서는 크게 나타났고 900°C에서는 별차이가 없는 것으로 관찰되었다. 이것은 700°C보다 900°C에서 재료의 연성화가 더 많이 진행됐다는 것을 나타낸다. 700°C에서 일정변형률속도를 달리한 곡선을 비교하면 변형이 진행됨에 따라 $\dot{\epsilon}=0.001$ 의 값으로 하중이 수렴하는 것을 관찰

할 수 있다. 그렇지만 900°C에서는 일정변형률속도의 차이에 대한 기계적 물성치값은 거의 동일한 것으로 관찰된다. 이것은 고온에 의한 연성이 더욱 커졌기 때문인 것으로 예측된다.

3.2 고온 고사이클 피로

Fig. 4 는 상온, 700°C, 900°C에서의 고사이클 실험결과로서 Log-Log scale 로 표시한 S-N 곡선이다. 실험은 하중제어로서 일정하중 값을 주어 파손이 일어날 때까지 응력비(R=0), 온도조건 하에서 실험을 수행하였다. 하중입력파형은 Sine 파형이며 하중의 속도는 초당 16Hz 로 고정하였다.

온도의 상승에 따라 S-N 곡선은 하강하며, 그 하강차에 있어서 700°C에서 900°C사이의 하강폭이 상온에서 700°C까지의 하강폭 보다 더 크게 관찰되었다. Fig. 5 는 피로실험에 의해 파손된 시편을 보여 주고 있는데 파손의 형태만 보아도 연성파괴임을 알 수 있다.

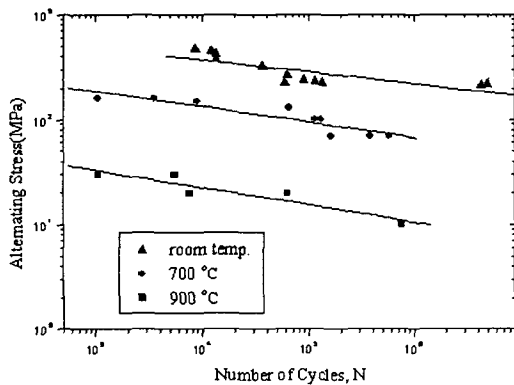


Fig. 4 S-N curve experimental results to STD61



Fig. 5 Original and fracture specimen in fatigue test

4. 결론

이상의 실험결과와 고찰을 통하여 고온상에서의 열간금형강인 STD61 의 인장, 피로거동특성에 대하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 상온과 고온(700°C, 900°C)에서의 탄성계수의 차이가 약 100 배, 극한강도의 차이는 약 30

배, 항복응력의 차이는 약 20 배가 나는 것으로 관찰되었다. 이것으로 온도에 따른 연성화의 가장 민감한 기계적성질이 탄성계수임을 알 수 있었다.

- 2) 일정변형률속도의 차이에 대한 기계적 물성치값은 고온상태로 갈수록 연성이 증가하여 차이가 줄어들었다.
- 3) 고온에서의 피로수명곡선은 온도가 상승함에 따라 상온에서의 곡선보다 하강하며 그 하강의 정도는 고온으로 올라가면서 더 큰 증가폭을 갖게 된다.

후 기

이 논문은 2002 년도 두뇌한국 21 사업에 의하여 지원되었습.

참고문헌

1. Shi H. J., Niu L.S., Korn C., and Pluvinage G., "High temperature behaviour of TZM molybdenum alloy under mechanical and thermomechanical cyclic loads, "Journal of Nuclear Materials", Vol. 278, pp.328-333, 2000.
2. Shi H. J., Korn C. and Pluvinage G., "High temperature isothermal and thermomechanical fatigue on a molybdenum-based alloy", Materials Science and Engineering, Vol. A247, pp.180-186, 1998.
3. Myoung Ki Yoo, Yutaka Hiroaka, Hiroaki Kurishita, Hideo Kayano, and Ju Choi, "Recrystallization of TiC Dispersion Mo- Alloy, Int. J. of Refractory Metals & Hard Materials, Vol. 14, pp.355-364, 1996.
4. Maday, M.F., "Low cycle fatigue behaviour of TZM molybdenum alloy in divertor water coolant", Journal of nuclear materials., Vol.233., pp.1397-1402., 1996.
5. Eck, R., Bildstein, H., Simader, F., "Behavior of tungsten, molybdenum, and alloys under unusual heating conditions", high Temp. High Pressures, Vol. 21, pp.497-505, 1989.
6. Luo, A., Park, J. J., Jacobson, D. L., Tsao, B. H. & Ramalingam, M. L., " High-temperature tensile properties of molybdenum and a molybdenum-0.5% hafnium carbide alloy", Scripta Metall., Vol. 29, pp.729-732, 1993.
7. Nitta, A. and Kuwabara, K., "Thermal-Mechanical Fatigue Failure and Life Prediction", High Temperature Creep-Fatigue, Current Japanese materials Research, Vol. 3, pp.203-222, 1988.
8. Ohtani, R., Kitamura, T. and Tada, N., "High-

- Temperature Fatigue Crack Propagation under Cyclic Temperature”, Trans. Japan Soc. Mech. Eng., Vol. 53, No. 490, pp.1030-1036, 1987.
9. Kitamura, T. and Ohtani, R., “Crack Propagation under Creep-Fatigue Interaction Condition”, Trans, Japan Soc. Mech. Eng., Vol. 52, No. 480, pp.1816-1823, 1986.
 10. 김현철, 김승환, 임병수, 김두현, 이용태, “Ti-6Al-4V 합금의 피로거동에 미치는 온도, 주파수 및 미세조직의 영향”, 한국자동차공학회논문집, 제 4 권, 제 1 호, pp.198-207, 1996.