2006년도 춘계 학술발표대회 발표논문, 2006년 5월, 강원도 삼척

미소시험편을 이용한 열화된 USC내열강 용접부 미세조직의 크리프 특성 평가

Evaluation of Creep Damage of aged Microstructure for USC Steel Weldment using Miniature Specimen

박정훈*, 백승세*, 김희현*, Pialago.E.J*, 양성모*, 권일현, 유효선*****
* 회원, 전북대학교 대학원 정밀기계공학과
** 회원, (주) ICMC
*** 회원, 전북대학교 기계공학부

1. 서 론

화력발전 및 석유화학 설비는 대부분이 고온, 고압 하에서 사용되어지는 내열구조부재들로써 그들은 사용되어지는 시간에 따라 재료의 미세조직과 우수한 기계적 성질이 변하는 재질열화 (material degradation) 현상을 보이게 된다. 그리고 이 과정 중에서 발생하는 입계의 석출 물과 편 석물은 입계강도에 큰 영향을 미치게 되고 그로 인한 내열부재의 파손사고로 인해 사회적, 경제적 손실 및 인명피해가 발생되고 있다.[1] 현재 국내에서 가동 중인 대부분의 발전설비들은 표준설계수명을 초월하여 고온고압의 가혹한 환경 하에서 가동되고 있다. 그러므로 이러한 고온 설비의 안정성과 효율적인 운전조건을 확보하기 위한 재질열화의 평가는 더욱 중요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 최근 그 사용빈도가 높아지고 있는 차세대 초초임계압 발전설비 강재인 P92강 용접부를 인공시효 열처리함으로 미소시험편을 채취하여 파괴시험을 하는 소형펀치 (small punch : SP)[2] 시험을 수행하였고 이에서 얻은 결과로부터 장시간 고온, 고압 하에서의 P92강 용접부 미세조직의 크리프 시효시간에 따른 특성 평가 및 시효시간에 따른 크리프 손상을 평가 하였다.

2. 실험재료와 실험방법

2.1 시험재료와 시험편

본 연구에서 사용된 재료는 현재 국내 화력발전소 중 발전소 효율의 증가를 위해 초초임계압 하에서 가동되는 보일러 과열기와 재열기 튜브 및 헤더에 사용되고 그리고 앞으로도 계속적으로 적용될 P92(9Cr-1Mo)강의 모재와 용접부이다. 이 P92(9Cr-1Mo)강을 용접한 후 PWHT처리하여 이것을 신재(virgin material)로 하였다. 인공 열화재는 신재를 다시 여러 가지 조건으로 등온 시효 열처리하여 얻었다. Table 1에는 본 시험에 사용한 P92(9Cr-1Mo)강의 화학조성을 나타내었고 Table 2에는 시험에 사용된 인공열화재의 730℃에서의 열화시간을 나타내고 있다. 본 연구에서는 P92강의 용접부의 미세조직에 대한 크리프 특성 평가를 위해 본 대학에서 특허출원한 표준 SP-Creep 시험편을 제작하였다. 이때 표준 시험편의 크기는 10×10×0.5mm이

Table 1 Chemical composition of P92steel (wt%)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	V	Nb	Fe
0.094	0.5	0.48	0.01	0.01	0.4	9.4	2	0.45	0.20	0.04	bal.

Table 2 Aging time at 730℃ and simulated degradation times corresponding at 621℃ in-serviced.

Aging time at 730℃, (hrs)	Simulated degradation time corresponding at 621℃, (hrs)
500	26,000
1,000	52,000
3,000	156,000
5,000	260,000

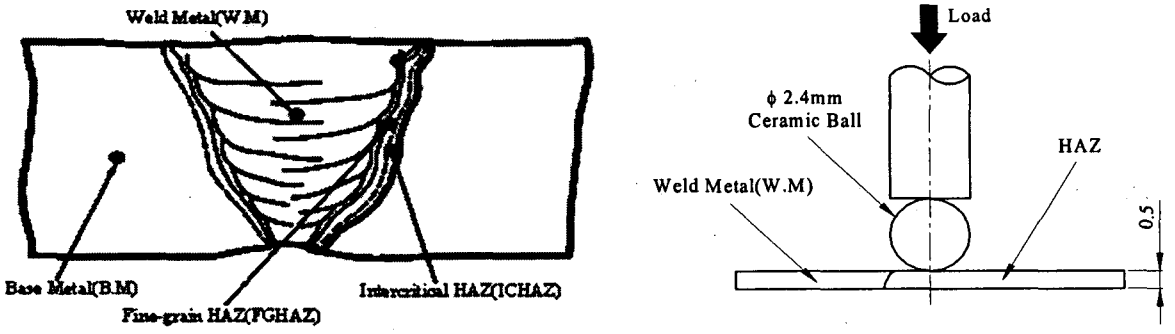

Fig. 1. Macro-etched photograph, machining position of SP-Creep specimen and loading method for CGHAZ specimen for P92 steel weldment

며, 시험편 두께의 오차범위는 ±0.01mm으로 하였다. 그리고 용접부의 국부조직에 대한 고유한 크리프 손상 평가를 위해 각 부위별 시험편 채취위치는 ①CGHAZ ②FGHAZ③ICHAZ ④W.M 그리고 ⑤B.M 조직으로 하였다.

Fig. 1은 P92강 용접부의 단면에 대한 거시사진 및 시험편 채취위치, 그리고 CGHAZ 조직에 대한 시험편의 크리프 부하방식을 나타낸 그림이다.

2.2 SP-Creep 시험장치의 구성과 실험방법

용접부 국부조직의 크리프 특성 평가를 위한 SP-Creep 시험은 시험편의 상부에 ϕ 2.4mm의 Si3N4 세라믹 강구를 놓고 이를 통하여 하중을 가함으로서 수행했으며, 시간에 따른 시험편의 크리프 변형 거동을 조사했다. 이때 미소시험편의 부하방식은 앞의 Fig. 1과 같다. 시험중 시험편 가열온도의 오차범위는 약 ± 1℃ 범위로 했으며, 고온 크리프 시험온도는 650℃로 하고, 하중조건은 20kg으로 제어했다. 시험도중 시험편의 중앙변위(central displacement : δ)는 LVDT 시스템을 이용하여 최소 1㎛까지 정밀계측했다. 또한 시험 중 미소시험편의 표면산화에 따른 시험오차를 제거하기 위해 모든 크리프 실험은 아르곤(Ar)분위기에서 실시했다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 크리프 하중과 크리프 파단수명(tr)관계

일반적으로 인장 크리프 시험과 같이 파단수명에 대한 외력 의존이 매우 뚜렷함을 관찰할 수 있었다. 또한 열화재는 신재보다 대체로 낮은 파단시간을 보였다. 탄화물의 성장은 고응력에서는 전위의 이동을 용이하게 하고, 저 응력에서는 기공의 생성을 억제한다고 알려져 있다. 3000hrs 열화재의 경우 전반적으로 고하중 영역에서는 짧은 파단시간을 보였고, 저하중영역에서는 다른 조건들에 비해 긴 파단 시간을 보였는데 이는 고하중 영역에서는 높은 하중으로 인해 전위의 이동 속도가 빨라져 크리프 변형이 원자들의 회복속도에 율속하였기 때문인 것으로 사료되며, 저하중 영역에서는 전위와 탄화물의 상호작용에 의한 전위의 활주속도에 율속하여 3000hrs 열화재가 비교적 다른 조건에 비해 긴 파단 시간을

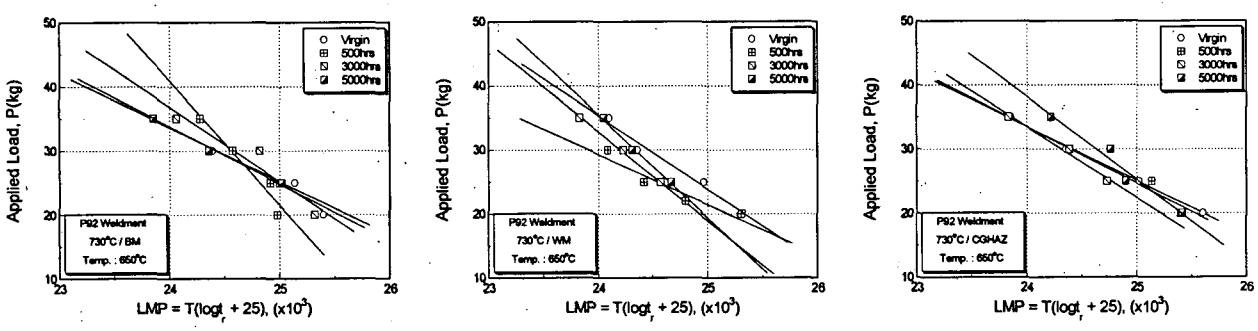

Fig. 2 The relationship between applied load and LMP for virgin and aged P92(9Cr-1Mo) steel at 650℃

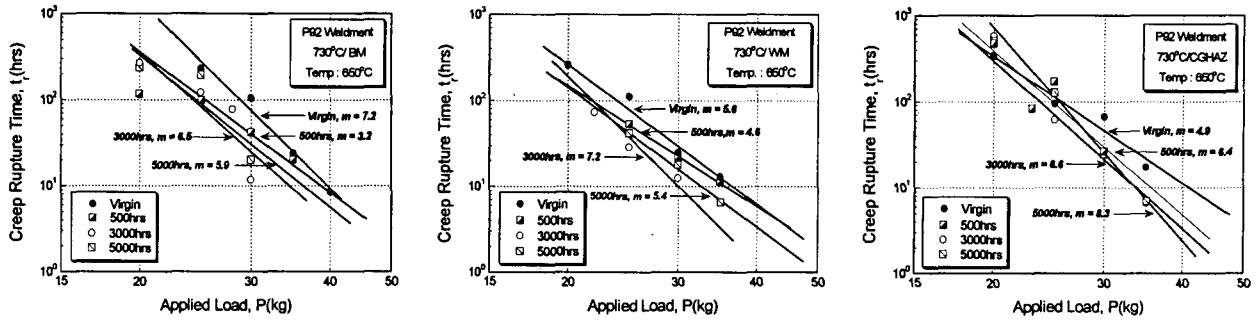

Fig. 3 The relationship between applied load and rupture time for virgin and aged P92(9Cr-1Mo) steel at 650℃

보인 것으로 사료된다. 그러나 3000hrs시간보다 더 장시간 시효 처리된 5000hrs 열화재의 경우에서는 저하중에서 크리프 수명이 낮아짐을 Fig. 2를 통해 예측 할 수 있다. 이는 보다 장시간 시효 처리된 5000hrs 열화재의 경우 탄화물의 조대화 및 구상화 그리고 고용 강화원소의 고갈 등이 크리프 수명에 영향을 미친 것으로 사료된다. 또한, 파단시간에 의해 얻어진 지수 값의 거동을 살펴보면 파단수명 그래프와 거의 같은 거동 즉, 3000hrs 열화재가 5000hrs 열화재보다 지수 값이 높아지는 거동을 확인 할 수 있다. 그러나 CGHAZ에서는 시효시간이 길어질수록 지수 값이 계속 증가하는 경향을 보이고 있는데 이는 외력에 의해 생성된 전위와 재료내의 탄화물의 상호작용이 기인하여 재료의 조직이 서로 달라지게 되고 큰 값의 하중지수와 저하중 영역에서 최소 크리프 속도의 저하와 함께 내 크리프 특성을 보인 것으로 사료된다.

3.2. Larson-Miller parameter 관계

Fig. 3은 용접부 각 조직에 대한 Larson-Miller parameter(LMP)를 신재와 열화재를 대상으로 나타낸 그래프다. 신재에 비해 열화재 각 조직들의 선도는 모두 좌측에 위치하는 낮은 크리프 파단 강도를 보이고 있다. 그러나 CGHAZ는 파단수명의 결과와 같이 시효시간이 길어짐에 따라 저응력부에서 우수한 크리프 파단강도 특성을 보이고 있는데 이는 저응력부로 갈수록 크리프 변형기구가 전위의 활주속도에 율속되기 때문으로 사료된다.

4. 결 론

미소역학시험기법인 소형펀치(Small-Punch) 시험방법을 이용하여 얻은 P92(9Cr-1Mo)강에 대한 고온 역학특성 및 재질열화도의 평가 결과는 다음과 같다.

1) 크리프 하중과 크리프 파단수명과의 관계에서 열화재는 신재보다 대체로 낮은 파단시간을 보였다. 그러나 3000hrs 열화재는 고하중에서 짧은 파단시간을 저하중에서는 긴 파단시간을 보였다.

2) 파단시간에 의해 얻어진 지수 값의 거동에서도 3000hrs 열화재가 5000hrs 열화재보다 지수값이 높아지는 거동을 확인 할 수 있었다. 그러나 CGHAZ에서는 시효시간이 길어질수록 지수 값이 계속 증가하는 경향을 보이고 있는데 이는 외력에 의해 생성된 전위와 재료내의 탄화물의 상호작용이 기인한 결과로 사료된다.

3) LMP의 결과에서 각 조직들의 선도는 신재보다 모두 좌측에 위치하는 낮은 크리프 파단 강도를 보였다. 그러나 CGHAZ는 파단수명의 결과와 마찬가지로 시효시간이 길어짐에 따라 저응력부에서 우수한 크리프 파단 강도를 보이고 있다.

후 기

본 연구는 서울대학교 기초전력연구원지원으로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Chapman & HALL, "High Temperature Component Life Assessment," Webster, G.A. and Ainsworth, R.A., 1993, pp. 1 ~ 319
2. Okada, A., Yoshiie, T., Kojima, S., Abe, K. and Kiritani, M., "Correlation among a Variety of Miniaturized Mechanical Tests and their Application to D-T Neutron-Irradiated Metals," Journal of Nuclear Materials, 1985, Vol. 133 & 134, pp. 321 ~ 325