

입계부식시험에 영향을 주는 시험변수에 관한 연구

백승세* · 나성훈* · 이해무** · 유효선†

(2000년 9월 18일 접수, 2001년 10월 12일 심사완료)

A Study on Test Variables Effected on Grain Boundary Etching Test

Seung-Se Baek, Sung-Hoon Na, Hae-Moo Lee and Hyo-Sun Yu

Key Words: Grain Boundary Etching Method(입계부식법), Test Variable(시험변수), Grain Boundary Etching Width(W_{GB} , 입계부식폭), Intersection Point Ratio(N_i/N_o , 격자절단비), Etching Solution Temperature(부식액 온도), Etching Solution Concentration(부식액 농도), Surface Roughness(표면조도)

Abstract

Recently the non-destructive test technique which uses the grain boundary etching characteristics owing to the variation of material structures has been proposed. However, during in-serviced GEM test there are a lot of variables such as the changes of temperature and concentration of etching solution, the roughness condition of surface polished etc.. The purpose of this paper is to investigate the influences of these test variables on GEM test results in order to establish a reliable and sensitive of GEM evaluation technique. The experiments are conducted in various solution temperatures, 10°C, 15°C, 20°C, and 25°C and in 70% and 100% concentrations of that, and in various surface roughnesses polished by #800, #2000, and 0.3 μ m alumina powder. Through the test with variables, it is verified that the decrease of temperature and concentration of etching solution and the coarsened surface roughness by not using polishing cloth and powder induce some badly and/or greatly influences on GEM test results like grain boundary etching width(W_{GB}) and intersecting point ratio(N_i/N_o). Therefore, to get reliable and good GEM test results, it must be prepared the surface of specimen polished by polishing cloth and 0.3 μ m alumina powder and the saturated picric acid solution having 25°C and be maintained the constant temperature(25°C) during GEM test.

1. 서론

국내에서 가동중인 화력발전설비 및 석유화학 설비 등은 상당수 표준 설계수명(design life)을 초월하여 운전되고 있는 것을 많이 볼 수 있다. 이러한 설비부재의 증가관이나 압력용기에는 일반적으로 Cr-Mo강계 및 Cr-Mo-V강계 그리고 스테인리스강계의 내열재료들이 널리 사용된다. 그러나

나 이러한 내열부재는 가혹한 실기 사용온도에서 장시간 사용할 경우, 재료내부가 변화하는 재질 열화 현상을 초래한다.^(1,2) 이들의 대표적인 현상으로는 조직의 결정입계에 탄화물($M_{23}C_6$, M_6C 등)의 석출 및 불순물 원소(P, As, Sb 등)의 편석 그리고 금속간화합물의 생성과 고용 강화원소의 감소 등을 들 수 있는데, 이 같은 현상 등에 기인하여 고온 구조부재에 대한 취성파괴의 위험성은 증가하고 있다. 따라서, 노후화된 설비의 안전성 및 효율적인 운전조건을 확보하고 고온부재의 취성파괴 방지를 위해서는 실기현장 부재에 대한 비파괴적인 재질 열화도의 평가는 매우 중요하다.⁽³⁻⁵⁾

최근, 현장 실기부재의 강도에 영향을 미치지 않는 범위에서 플랜트 구조물의 안전성 및 재질

* 회원, 전북대학교 대학원 정밀기계공학과

** 회원, 한국표준과학연구원(KRISS)

† 책임저자, 회원, 전북대학교 기계공학부, 자동차 신기술연구소

E-mail : yuhs@moak.chonbuk.ac.kr

TEL : (063)270-2346 FAX : (063)270-2388

열화도 평가를 비파괴적으로 평가할 수 있는 입계부식법(grain boundary etching method : GEM)이 새로운 시험방법으로 개발되어지고 있다. 국내에서도 몇몇 기관에서 GEM에 의한 고온 구조물의 재질열화도 평가가 수행되고 있다.^(6,7) 그러나 실기 현장에서 입계부식시험은 실험실과 다른 환경하에서 평가가 수행되기 때문에 다양한 변수(부식액의 농도, 온도 그리고 부식시간 및 측정부위의 표면상태 등)가 존재하게 되고, 그로 인해 시험결과와 오차를 발생시킬 수 있다. 그럼에도 불구하고, 현재까지 이에 대한 정확한 보고는 찾아보기 힘든 실정이다.

따라서 본 연구에서는 입계부식특성 및 시험결과에 미치는 대표적인 시험변수 인자 중 실기 현장에서 많은 오차를 발생시킬 수 있는 부식액의 온도와 농도 그리고 시험편 표면 상태에 따른 입계부식특성의 변화를 조사하였다. 이 같은 시험결과와 입계부식시험을 수행할 때 시험변수인자들이 시험결과에 미치는 영향과 보다 정확한 입계부식 시험 결과를 얻는데 도움이 되리라 판단된다.

2. 실험재료와 실험방법

2.1 실험재료와 시험편

본 연구에서 사용된 재료는 현재 발전설비에서 널리 사용되고 있는 내열소재인 Cr-Mo강의 신재와 사용재 및 열화재이다. Table 1에 본 논문에서 사용된 시험 재료의 사용 이력을 나타내었다. 이 중 인공열화재는 신재를 630℃에서 시효열처리를 행하여 얻었으며, 이때 시효시간은 64hrs~1820hrs

의 범위로 하였다. 그리고 파괴시험을 위해 소형 펀치(small punch : SP) 시험과 CVN 충격시험편을 제작하였으며, 이때 시험편의 크기는 각각 10mm×10mm×0.5mm와 10mm×10mm×55mm(or 5mm×5mm×55mm)로 제작하였다.

2.2 입계부식시험과 평가인자

입계부식시험에 사용된 부식액은 현재 국내 발전소 및 석유화학설비 진단에 널리 사용되고 있는 피크린산(picric acid) 부식액을 이용하였다. 본 시험법의 표준 부식액은 먼저 증류수를 100℃에서 충분히 가열하여 탈기시킨 후, 25℃까지 냉각시킨 증류수 100cc에 1.3gr.의 피크린산을 용해시키고 여기에 계면활성제인 tridecylbenzen sulfonic acid를 1gr. 첨가하여 제작하였다.^(6,7) 입계부식 시험편의 표면은 연마포 및 알루미늄 파우더를 이용하여 buffer 연마를 행함으로써 표면을 평면상태로 유지하였다.

본 연구에서 이용된 입계부식시험의 평가인자는 입계폭(grain boundary width : W_{GB})과 격자절단비(intersecting point ratio : N_i/N_o)의 두 가지 인자이다. 먼저 입계폭은 시험조건에 따라 준비된 부식액을 이용하여 30분 부식시킨 후, 금속 현미경(Nikon EPIPHOT 300)과 화상 분석기(Image Analyser, BumMi Universe Co.)를 이용하여 약 30여개소의 부식된 입계폭을 측정하여 다음 이들의 평균값으로 결정하였다. 두 번째 평가 인자인 격자절단비는 준비된 시험편을 5분 부식시켜 얻어진 조직사진을 일정한 격자 틀에 놓아 부식된 입계와 격자와의 교차된 수, N_i 를 결정하고, 30분

Table 1 The operating histories of Cr-Mo steels

Symbol	Steel	Operating histories		
		Time [hrs]	Temperature [°C]	Location
1P1	1.25Cr-0.5Mo	122,640	540	inlet pipe of turbine
1P2	1.25Cr-0.5Mo	70,000	500	reactor of oil refinery
1PK1	1.25Cr-0.5Mo	121,973	513	2ry S/H of power plant
1S1	1.25Cr-0.5Mo	13,140	500	surveillance specimen
2P2	2.25Cr-1Mo	70,000	380	outlet pipe of turbine
2PK1	2.25Cr-1Mo	44,383	566	pendent S/H of power plant
2PK3	2.25Cr-1Mo	31,583	538	2ry S/H of power plant
2PK4	2.25Cr-1Mo	49,500	538	2ry S/H of power plant
2S1	2.25Cr-1Mo	43,800	500	surveillance specimen
IC3-1	2.25Cr-1Mo	32,258	538	1ry S/H of power plant
US3-2	2.25Cr-1Mo	32,258	538	2ry S/H of power plant
A	2.25Cr-1Mo	-	440	1ry S/H tube
B	1.25Cr-1Mo	-	430	1ry S/H tube
D	1.25Cr-1Mo	-	450	1ry S/H tube
E	2.25Cr-0.5Mo	-	520	2ry S/H tube
K	2.25Cr-1Mo	-	400	1ry S/H tube

부식시켜 얻어진 조직사진을 이용하여 동일한 방법으로 교차수, N_0 를 결정한 다음 이 두 값의 비 (N_i/N_0)로써 결정하였다.

2.3 CVN-충격시험과 열화도 평가방법

과괴시험에 의한 재료의 경년열화도를 평가하기 위해 수행한 충격시험은 용량 30kg-m의 자동기록형 충격시험기(instrumented impact testing machine)가 사용되었으며, 시험온도 범위는 -100℃~RT로 하였다. 각 시험재의 재질열화도는 신재와 열화재의 파면천이온도(fracture appearance transition temperature : (FATT)_{CVN})의 차를 이용한 $\Delta(FATT)_{CVN}$ 로 산출하였다.

2.4 소형편치(SP) 시험과 열화도 평가방법

매우 작은 크기의 시험편을 이용하여 재료평가에 적용되고, 현재 미소역학 시험분야에서 많은 관심과 연구가 진행되고 있는 소형편치 시험⁽⁸⁻¹⁰⁾이 -196℃~RT의 범위에서 수행되었다. 본 시험법은 HRC62~67의 경도를 갖는 $\phi 2.4$ mm의 강구를 시험편 상부에 놓고 이를 통하여 시험편에 0.2mm/min.의 일정한 부하속도로 하중을 가하는 방식으로 재료의 기계적 특성을 조사할 수 있다. 이때 시험재의 열화도 평가는 신재와 열화재의 연성-취성천이온도(ductile brittle transition temperature : (DBTT)_{SP})의 차를 이용한 $\Delta(DBTT)_{SP}$ 로 구하였다. Fig. 1에 SP시험을 이용하여 열화재의 열화도 평가 방법을 도시하였다.

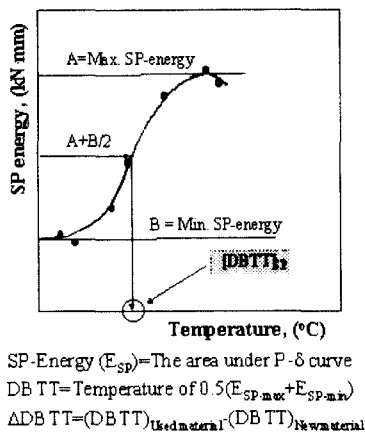


Fig. 1 The definition of ductile brittle transition temperature ($DBTT_{SP}$) in SP test

3. 실험결과 및 고찰

3.1 부식액 온도의 영향

시험재 표면의 부식거동은 사용된 부식액의 온도에 따라 크게 변화된다. 이 같이 일정시간 동안 부식액의 온도변화에 의한 재료의 부식거동이 큰 차이를 보이는 이유는 온도변화에 따라 시험재 계면에서 일어나는 부식반응속도가 변화하기 때문이다.

Fig. 2은 2.25Cr-1Mo 강재의 신재와 인공열화재를 대상으로 피크린산 표준부식액의 온도를 10℃, 15℃, 20℃ 그리고 25℃으로 하였을 때 시험재의 평균 입계부식폭(W_{GB})을 시험시간에 따라 나타낸 결과이다. 그림에서 부식액의 온도가 저하함에 따라 동일 시험재의 평균입계폭은 대부분 저하하고 있음을 관찰할 수가 있다. 또한 신재에 비하여 열화재는 시험시간이 증가함에 따라 입계부식폭의 크기가 그 정도는 작지만 증가함을 관찰할 수가 있다. 여기서 증가폭이 크게 나타나지는 않은 이유는 실기열화재와 달리 인공열화재는 실기부재의 작용응력과 압력의 영향을 뺀 고온에서의 시간경과에 의해 얻어진 열화재이므로 입계로의 불순물 편석정도나 탄화물의 석출정도가 실기재와 비교해서 작기 때문이라 사료된다.

Fig. 3은 격자절단비(N_i/N_0)의 거동에 미치는 피

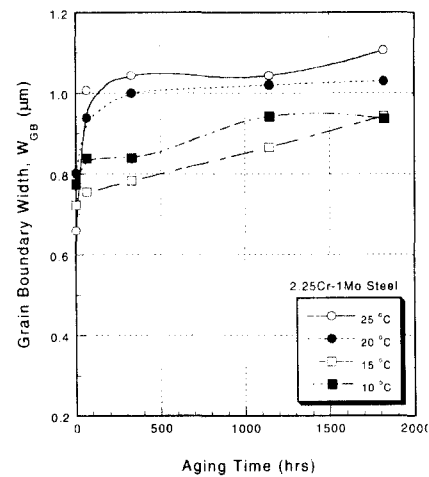


Fig. 2 The behavior of grain boundary width(W_{GB}) according to temperature of picric acid solution for aged 2.25Cr-1Mo steels

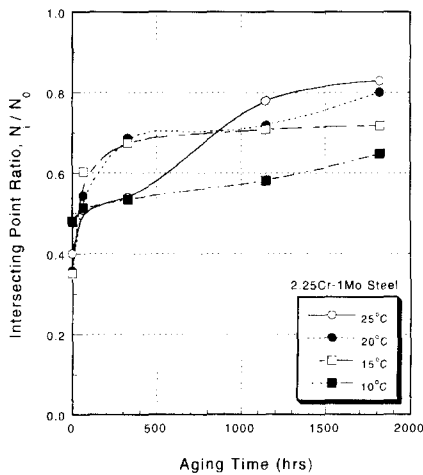


Fig. 3 The behavior of intersecting point ratio (N_i/N_0) according to temperature of picric acid solution for aged 2.25Cr-1Mo steels

크린산 부식액의 온도 영향을 나타낸 결과이다. 신재와 열화정도가 작다고 판단되는 시효시간 330hrs 이하의 시험재에서는 부식액의 온도 상승에 따라 격자절단비의 변화가동이 일정하지 않음을 알 수 있다. 이는 시효시간 330hrs이하의 경우는 입계로의 탄화물 거동과 불순물의 편석정도가 작아 부식용액 내에서 시간에 따른 부식표면부의 부식현상이 국부부식(local corrosion) 형태인 입계부식보다는 전면부식(general corrosion)이 지배적으로 일어나기 때문이라고 사료된다. 그러나 그 외에는 입계폭의 거동과 같이 시험온도가 증가함에 따라 격자절단비는 대부분 증가함을 알 수 있다. 그리고 그의 증가폭은 25°C 표준부식액에서 가장 뚜렷하게 나타났다. 따라서 앞서 고찰된 입계폭의 결과보다 격자절단비의 평가인자가 열화 시간에 더욱 민감하게 변화됨을 알 수 있다. 이상의 격자절단비의 시험결과에서도 부식액의 온도변화가 시험결과에 미치는 영향이 크음을 알 수 있어, 실기현장에서 계절에 따른 부식액의 온도 관리는 시험결과에 큰 영향을 미친다는 사실에 주목하여 입계부식 평가가 이루어져야 할 것이다. Fig. 4는 2.25Cr-1Mo강의 1820hrs 인공열화재를 대상으로 피크린산 부식액을 이용한 온도변화에 따른 미세조직 사진이다. 사진에서 25°C 부식액 온도의 경우가 다른 시험온도의 경우보다 5분 및 30분의 부식도의 증가와 함께 뚜렷한 입계 탄화

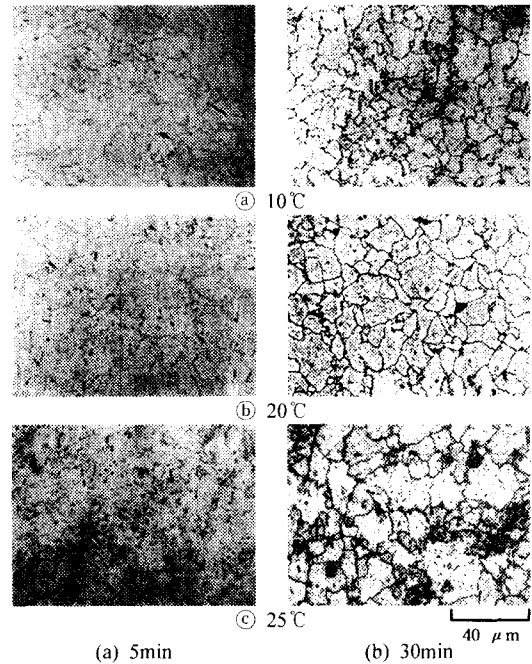


Fig. 4 The microstructures according to temperature of picric acid solution for 2.25Cr-1Mo steel aged 1820hrs

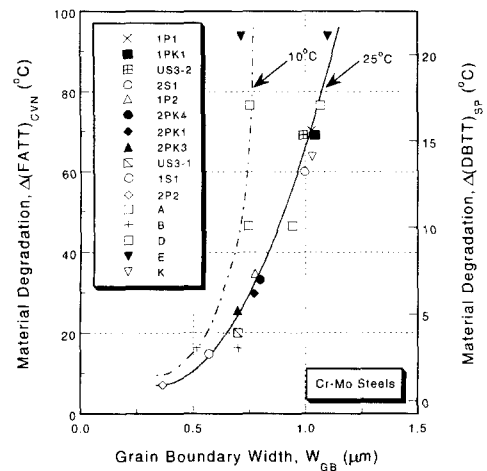


Fig. 5 The relationship between the grain boundary width(W_{GB}) and $\Delta(FATT)_{CVN}$ or $\Delta(DBTT)_{SP}$ for Cr-Mo steels in 10°C and 25°C picric acid solutions

물의 거동을 관찰할 수 있다.

Fig. 5는 Cr-Mo강계의 실기열화재를 대상으로 10°C와 25°C의 피크린산 표준부식액을 이용하여 얻은

Table 2 The results of GEM, CVN, and SP test for Cr-Mo steels

Symbol	$W_{GB}(\mu m)$	N_i/N_o	$\Delta(FATT)_{CVN}$	$\Delta(DBTT)_{SP}$
1P1	1.027	0.871	70	16
1P2	0.774	0.679	36	7
1PK1	1.041	0.844	68	15
1S1	0.569	0.463	15	3
2P2	0.366	0.484	7	1
2PK1	0.769	0.583	30	6
2PK3	0.697	0.573	26	5
2PK4	0.797	0.628	33	7
2S1	0.995	0.744	60	13
US3-1	0.698	-	20	4
US3-2	0.990	-	69	15
A	1.070	0.850	77	17
B	0.700	0.660	16	3
D	0.940	0.750	47	10
E	1.100	0.920	94	21
K	1.030	0.850	64	14

평균 입계부식폭(W_{GB})과 재질열화도 $\Delta(FATT)_{CVN}$, $\Delta(DBTT)_{SP}$ 와의 관계를 나타낸 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 10°C의 피크린산 부식액의 master curve는 25°C 표준피크린산 부식액의 master curve와 같은 곡선 거동이지만, 입계부식폭(W_{GB})에 따른 재질열화도의 차이 거동을 나뉠 수 있다. Table 2에 본 연구에 사용된 시험재에 대한 입계부식시험 및 재질열화 결과를 나타내었다. 여기서 주목할만한 내용은 열화정도가 크게 다른 A재, D재 그리고 E재에 있어 평균입계폭이 25°C 표준부식액에 비해 월등히 작고, 그 차이가 거의 없으며, 세시험재 중 열화도가 가장 높은 E재의 경우가 그 정도는 작지만 가장 작은 입계부식폭을 보이고 있다. 이같이 거의 같은 입계부식폭을 보이는 것은 부식액의 온도가 표준부식액 온도보다 15°C 낮아 입계의 부식도가 열화도와 관계없이 거의 같은 부식도를 보이기 때문이라 사료된다. 따라서 부식액의 온도가 10°C인 피크린산 부식액을 사용할 경우나 실기부재의 시험온도 범위가 10°C인 경우에는 입계부식시험에 의한 열화도 평가에는 많은 어려움이 있음을 알 수 있다.

여기서 실제 현장에서 발생되는 한 예를 생각해 본다. 현장에서 입계부식시험은 시험 대상부위를 경면상태로 연마한 후 25°C 피크린산 용액을 적힌 탈지면을 시험부위에 부착하고, 30분 경과 뒤 레프리카 필름을 채취하는 경우가 많다. 이 같은 시험과정에서 주의를 해야 할 점은 튜브에 부착된 탈지면의 25°C 온도가 시간이 경과함에 따라 4월의 경우 Fig. 6과 같이 약 12°C까지 저하될 수 있으며, 그로 인해 입계부식 시험결과

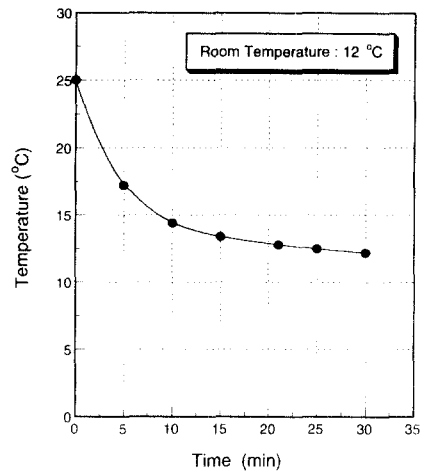


Fig. 6 The variation of temperature of picric acid solution according to environmental temperature

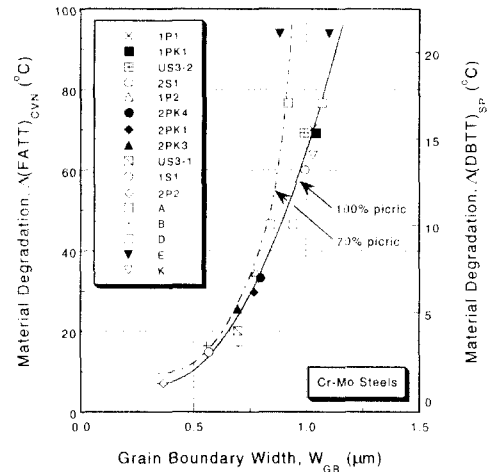


Fig. 7 The relationship between the grain boundary width(W_{GB}) and $\Delta(FATT)_{CVN}$ or $\Delta(DBTT)_{SP}$ for Cr-Mo steels in 70% and saturated picric acid solutions

에 큰 영향을 준다는 것이다. 따라서 실기현장에서 입계부식을 위한 시험용액의 온도 보정은 매우 중요하며, 정확한 온도 제어가 반드시 이루어져야 할 것이다.

3.2 부식액 농도의 영향

Fig. 7은 피크린산 표준부식액을 이용하여 얻은 열화도의 평가 master 곡선과 온도 25°C와 농도 70%의 피크린산 부식액을 이용하여 얻은 입

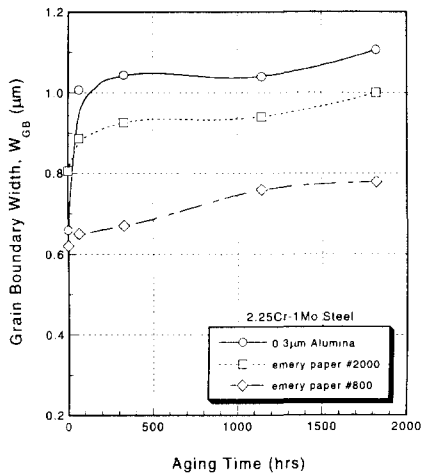


Fig. 8 The behavior of grain boundary width (W_{GB}) according to aging time in various surface conditions of specimen

계부식폭(W_{GB})과 재질열화도 $\Delta(FATT)_{CVN}$, $\Delta(DBTT)_{SP}$ 와의 관계를 나타낸 그림이다. 그림에서 알 수 있듯이 70%의 피크린산 부식액의 master curve는 표준 시험조건에서 얻은 열화도 평가곡선보다 좌측에 존재함을 알 수 있어 입계부식 시험용액의 농도 또한 입계부식특성치에 큰 영향을 줄 수 있다. 앞서 고찰한 표준부식액의 농도를 갖는 10℃ 부식액과 비교해 볼 때 열화재의 평균 입계부식폭은 다소 증가하였음을 관찰할 수 있으나, A재, D재 그리고 E재의 입계부식폭은 큰 차이를 보이지 않아 입계부식시험에 의한 열화도 평가에는 어려움이 있음을 알 수 있다.

3.3 시험편 표면상태의 영향

다음은 시험편의 표면상태에 따른 입계부식 시험결과에 대해 살펴보기로 한다. 실제 현장에서 피크린산에 의한 입계부식시험을 위해서는 많은 시험준비과정을 거쳐 최종적으로 그에 대한 평가가 이루어진다. 그러한 준비과정에서 가장 많은 시간과 정성이 들어가는 순서는 바로 피측정물에 대한 표면연마이다. 시험재 표면연마의 상태가 입계부식시험 결과에 미치는 영향은 아직 보고되지 않아 그에 대한 고찰이 요구되고 있다.

Fig. 8은 2.25Cr-1Mo강을 대상으로 25℃ 피크린산 표준부식액을 이용하여 시험편 표면연마 상태에 따른 평균 입계부식폭을 측정된 결과이다. 이때 시험편 표면은 연마지(emery paper) #800번,

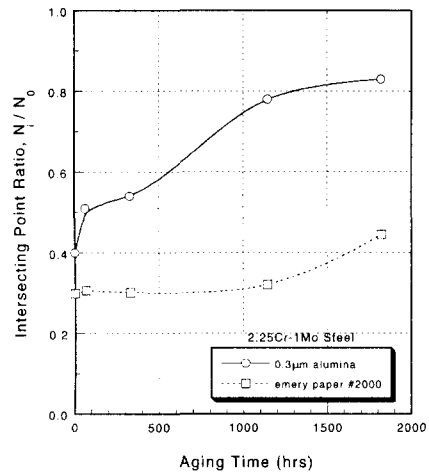


Fig. 9 The behavior of intersecting point ratio (N_i/N_0) according to aging time in various surface conditions of specimen

#2000번 그리고 0.3µm의 알루미나 파우더를 이용한 연마포 연마 등 3조건으로 연마하였다. 시험결과 #800번까지 연마한 시험편의 경우가 가장 낮은 입계부식폭을 보였고, 그의 표면상태는 많은 스크래치의 존재로 측정의 어려움이 많았다. #2000번까지 연마한 경우도 부식면의 입계노출상태는 #800번의 경우보다는 좋으나 정도 있는 입계부식 시험결과는 얻는데는 많은 어려움이 있었다. 전체적으로 볼 때 연마포 연마의 경우가 부식면의 입계노출상태가 가장 뚜렷하였고, 입계부식폭도 가장 명확하게 나타났음을 관찰할 수가 있었다. 그러나 다른 시험재와 같이 시효시간에 따른 입계부식폭의 차이는 크게 나타나지 않았는데 이는 앞서 설명한 것과 같이 시효열처리재의 특성으로 사료된다.

Fig. 9은 격자절단비의 관계그림으로 #800번의 경우에는 거의 측정이 불가능하였다. 그림에서 시효시간의 증가에 따라 격자절단비의 거동을 살펴볼 때 #2000번의 경우에는 큰 차이를 보이지 않아 입계부식시험에 의한 열화도 평가의 어려움이 있음을 알 수 있다. 그러나 연마포 연마의 경우는 Fig. 8의 입계폭의 분포와는 달리 시효시간의 증가에 따라 격자절단비의 값이 뚜렷한 차이와 함께 증가함을 관찰할 수가 있다. Fig. 10에 #800와 #2000의 경우 시험재의 부식표면 사진을

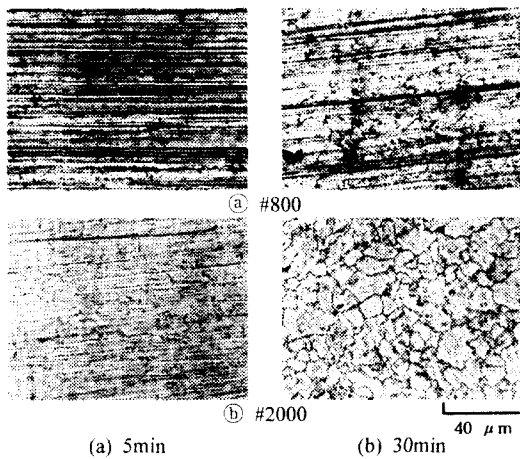


Fig. 10 The microstructures according to surface condition for 2.25Cr-1Mo steel aged 1820hrs

나타내었다. 여기서 0.3 μ m의 알루미나 파우더에 의한 연마 경우는 Fig. 4의 ㉔와 같아 생략한다.

이 같은 현상이 열화도 평가에 미치는 영향을 보다 정확하게 살펴보기 위해 실기재료에 대한 시험편 표면상태에 따른 입계부식폭과 재결정화도와와의 관계를 Fig. 11에 나타내었다. 그림에서 표준부식액에 의한 시험결과와는 매우 큰 차이를 보이고 있음을 관찰할 수가 있다. 특히 #2000번까지 연마한 경우의 A재, D재, E재를 비교해 보면, 입계부식폭은 열화도에 의존하지 않고 거의 같은 정도의 값을 보이고 있으며, 가장 큰 열화도를 보인 E재가 가장 작은 입계부식폭을 보이고 있다. 이 같은 거동은 연마지에 의해 연마가 이루어질 때 시험재의 표면에 발생하는 많은 요철부의 형성 그리고 그의 일부분이 얇은 층의 상태로 입계를 덮어 피크린산 부식액내에서 제대로 부식반응이 일어나기 어렵기 때문이라 사료된다. 이 같은 입계부식 데이터의 분포는 앞서 고려된 입계부식의 변수인자인 부식액의 농도와 온도 보다 더 크게 부정적 영향을 주고 있음을 알 수 있다. 따라서 실기현장에서 혹은 실험실에서의 시험편 연마과정이 매우 중요하며, 훌륭한 객관적인 열화도 평가를 위해서는 0.3 μ m의 알루미나 파우더와 함께 연마포를 이용한 표면연마가 반드시 이루어져야 할 것이다.

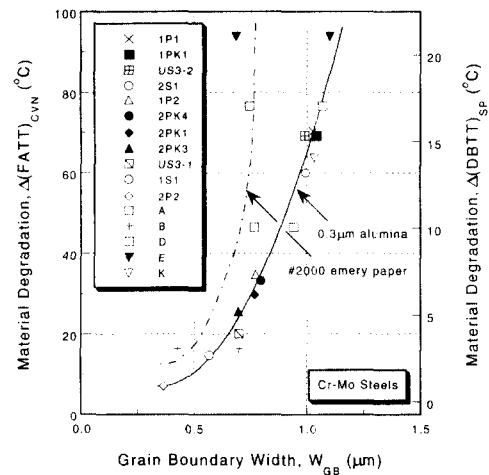


Fig. 11 The relationship between the grain boundary width(W_{GB}) and $\Delta(FATT)_{CVN}$ of $\Delta(DBTT)_{SP}$ according to surface condition for Cr-Mo steels

4. 결론

본 연구에서는 실기 현장에서 입계부식시험 수행 시 발생할 수 있는 시험변수 인자 중, 부식액의 온도, 농도, 시험편 표면상태에 의한 영향에 대해 조사되어졌으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 부식액의 온도가 저하함에 따라 동일 시험재의 평균 입계폭(W_{GB})과 격자절단비(N_f/N_o)는 대부분 저하하였고, 신재에 비하여 열화재는 시효시간이 증가함에 따라 시효재의 특성에 기인하여 입계부식폭과 격자절단비의 크기가 그 정도는 작지만 증가함을 관찰할 수가 있었다.
- (2) 10 $^{\circ}$ C 및 70%의 피크린산 부식액의 master curve는 25 $^{\circ}$ C 표준피크린산 부식액의 master curve와는 상당히 다른 곡선 거동을 보였으며, 열화도에 따른 입계부식폭(W_{GB})은 그 차이가 거의 없어 열화도 평가에 많은 어려움이 있었다.
- (3) 실제 현장에서 입계부식시험시 25 $^{\circ}$ C 피크린산 용액을 적신 탈지면의 온도는 30분 경과후 최고 약 12 $^{\circ}$ C까지 저하됨을 알 수 있어, 실기 입계부식시험을 위해서는 정확한 온도 제어가 반드시 이루어져야 할 것이다.
- (4) 연마지 #2000으로 연마한 시험재의 입계부식 시험결과는 본 연구에서 고찰된 부식액의 온

도와 농도 보다 더 크게 부정적인 영향을 주고 있었는데 이는 시험재 표면에 발생하는 많은 요철부의 형성에 기인한 결과로 사료되며, 훌륭한 객관적인 열화도 평가를 위해서는 0.3 μ m의 알루미늄나 파우더와 함께 연마포를 이용한 표면연마가 반드시 이루어져야 한다.

참고문헌

- (1) Burghard, H.C. and McCann, D.R., 1984, "Fractographic Analysis of a Steam Turbine Disk Failure," *ASTM STP 827*, pp. 346~367.
- (2) EPRI, 1985, "Manual for Investigation and Correction of Boiler Tube Failures," pp. 1~110.
- (3) Viswanathan, R. and Gehl, S.M., 1992, "Life-Assessment Technology for Power-Plant Components," *JOM Feb.*, pp. 34~42.
- (4) 青木満, 角屋好邦, 1994, "火力·原子力およびプラント機器・構造部材の経年劣化と寿命予測," *REALIZE INC.*, pp. 49~96.
- (5) 유효선, 송문상, 송기욱, 유대영, 2000, "전기화학적 양극분극시험에 의한 고온 설비부재의 열화손상 평가," *대한기계학회논문집*, 제24권, 제6호, pp. 1398~1407.
- (6) 清水健一, 野方文雄, 瀬尾健二, 廣瀬幸雄, 鄭世禧, 1987, "粒界腐植法による石油化学プラント用高温機器の経年劣化評價法," *日本材料強度學會誌*, 第22卷, 第3號, pp. 106~114.
- (7) 김정기, 윤재영, 송기욱, 이주진, 정세희, 1991, "입계부식법에 의한 플랜트용 고온기기의 경년재질열화 평가에 관한 연구," *대한기계학회 논문집*, 제15권, 제3호, pp. 898~906.
- (8) Yu Hyo-Sun, Lim Jae-Kyoo and Chung Se-Hi, 1994, "A Study on The Stress Corrosion Cracking Evaluation for Weld Joint of Steel by Using Miniaturized Small Specimen," *Journal of KWS*, Vol. 12, No. 4, pp. 411~423.
- (9) 송준희, 임재규, 정세희, 1997, "경사기능성/금속 복합재료의 열응력 해석 (1) -플라즈마 용사재-, " *대한기계학회논문집*, 제21권, 제3호, pp. 439~446.
- (10) Yu Hyo-Sun, Na Eui-Gyun, and Chung Se-Hi, 1999, "Assessment of Stress Corrosion Cracking Susceptibility by Small Punch Test," *Journal of Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures, European Structural Integrity Society*, Vol. 22, No 10, pp. 889~896.