

◎ 論 文

축계용 단조강재 보수 용접부의 피로 파괴 특성에 관한 연구

김영식* · 김종호** · 한명수*** · 손병영****

(1991년 6월 26일 접수)

A Study on the Effect of the Building Up by Welding on the Fatigue Fracture Behaviors for the Forged Steel

Y. S. Kim, J. H. Kim, M. S. Han and B. Y. Son

Key Words : Building Up by Welding(육성용접), Fatigue Crack Propagation Rate(피로균열 전파속도), Fatigue Strength(피로강도), Long Crack(긴 균열), Small Crack(미소균열), Surface Crack(표면균열), Stress Intensity Factor(응력세기계수, ΔK), Effective Stress Intensity Factor(유효응력세기계수, ΔK_{eff}).

Abstract

In this paper, the fatigue strength and the fatigue crack propagation behaviors of the round bar specimens which were spirally built up by welding and subsequently hardened by quenching were investigated. The material used was SF60 which was widely employed in mechanical components, especially shafts. Fatigue tests were conducted at the fully reversed condition($R = -1$) and axial and load control in the room temperature and air environment. The experimental results were expressed by both the range of stress intensity factor(ΔK) and the effective range of stress intensity factor(ΔK_{eff}). It was clarified that applying of quenching after the building up welding process improved the fatigue strength and the fatigue crack propagation property in the low range of ΔK of the built up round bar specimen.

1. 序 論

동력전달용 축계가 마모, 표면결합등의 발생으로 인해 그 사용이 불가능하게 되었을 경우 보수

용접에 의해 재생시키는 것은 임시수리방법들 중의 하나로서 오래전부터 채용되어져 왔다.¹⁾

그러나 이와같은 보수방법은 용접시 발생하는 용접결함, 표면부위에서의 인장잔류응력등으로 인해 보수부 피로강도의 저하가 초래되기 때문에

* 정회원, 한국해양대학 해양재료공학과

** 한국선급협회

*** 한국해양대학원

**** 조선선재 기술연구소

대부분의 규칙에서는 이러한 보수방법을 원칙적으로 허용하지 않는 것을 규정화하고 있다.²⁾

이에 반해 보수용접시에 적절한 용접시공법, 운봉법등을 채택하여 피로강도저하의 주된 요인이 되는 용접결합, 인장잔류응력등의 발생을 가능한한 억제시킴으로써 모재축과 거의 동일한 피로강도를 가지는 축을 얻을 수 있다는 연구사례도 발표되어 있다.³⁾ 이러한 연구결과와 더불어 보수용접의 가장 큰 장점인 경제성 및 수리기간의 단축이라는 측면에서 보더라도 보수된 축계의 각종 특성 특히 피로강도를 정량적으로 평가하여 보는 것은 현실적으로 매우 중요하리라 판단된다.

한편 기계요소의 피로강도를 향상시키는 방법의 하나로서 표면경화법은 종래부터 널리 행해져 오고 있는 방법이고, 이중 담금질처리에 의한 표면경화법은 고용경화 및 시효경화이외에도 급냉에 동반하여 부재표면에 압축잔류응력을 형성시킴으로써 부재의 피로강도를 향상시킨다는 사실은 널리 알려져 있다.^{4,5)} 그런데 이러한 방법에 의해 경화된 부재의 피로특성에 대한 검토는 주로 피로강도곡선을 구하는 safe-life design적인 측면에 치중하였었고 사용이전에 결함을 가정한 fail-safe design적인 측면에서 그 피로특성을 평가한 예는 드물다. 특히 원봉형상의 요소에서 발생한 표면균열의 성장거동을 정량적으로 평가하는

것은 그 해석상의 어려움때문에 다수의 연구에도 불구하고 아직 많은 문제점을 가지고 있다.^{6,7)}

이와같은 관점으로 부터 본 논문에서는 동력전달용 축계재료로서 널리 이용되고 있는 원봉형상의 단조강의 표면에 육성용접을 행한 후 담금질에 의한 표면경화처리를 행한 용접경화재료에서의 표면피로균열의 성장거동을 평판내에서의 표면균열에 대한 Newman-Raju의 응력세기계수(K_t)식을 수정하여 정량적으로 평가하고 이것을 단조강 모재의 그것과 비교, 고찰하였다. 아울러 보수용접으로 인해 용접경화재료에 결합이 존재할 때의 피로강도를 결함이 존재하지 않을 때의 그것과 비교하고 이것을 모재의 피로강도와 각각 비교, 고찰하였다.

2. 실험재료 및 실험방법

2.1 실험재료 및 시험편

실험에 사용한 재료는 0.35%C강을 단조가공한 SF60급의 강재로서 그 화학적성분 및 기계적 성질을 Table 1에 나타내었다.

Fig. 1(a), (b)는 실험에 사용한 시험편들의 형상 및 치수를 나타내고 있다. Fig. 1(a)는 SF60강 모재의 피로시험에 사용한 것으로서 원봉에서의 표면피로균열의 전과거동을 관찰하기 위해 시험편

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of test material

Material	Chemical composition					Mechanical properties				
	C	Si	Mn	P	S	Y.S. (MPa)	T.S. (MPa)	E.L. (%)	R.A. (%)	Hardness (Shore)
SF60	0.32	0.25	0.71	0.008	0.01	345	640	24	50	28

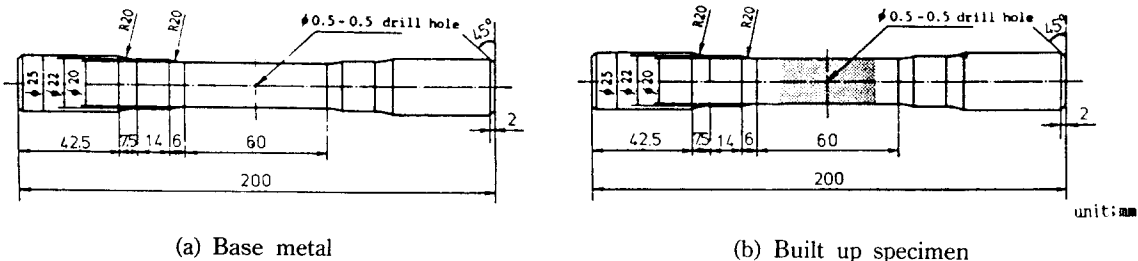


Fig. 1 Configuration and dimensions of specimens

평활부의 중앙에 $\phi 0.5mm$ 깊이 $0.5mm$ 의 드릴홈을 가공하였다. Fig. 1(b)는 SAW에 의해 시험편의 원주방향으로 보수를 가정한 육성용접을 행하여 가공한 용접시험편의 형상 및 치수를 나타내고 있다. Table 2는 이 때의 용접조건을 나타내고 있으며, Table 3은 용접금속으로 채용된 재료의 화학적성분을 나타내고 있다. 먼저 SF60 원봉모재의 평활부를 직경 $21mm$ 까지 절삭가공하여 평활부중심으로부터 좌우 $15mm$ 간에 걸쳐 나선형의 용접선형상으로 시험편 표면에 용접을 행한 후 그림에 나타낸 치수로 시험편을 가공하였다. 이 때 용착층의 깊이는 광학현미경에 의해 관찰한 결과 약 $1.5mm$ 였다.

Table 2 Welding condition

Welding method	Voltage (V)	Speed (cm/min.)	Heat input (KJ/cm)
SAW	29	40	3.263

Table 3 Chemical composition of weld deposit

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Ti	V
0.16	0.44	1.30	0.009	0.016	0.04	0.05	0.014	0.012

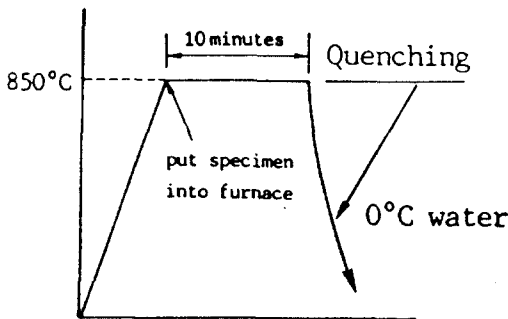


Fig. 2 Schematic illustration of quenching

Fig. 2는 용접시험편의 표면경도를 높이기 위하여 시험편에 채용된 담금질처리방법을 나타내고 있다. 담금질처리시 사용한 냉각매체는 $0^{\circ}C$ 의 물이었다.

2.2 실험방법

실험은 정적최대하중 $250KN$, 동적최대하중 \pm

$125KN$ 용량의 만능재료시험기에서 일정진폭의 완전양진($R = -1$) 축피로하중을 가하여 행하였다.

한편 Fig. 3에 보여지고 있는 바와같이 시험편상의 노치위에 하중축과 직각방향으로 저항선변형 물게이지(표점거리; $0.3mm$, 저항; 120Ω)를 부착하여 제하탄성 콤플라이언스법(unloading elastic compliance method)에 의해 균열의 개폐거동을 관찰하였다.

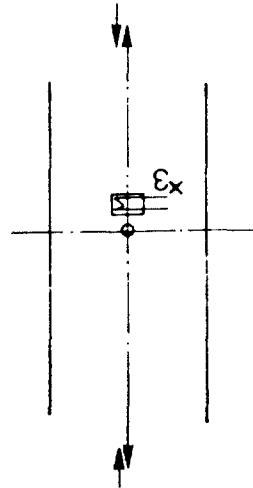


Fig. 3 Attachment method of strain gauge

균열길이는 60배의 배율을 가진 이동식현미경에 의해 측정되었다. 이때 측정되는 균열길이는 투영균열길이(Fig. 4에서의 \bar{X})이므로 이것을 다시 원주길이(Fig. 4에서의 ℓ)로 환산하여 실험결과를 정리하였다.

본 실험은 실온의 공기중에서 행하였으며 실험 결과들은 SI단위계로 정리되었다.

3. 원봉중의 반타원 표면균열에 대한 응력세기계수(K_I)의 수정

무한원방에서 균일한 인장력을 받고 있는 평판내에서의 반타원 표면균열에 대한 응력세기계수는 Newman-Raju⁹⁾에 의해,

$$K_I = \sigma \cdot \sqrt{\pi a} \cdot Q \cdot F(a/t, a/c, c/b, \phi) \dots (1)$$

로 표시된다. 여기에서 a 는 표면균열의 깊이(de-

pth of surface), t 는 평판의 두께(thickness of flat plate), c 는 표면균열의 길이의 반장(half length of surface crack), b 는 평판의 반폭(half width of flat plate)이다. 이식을 Fig. 4에 나타내어진 것과 같은 원봉형상의 물체중에 존재하는 반타원형의 표면균열에 적용하기 위하여 다음과 같은 가정을 둔다.

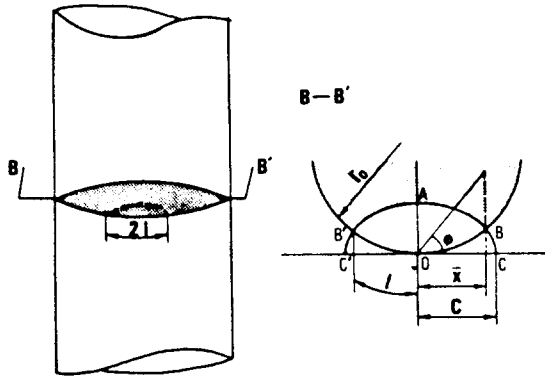


Fig. 4 Configuration and symbols of surface crack in a round bar

- 1) 평판의 반폭은 원봉의 반경으로 치환할 수 있다.
- 2) 평판의 두께는 원봉의 직경으로 치환할 수 있다.

위의 두 가정에 의해 식(1)은

$$K_I = \sigma \cdot \sqrt{\pi a} \cdot Q \cdot F(a/2r_o, a/c, c/r_o, \phi) \dots\dots\dots (2)$$

로 표현된다. 여기서, r_o 는 Fig. 4에 나타낸 것과 같이 원봉의 반경이다. 또한 식(1), (2)에서 ϕ 는 타원각(elliptical angle), Q 는 제2종 타원적분(elliptical integral of the second kind)으로써,

$$Q = [\pi/8 \cdot \{3 + (a/c)^2\}]^{-1} \dots\dots\dots (3)$$

과 같이 나타내어지고, F 는 경계수정계수(boundary correction factor)이다. 한편 식(2)는

$$K_I / \sigma \cdot \sqrt{\pi a} = Q \cdot F(a/2r_o, \lambda, c/r_o, \phi) = Q \cdot F \dots\dots\dots (4)$$

과 같이 된다.

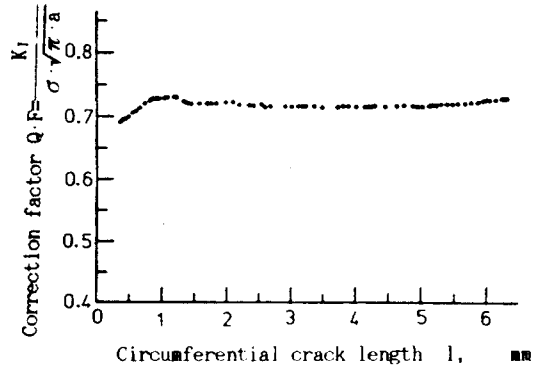


Fig. 5 Variation of correction factor for stress intensity factor

Fig. 5는 식(4)에 나타낸 K_I 의 수정계수($Q \cdot F$)의 값을 l 을 변수로 하여 나타낸 것이다. 여기서 K_I 는 원봉표면에서의 타원균열의 선단, 즉 Fig. 4에서 점B에서의 값이다. 각각의 l 에 대한 식(4)에서의 각 무차원계수는 예비실험에서 동일형상의 시험편의 파단면상에 비치마크(beach mark)를 생성시킨 후 파단면을 관찰한 결과에 의해 결정되었다. 그림으로 부터 알 수 있는 바와같이 $l > 1.3 \text{ mm}$ 에서 수정계수 $Q \cdot F$ 는 0.715값에 수렴하게 된다. 즉 $l > 1.3 \text{ mm}$ 에서 원봉표면에서의 타원 균열 선단에서의 K_I 의 수정계수는 일정으로 된다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 SF60원봉모재시험편의 피로균열 전파특성

Fig. 6은 각각의 응력범위($\Delta\sigma$)에 있어서 반복수

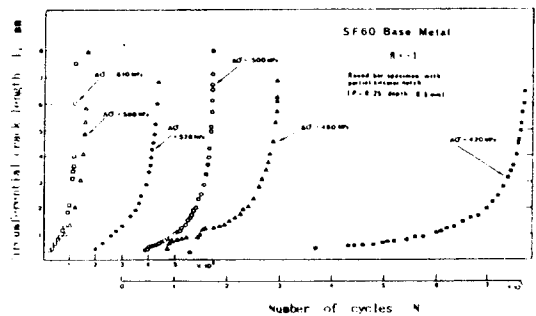


Fig. 6 Surface crack growth properties of SF60 round bar

의 변화에 따른 원주균열길이의 변화양상을 나타낸 것이다. $\Delta\sigma \geq 528MPa$ 에서는 시험편의 파단까지의 반복수가 10^4 이하로서 급속하게 균열이 성장하여 파단에 이르렀다. 이것은 $\Delta\sigma=528MPa$ 인 조건에서 반복수 $N=2 \times 10^3$ 에서의 응력-변형 불곡선을 나타내고 있는 Fig. 7에서 알 수 있는 바와같이 시험편 전단면에 걸쳐 소성변형이 발생하여 소위 소규모항복(small scale yielding)조건이 만족되지 않는 상태에서 균열성장이 일어났기 때문이라 판단된다. 이와같이 응력진폭($\Delta\sigma/2$)이 강재의 단순인장시의 항복응력보다 낮음에도 불구하고 소성변형이 발생하는 것은 반복연화(cyclic softening)현상의 발생으로 인해 재료의 반복항복응력(cyclic yielding stress)이 단순인장시의 항복응력보다 낮아지기 때문이라 생각된다.⁹⁾

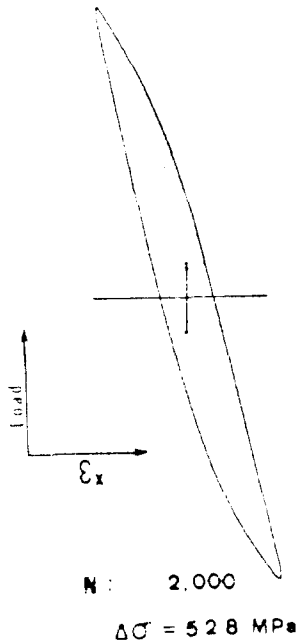


Fig. 7 Load-strain hysteresis loop in SF60

Fig. 8은 $dl/dN-\Delta K$ 의 관계를 소성변형의 발생이 현저한 부하응력범위의 결과를 제외하고 나타낸 것이다. $\Delta\sigma=528MPa$ 조건의 실험점들이 S-곡선상에서 벗어나는 것은 앞서 고찰한 바와같이 반복연화로 인한 소성변형의 발생으로 소성피로 균열진전이 일어나기 때문이다.^{7), 10)}

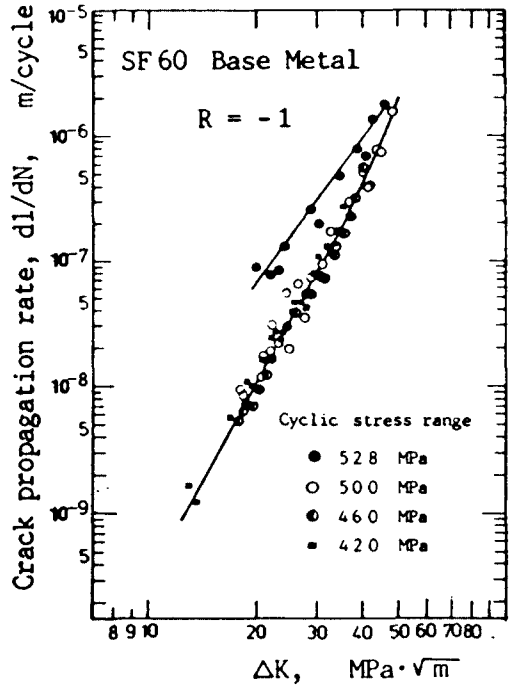


Fig. 8 Crack propagation rate of Surface crack in round bar as a function of ΔK

Fig. 9는 균열의 개폐거동을 제한탄성콤플라이언스법에 의해 측정된 결과를 나타내고 있다. $\Delta\sigma \leq 500MPa$ 인 경우 긴균열(long crack)의 균열 개구비(U)는 0.53에서 0.55사이의 값이나 $\Delta\sigma=528MPa$ 인 경우의 U값은 그것보다 더 큰값임을 알 수 있다.

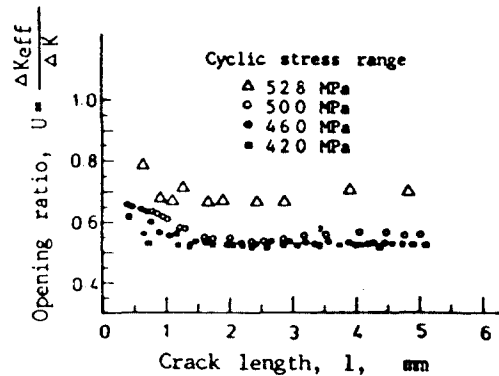


Fig. 9 Variation of Crack opening ratio with crack length(l) in SF60

Fig. 9의 결과를 이용하여 $\Delta K_{eff} = U \cdot \Delta K$ 에 의해 유효응력세기계수범위를 구하고 이것과 dl/dN 과의 관계를 나타낸 것이 Fig. 10이다. 그림에서 알 수 있는 바와같이 ΔK_{eff} 로 정리함에 의해 ΔK 로 정리했을 때 나타났던 균열전파곡선의 응력의존성이 없어지게 되며 소규모항복조건을 만족하지 않는 영역의 어느정도 범위까지 ΔK_{eff} 를 이용함에 의해 K개념을 확장하여 적용시킬 수 있음을 알 수 있다.¹¹⁾

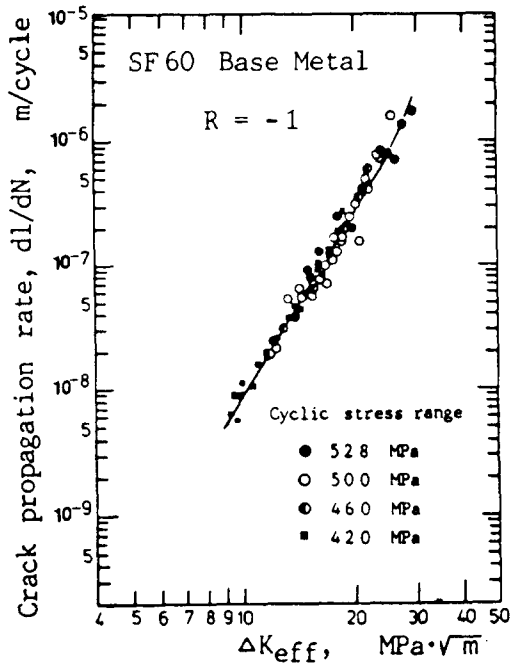


Fig. 10 Crack propagation rate of surface crack in round bar as a function of ΔK_{eff}

4.2 용접-경화시험편(BHS)의 피로균열전파 특성

Fig. 11은 BHS의 각 부하응력범위에 대한 반복수의 변화에 따른 1의 변화양상을 동일조건인 SF60 모재의 결과와 함께 나타낸 것이다. BHS는 동일조건하에서 임의균열길이로 성장하기까지의 수명이 SF60 모재에 비해 길어짐을 알 수 있고, 특히 $\Delta\sigma = 588MPa$ 인 경우 그 경향이 매우 현저함을 알 수 있다.

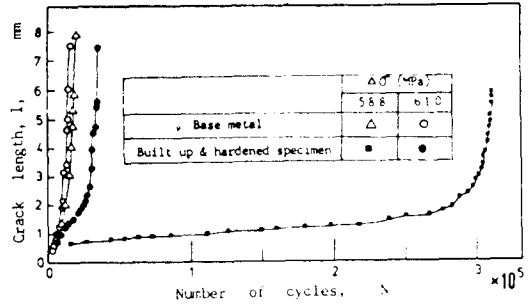


Fig. 11 Comparison of surface crack growth properties

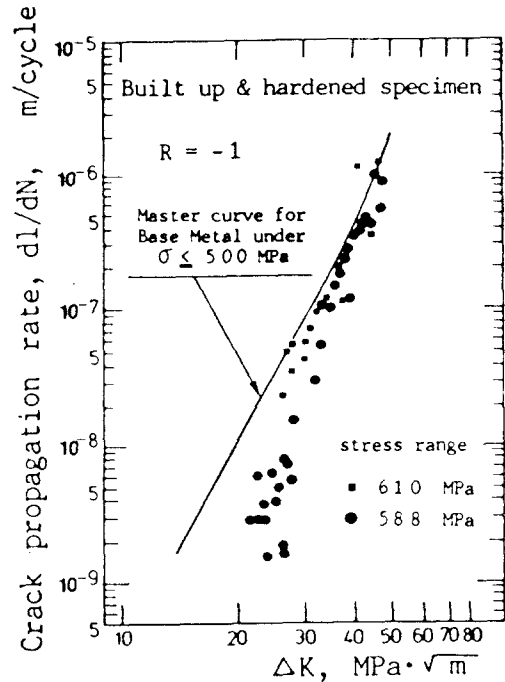


Fig. 12 Crack propagation rate of surface crack as a function of ΔK in built up and hardened specimen

Fig. 12는 Fig. 11로 부터 얻어진 BHS의 dl/dN 과 ΔK 와의 관계를 양대수좌표상에 나타낸 것이다. 그림중에서 실선으로 표시된 곡선은 $\Delta\sigma \leq 500MPa$ 인 조건에서의 SF60 모재의 $dl/dN - \Delta K$ 관계를 나타내고 있다. 그림으로부터 BHS의 균열전파속도는 SF60 모재의 그것에 비해 느림을 알 수 있고, 특히 $dl/dN \leq 7 \times 10^{-8} (\Delta K \leq 2.8)$

MPa · √m)에서는 양자간의 차이가 더욱 현저해 짐을 알 수 있다. 이와 같이 BHS의 균열전파속도가 SF60 모재의 그것에 비해 느린 요인은 BHS에 채용된 담금질처리에 의한 BHS표면경도 상승 및 압축잔류응력형성의 영향이라고 판단된다.¹²⁾

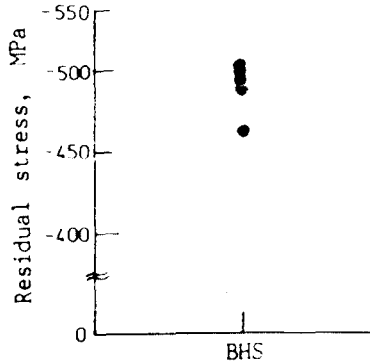


Fig. 13 Measurement result of residual stress

Fig. 13은 BHS의 표면에 발생된 압축잔류응력을 변형률게이지를 이용하여 측정된 결과를 나타내고 있다. 그림에 나타난 바와같이 BHS표면에는 -450~-500MPa 정도의 높은 압축잔류응력이 담금질 처리에 의해 발생되었음을 알 수 있다. 또한 표면의 경도도 Shore number 60(Vickers number 450에 상당)정도로 SF60 모재의 평균경도 Shore number 28에 비해 상당히 높았다.^{4, 5)}

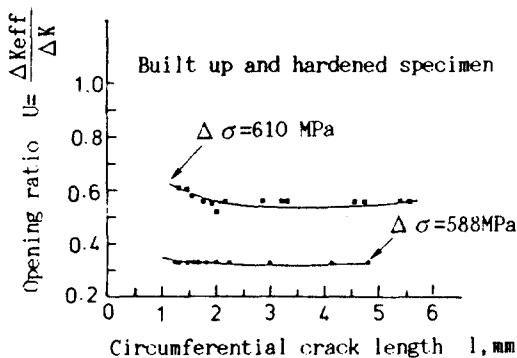


Fig. 14 Variation of crack opening ratio with crack length(l) in BHS

Fig. 14는 BHS의 1의 변화에 따른 U의 변화를 나타낸 것이다. 모재의 경우에 비해 U값이 전체적으로 낮아지는 것은 표면에서의 압축잔류응력의 영향때문으로 판단된다.

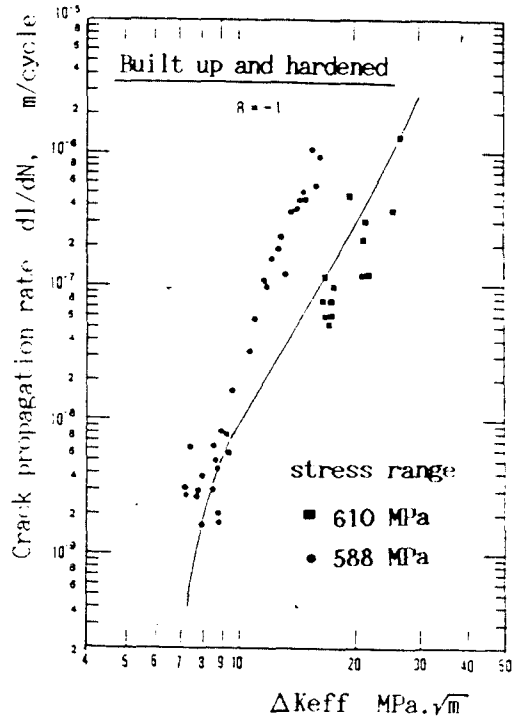


Fig. 15 Crack propagation rate of surface crack as a function of ΔK_{eff} in BHS

Fig. 15는 Fig. 14의 결과를 이용하여 BHS의 dl/dN과 ΔK_{eff} 와의 관계를 나타낸 것이다. 균열전파 제1영역에서의 전파거동은 SF60모재의 그것(실선)에 비교적 잘 수렴하게 되지만 $\Delta\sigma=588$ MPa 부하시 균열전파 제2영역에서의 전파거동은 SF60모재의 그것과 상당한 차이를 나타내고 있다. 반면 부하응력이 $\Delta\sigma=610$ MPa인 조건에서의 실험점들이 균열성장속도의 가속에 동반하여 SF60 모재의 S-N곡선에 수렴하여 가는 경향을 보이고 있다.

Fig. 16은 표면경화처리를 행한 원봉부재에 분포하게 되는 잔류응력의 모식도를 나타낸 것이다.⁵⁾ 그림에서와 같이 잔류응력은 표면에서는 압축

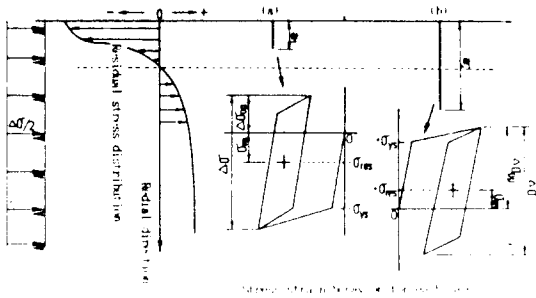


Fig. 16 Schematic illustration of residual stress distribution in surface hardened element

이고 내부로 들어가면서 그 평형력으로 인장이 될 것이다. 이와같은 잔류응력을 가진 부재에 균일한 인장력이 작용하여 균열이 내부로 전파하는 경우를 생각하자. 따라서 내부응력이 분포하지 않는 부재에 비하여 잔류응력이 분포하고 있는 동일조건인 부재는 균열이 존재하는 위치에서의 잔류응력의 재분포를 고려하지 않고 잔류응력 전부가 반복하중에 더하여 진다고 가정하면 잔류응력은 Fig. 16의 응력-변형률관계에서 알 수 있듯이 평균응력으로 작용하게 된다. 따라서 1사이클완료시의 최대응력 σ_{max} 와 최소응력 σ_{min} 은 각각,

$$\sigma_{max} = \Delta\sigma / 2 + \sigma_m = \Delta\sigma / 2 + \sigma_{res}$$

$$\sigma_{min} = -\Delta\sigma / 2 + \sigma_m = -\Delta\sigma / 2 + \sigma_{res}$$

로 된다. 따라서 (a)와 같이 $\sigma_{res} < 0$ 인 영역에 균열이 존재하고 있으면 σ_{max} 및 σ_{min} 값은 잔류응력이 존재하지 않을 때보다 압축의 방향으로 이동하게 되고 그 결과 균열전진에 유효한 응력 범위로 되는 $\Delta\sigma_{op}$ 는 작아지게 된다.¹³⁾ 반면 (b)와 같이 $\sigma_{res} > 0$ 인 영역에 균열이 존재하고 있으면 $\Delta\sigma_{op}$ 는 커질 것이다. 즉 미소균열일 경우의 균열개구비보다 긴균열에서의 균열개구비가 더 클 것으로 예상된다.¹³⁾ 그러나 본 실험결과에서는 균열길이의 변화에 따른 균열개구비의 변형률계이지에 의해 균열의 개폐현상이 잘 관찰되지만 (b)와 같이 깊은 균열의 개폐현상은 표면에서 감지되기가 어렵기 때문이라 판단된다. 즉, 균열이 길어질 수록 BHS에서의 실제균열개구비는 Fig. 14에 얻어진 결과보다 더 커질 것으로 판단되며, 이와같은 경우 Fig. 15에서 $\Delta\sigma = 588MPa$ 인 조건의 실험점들은 균열

전파속도가 빨라질 수록 우측으로 이동하게 되어 모재의 거동에 더욱 가깝게 될 것이라 판단된다.

한편 $\Delta\sigma = 610MPa$ 를 부하하는 경우 인장잔류응력이 분포하고 있는 시험편의 내부에서 소성변형이 발생하고 이로 인해 잔류응력이 재분포하게 되며 이러한 현상이 응력의 반복으로 인해 잔류응력값이 균열전파에 영향을 줄 수 없을 정도로 작아지기 때문에 이 응력에서의 균열전파특성은 모재의 그것에 상당히 접근하는 것이라 생각된다.

4.3 BHS의 피로강도

Fig. 17은 BHS의 파단수명기준 피로강도를 SF60모재의 그것과 비교하여 나타낸 것이다. 그림 중에서 일점쇄선으로 나타낸 선이 SF60 모재의 피로강도선이다. 먼저 용접결함이 없는 BHS의 피로 강도(\blacktriangle 로 표시)는 SF60모재의 그것보다 상당히 상승하고 있다. 한편 용접결함을 가진 BHS의 피로강도(\triangle , \circ)도 SF60모재의 강도와 거의 같은 수준이거나 약간 높은 것으로 나타나고 있다. 따라서 결함의 존재로 인한 피로강도의 저하는 용접부 표면경화처리를 통하여 얼마간 억제시킬 수 있다는 것을 알 수 있지만 용접결함의 정량적평가를 통한 피로강도의 검토가 차후 뒤 따라야 할 것으로 생각된다.

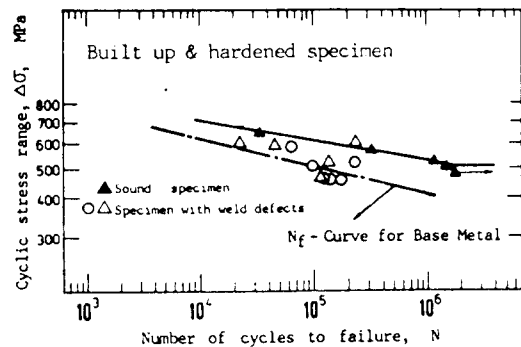


Fig. 17 Fatigue strength of the BHS

5. 결 론

본 연구에서는 SF60강 모재 및 그 용접경화재

의 피로특성을 각각 평가하여 그 차이를 비교, 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 평판의 표면에서 발생하여 성장하는 표면균열에 대한 응력세기계수를 원봉에서의 표면균열에 대하여 수정한 응력세기계수로써 저응력하에서 전파하는 원봉중의 표면피로균열의 전파거동을 평가할 수 있다.
- 2) 고응력하에서의 균열전파거동은 저응력일때의 그것으로부터 벗어나지만 균열개구비를 고려한 유효응력세기계수범위의 도입에 의해 저응력부하시의 전파곡선에 수렴시킬 수 있다.
- 3) 용접경화재의 피로균열전파특성은 특히 균열전파 제1영역에서 모재의 그것에 비해 우수하였다.
- 4) 용접결함이 없는 용접경화재의 시험편 파단수명기준 피로강도는 SF60강 모재의 경우보다 훨씬 우수하다.
- 5) 용접결함이 존재하고 있는 용접경화재의 피로강도는 본 실험에서 SF60강 모재의 피로강도와 비슷하거나 약간 우수하다.

- 4) 中村, 外3人, “機械の疲勞壽命設計”, 養賢堂, pp. 169~215, 1983
- 5) Cazaud, R. et al, “金屬の疲れ”, 丹久保, 西島共譯, 丸善出版株式會社, pp. 344~346, 1973
- 6) Broek, D. “Elementary Engineering Fracture Mechanics(4th ed.)”, Martinus Nijhoff Publishers, p. 88, 1988
- 7) Nisitani, H., “Behavior of Small Crack in Fatigue and Relating Phenomena”, Current Research on Fatigue Crack, MRS1, Vol. 1, jsms, pp. 1~22, 1985
- 8) Newman, J. C. and I. S. Raju, “Analaysis of Surface Crack in Finite Plate under Tension or Bending Loads”, NASA T. P. 1578, 1979
- 9) 김영식, 한명수, 노재충, “構造用 저탄소강의 저 사이클 疲勞特性에 관한 研究”, 대한기계학회논문집, 제13권 제2호, pp. 307~315, 1989
- 10) 西谷, 外2人, “大應力下および小應力下におけるき裂傳ば則の検討”, 日本機械學會 論文集 (A), 50-449, pp. 23~32, 昭59
- 11) Jono, M., Song and J. H., “Growth and Closure of Short Crack at Notch Root”, Current Research on Fatigue Crack, MRS, Vol. 1, JSMS, pp. 35~56, 1985
- 12) 廣瀬, 外 3人, “低炭素鋼切冗き材の疲勞強度に及ばず低温焼入れおよび低温焼入れ時効の影響”, 日本機械學會論文集 (第 1部), 44-381, pp. 1424~1434, 1978
- 13) 趙相明, “切冗き材における 疲勞き裂の初期傳播特性に関する研究”, 日本大阪大學 博士學位論文, 昭62

참고문헌

- 1) Gurney, T. R., “Fatigue of Welded Structure”, Cambridge Univ. Press, pp. 276-281, 1979
- 2) 예를들면, K. R강선규칙, 재료 및 용접, 제6집, 1986
- 3) Grainger, S., “Repair and Reclamation Surfacing by Welding”, Repair and Reclamation, Welding Institute, pp. 21~36, 1984

★會員加入案内★

本學會 入會를 원하시는 분은 學會所定樣式의 入會願과 우편대체 납입표(본권 말미에 부착되어 있음)를 이용해서서 所定の 年會費를 學會 事務局으로 送付하시면 理事會의 議決을 거쳐 定式入會를 通告해 드립니다.

詳細한 것은 電話로 問議하여 주십시오.

韓國海洋工學會

釜山市 沙下區 下端洞 840 東亞大學校 工科學內

電話 : (051) 205-2325