

<論 文>

過大, 過小應力下에서의 疲勞크랙發生 傳播學動(I)

—炭素鋼材의 크랙 선단부 被害를 中心으로—

宋 森 弘*·元 時 太**

(1985年 1月 8日接受)

Behavior of Initiation and Propagation of Fatigue Crack under Periodic Overstressing(I)

—About the Crack Tip Damage of the Carbon Steel—

Sam Hong Song and Si Tae Won

Key Words: Overstress(과대응력), Understress(과소응력), Slip Band Occurrence Stage (슬립밴드 발생 단계), Crack Propagation Stage(크랙진파단계), Damage Distribution of Crack Tip(크랙선단부 피해분포)

Abstract

With respect to structural carbon steel (SM 22C), it was studied how the overstress or the understress has effects on fatigue crack propagation curve of a two level stress.

Obtained results are summarized as follows.

- (1) The overstress or the understress, at a slip band occurrence stage, does not change the crack propagation curve because the damage of base stress is nearly same that of overstress or understress under the same slip band occurrence.
- (2) The overstress, at a crack propagation stage, gives rise to a retardation of crack growth because the damage of base stress is smaller than that of overstress under the same crack length.
- (3) The understress, at a crack propagation stage, gives rise to an acceleration of crack growth because the damage of base stress is larger than that of understress under the same crack length.

1. 序 論

機械 및 構造物들은 사용환경과 운전조건에 따라 荷重이 變動하는 경우가 大部分이고 이와같은 상황에서

疲勞크랙 傳播 및 疲勞壽命의 精確한 예측은 매우 重要하다.

이와같은 불규칙한 應力狀態에 대한 疲勞破斷壽命을 검토하는데 가장 간단하고 보편적으로 사용되고 있는 被害理論은 Miner가 정립한 線形被害法則이고 이것은 被害程度를 단순히 사이클비 n/N 으로 가정하여 m 단應力이 作用하는 경우 다음과 같다⁽¹⁾.

* 正會員, 高麗大學校 工科學 機械工學科

**正會員, 高麗大學校 大學院, 現在 京畿工業開放大學 金型設計學科

$$D_f = \frac{\sum_{i=1}^n n_i}{N_i}$$

여기서 D_f 는 총피해율, N_i 는 應力 σ_i 에서 破斷까지의 壽命, n_i 는 σ_i 가 作用한 反復數이다.

그러나 S.S. Manson⁽²⁾ 등은 2段應力에서 線形被害法則($\sum \frac{n}{N}$)이 荷重의 순서가 다른 경우, 즉 高荷重에서 低荷重 부하시에는 $\sum \frac{n}{N} < 1$ 이고 低荷重에서 高荷重 부하시에는 $\sum \frac{n}{N} > 1$ 이 되는 현상이 나타나고 특히 이와 같은 현상은 같은 크랙진이라 하더라도 應力에 의한 조건이 다르고 또한 材料에 따라 硬化 및 軟化가 되는 性質에 기인한다고 예측하였다. 한편 E.F.J. Von Euw⁽³⁾ 등은 應力이 변한 結果 한쪽모서리 노치를 갖는 2024-T 3 알루미늄 合金材의 疲勞크랙 傳播擧動을 조사하고 피이크하중 다음의 疲勞크랙 성장율의 지연현상은 크랙선단부에 잔류압축응력이 존재하므로써 크랙선단부에서 크랙이 전파하는 것을 억제한다고 보고하였다. 또한 Elber⁽⁴⁾ 등은 중앙에 구멍을 갖는 2024-T 3 알루미늄 合金板材의 反復引張實驗에서 疲勞크랙 단합현상을 제안하고 특히 크랙단합현상이 變動荷重에서 크랙전파의 가속 및 지연효과를 갖는다고 하였다. 이밖에 青木逸郎⁽⁵⁾ 및 中村宏⁽⁶⁾ 등은 V형 환상노치를 갖는 S 40 C, S 15 C 및 S 35 C 材의 回傳굽힘 疲勞試驗에서 荷重을 變化시킨 경우 크랙 傳播曲線의 양상에 따라 重合則과 平行則의 모델을 제시하고 過大應力을 加한 경우에는 重合則이 成立하고 過小應力을 加한 경우에는 加速現象에 의한 平行則이 成立한다고 하였다.

以上の 몇 가지 結果를 검토하면 크랙전파의 지연 및 가속현상에 대한 主要因子는 크랙선단부의 미시적 변화에 의한 피해요인과 크랙의 形狀의인 要因으로 생각되어진다.

한편, 疲勞過程은 크랙이 發生한 후 이것이 점점 성장하여 最終破斷에 이르고 있고 실제의 경우 應力이 變動하는 時期는 불규칙하게 나타나므로 疲勞過程中에서 變動應力이 作用하는 時期가 다르면 疲勞壽命 및 크랙 傳播擧動에 큰 영향이 나타날 것으로 생각이 된다. 따라서 크랙 傳播曲線은 過大 및 過小應力이 가해지는 시점이 다르면 다른 양상이 나타날 것이 예상이 된다.

이와같은 관점에서 본 研究는 불규칙 하중을 받는 부재에 대한 研究의 기초로서 간단한 응력모델을 設定하고 이들 變動應力이 가해지는 시기를 명확히 구분하여 크랙전파곡선의 거동을 고찰하였다. 특히 부하되는 응력 진폭의 크기에 따라서 크랙선단부의 미시적인 변화의 크기가 다르고 이로인하여 크랙전파에 대한 被害의 程

度가 달라진다고 하면 크랙전파의 지연 및 가속현상이 나타날 것이 예측이 되고 따라서 이때 나타나는 被害程度의 크기를 微小 硬度值로 환산하여 그것과 피로크랙 전파 특성곡을 비교 검토 하였다.

2. 實驗方法

本 實驗에 使用한 試驗片은 國產 構造用 炭素鋼材이고 化學成分과 機械的 性質은 Table 1 및 Table 2와 같다.

疲勞試驗片은 Fig. 1과 같이 슬립밴드 및 포면크랙 길이를 측정하는데 용이함을 위해 이들이 시현편의 한 부분에서 發生하도록 圓孔의 지름 $d=1$ mm, 길이 $h=5d$ 로 비관통시켰다. 한편 표면크랙은 圓孔의 선단에서 發生傳播하므로 이것의 관찰을 용이하게 하기위해 연마지 #1200 까지 연마한 후 산화크롬으로 버프연삭 하였다.

本 實驗에 使用된 疲勞試驗機는 One's type 회전굽힘 피로시험기이고 시험기의 能力은 최대굽힘모멘트 10 kgf-m, 迴轉數는 300 rpm 이다.

應力의 계산은 공칭응력으로 하였고 또한 각각의 應力段階에 따른 표면크랙 전파거동을 파악하기 위하여 前報⁽⁷⁾에서 發表한 바와같이 Fig. 2와 같은 2段應力 모델을 선정하였다. 여기서 먼저 가하는 應力은 1次應力(σ_1 : 편의상 基準應力으로 한다)으로 하고 基準應力보다 후에 가하는 應力을 2次應力(σ_2)이라 한다. 이것을 基準應力에 대하여 2次應力이 큰것을 過大應力(모델 a), 작은것을 過小應力(모델 b)이라 한다. 그리고 이들 過大 및 過小應力이 가해지는 시기를 基準應力에 의해 表面에서 슬립밴드가 發生한 段階과 크랙이 傳播하는 段階로 구분하여 정하였다. 이때 전파하는 크랙길이는 Fig. 3과 같이 圓孔의 양단에서 發生한 크랙($l=l_1+l_2$)으로 한다.

한편 크랙선단부의 被害分布測定은 被害를 입지않은 부분의 硬度值가 母材의 硬度值와 같다는 가정에서 Bathias⁽⁸⁾ 및 北岡征一郎⁽⁹⁾ 등이 행한 方法으로 미소경도계를 使用하였다. 특히 本 實驗의 경우에는 시험편 조직이 結晶粒의 크기가 약 20 μ m 인 퍼얼라이트와 페라이트조직으로 구성되어 있기 때문에 이들 組織이 어느정도 同時에 압입될 수 있는 미소경도압자의 크기를 고려하여 荷重 100 gr., 時間 30 초의 조건으로 하였고 압자간격은 0.05~1mm의 간격으로 측정하므로써 미소경도압자에 의한 영향을 가능한 한 피하였다. 이때 미소경도값의 측정방향은 크랙선단부에서 크랙에 직각인 방향(x方向)과 크랙진행방향(y方向)으로 구분하

여 母材의 미소경도값 ($H_v \approx 200$)과 같은 값이 나오는지 위치까지 측정하였다.

Table 1 Chemical composition(Wt%)

Material	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
SM 22C	0.23	0.15	0.50	0.003	0.022	0.01	0.01	0.01	0.03

Table 2 Mechanical properties

Material	Tensile strength (kgf/mm ²)	Elongation (%)	Reduction of area (%)	Hardness (Hv)
SM 22 C	68	14	46	200

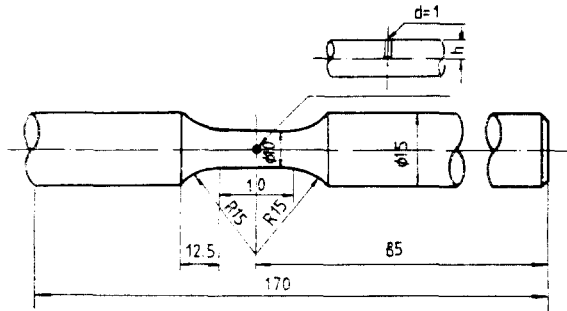


Fig. 1 Geometry of fatigue test specimen (mm)

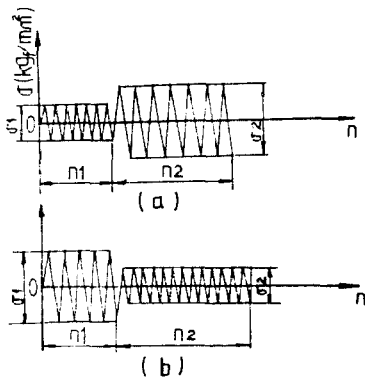


Fig. 2 The model of the two level stressing

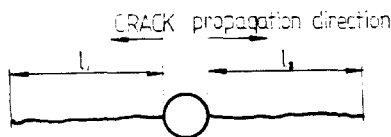


Fig. 3 Crack length ($l=l_1+l_2$)

3. 實驗結果 및 考察

3.1. 一定應力下에서의 表面크랙 傳播學動

試驗片은 反復應力을 받으면 疲勞크랙의 初期狀態는 表面에 塑性에 의한 slip이 發生하고 이 슬립이 누적되어 슬립밴드에 의한 軟化現象이 생긴후 初期크랙을 發生시킨다⁽¹⁰⁾. 이후 發生된 크랙이 傳播하여 最終破斷에 이른다.

Fig. 4는 각각의 應力段階에서 슬립밴드가 發生하는 壽命, 및 크랙이 0.5 mm 傳播하는 壽命 그리고 破斷 壽命을 나타내며 이때 疲勞限度는 $\sigma_w \approx 16.4$ kgf/mm²이다. 應力段階의 선정은 疲勞限度以上の 값에서 선택하고 破斷壽命(N_f)를 기준으로하여 $N_f \approx 1.3 \times 10^4$ 인 $\sigma = 50$ kgf/mm²을 高應力段階, $N_f \approx 9 \times 10^4$ 인 $\sigma = 35$ kgf/mm²을 中間應力段階, $N_f \approx 1 \times 10^6$ 인 $\sigma = 20$ kgf/mm²을 低應力段階로 정하였다.

Table 3은 각 應力段階에서 破斷壽命에 대한 (1) 슬립밴드 發生時期(n_1), (2) 圓孔에서 미시표면크랙의 發生時期(n_2)[본 실험에서는 100 μ m 정도의 크기를 의미한다⁽¹⁰⁾], (3) 표면크랙(l)이 0.5 mm 까지 전파한 時期(n_3)를 구한 것이다. Fig. 5는 각 應力段階에서 回轉數의 증가에 따른 표면크랙 길이의 전파 양상이다. Fig. 6은 각 應力에 대하여 전파하는 표면크랙길이와 破斷 壽命에 대한 回轉數의 비이다. 以上の 結果를 종합하면 각각의 應力에 따라서 표면에 슬립밴드 및 동일한 크기의 크랙길이 전파하는 수명비(n_i/N_f)가 현저한 차이를 갖고 高應力段階로 갈수록 빨리 나타나고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7은 圓孔의 선단부분에서 슬립밴드가 發生한 예를 관찰하기 위하여 同一部分을 연속관찰한 것이다. 여기서 Fig. 7(a)는 反復應力을 가하기 이전의 圓孔의 선단부분이고 Fig. 7(b)는 Fig. 7(a)부분을 예칭한 것이다. Fig. 7(c)는 圓孔의 선단에서 發生한 슬립밴드를 나

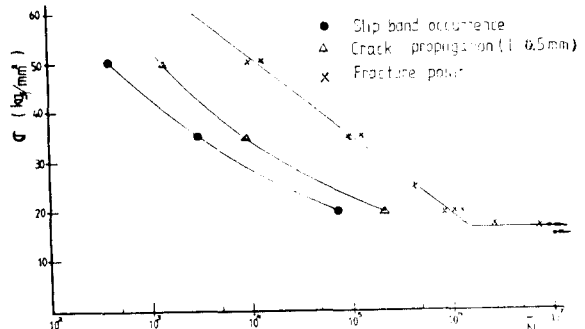


Fig. 4 S-N curve diagram

타내며 여기서 슬립밴드는 페라이트조직 내에서만 발생하여 산재하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 8은 각 應力段階에 따라 원주표면에서 전파하는 크랙의 특징이고 이때 低應力보다 高應力으로 갈수록 전파하는 주크랙의 주위에는 더욱 큰 소성역과 미시크랙을 동반하면서 전파함을 알 수 있다.

Table 3 The ratio of n_i/N_f

Stress level	$\sigma = 50 \text{ kg f/mm}^2$	$\sigma = 35 \text{ kg f/mm}^2$	$\sigma = 20 \text{ kg f/mm}^2$
Cycle to fracture	$N_f \doteq 1.3 \times 10^4$	$N_f \doteq 9 \times 10^4$	$N_f \doteq 1 \times 10^6$
(1) Slip band occurrence stage	$n_1 \doteq 4 \times 10^2$ $\frac{n_1}{N_f} = 3\%$	$n_1 \doteq 3 \times 10^3$ $\frac{n_1}{N_f} = 3.33\%$	$n_1 \doteq 7.5 \times 10^4$ $\frac{n_1}{N_f} = 7.5\%$
(2) Crack initiation stage (100 μm)	$n_2 \doteq 7 \times 10^2$ $\frac{n_2}{N_f} = 5.3\%$	$n_2 \doteq 5.2 \times 10^3$ $\frac{n_2}{N_f} = 5.5\%$	$n_2 \doteq 1 \times 10^5$ $\frac{n_2}{N_f} = 10\%$
(3) Crack propagation stage ($l=0.5 \text{ mm}$)	$n_3 \doteq 1.3 \times 10^3$ $\frac{n_3}{N_f} = 10\%$	$n_3 \doteq 9 \times 10^3$ $\frac{n_3}{N_f} = 10\%$	$n_3 \doteq 2 \times 10^5$ $\frac{n_3}{N_f} = 20\%$

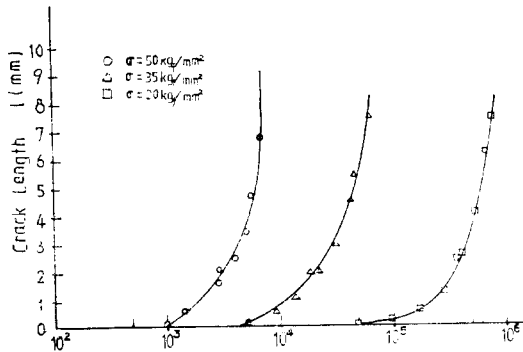


Fig. 5 $l-N$ curve in case of constant stress amplitude

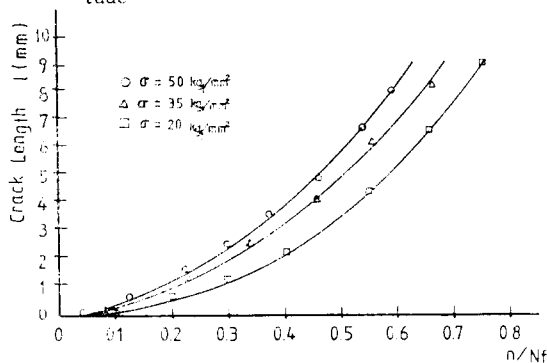


Fig. 6 $l-n/N_f$ curve

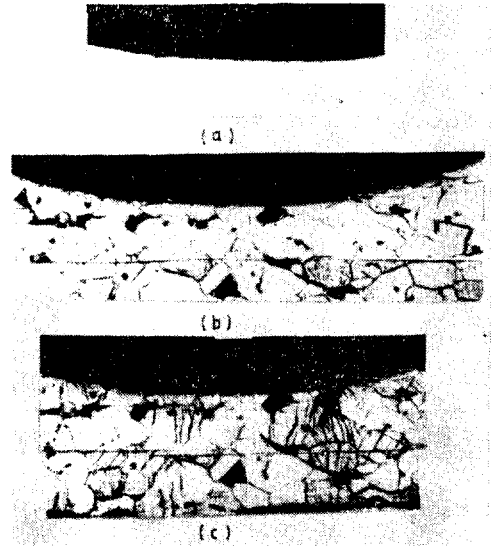


Fig. 7 Example of the slip band occurrence

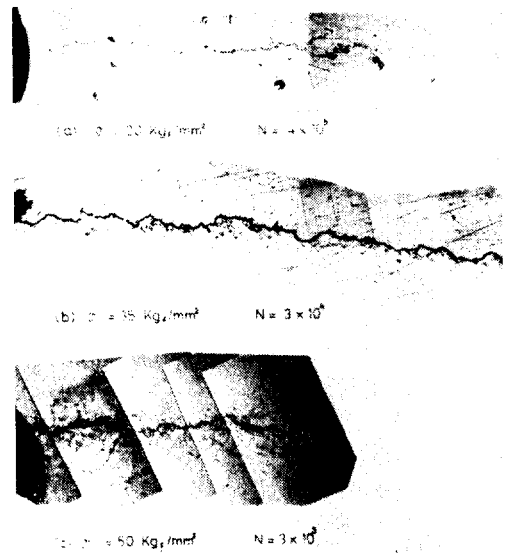


Fig. 8 characteristic of fatigue crack propagation

3.2. 表面크랙 傳播舉動에 미치는 過大應力の 영향

(1) 슬립밴드 發生段階에서 過大應力을 가한 경우
 Fig. 9는 Fig. 2의 모델(a)의 경우로서 基準應力에서 슬립밴드가 發生한 후 過大應力을($\sigma_1=35 \text{ kgf/mm}^2 \rightarrow \sigma_2=50 \text{ kgf/mm}^2$, $\sigma_1=20 \text{ kgf/mm}^2 \rightarrow \sigma_2=35 \text{ kgf/mm}^2$)가한 結果를 나타내며 이때의 크랙전파 곡선은 過大應力에 해당하는 一定應力($\sigma=50 \text{ kgf/mm}^2$, $\sigma=35$

kgf/mm²)의 크랙전파곡선을 따라 전파한다. 즉 슬립밴드 發生段階에서 過大應力の 영향은 크랙전파 거동에 거의 영향을 미치지 않는다.

(2) 크랙전파단계에서 過大應力を 가한 경우

Fig. 10은 Fig. 2의 모델 (a)의 경우이고 基準應力에서 크랙길이가 $l=0.5$ mm 정도 전파한 단계에서 過大應力을 ($\sigma_1=35$ kgf/mm² $\rightarrow\sigma_2=50$ kgf/mm², $\sigma_1=20$ kgf/mm² $\rightarrow\sigma_2=35$ kgf/mm²)가한 結果를 나타내며 이때의 크랙전파곡선은 過大應力에 해당하는 一定應力($\sigma=50$ kgf/mm², $\sigma=35$ kgf/mm²)의 크랙전파 곡선보다 약간 늦어지는 지연현상이 나타나고 있다.

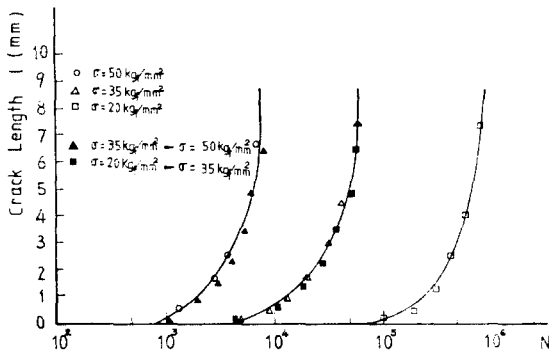


Fig. 9 $l-N$ curve in case of overstressing at the slip band occurring stage

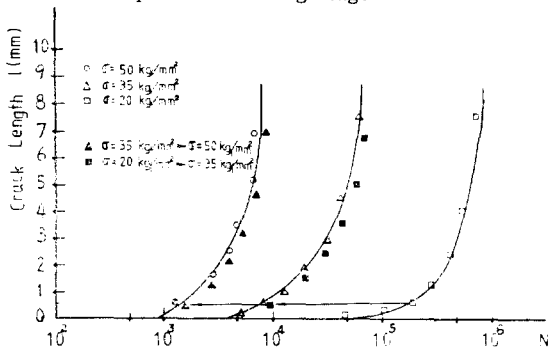


Fig. 10 $l-N$ curve in case of overstressing in the crack propagation stage ($l=0.5$ mm)

3.3. 表面크랙 傳播學動에 미치는 過小應力の 영향

(1) 슬립밴드 發生段階에서 過小應力を 가한 경우

Fig. 11은 Fig. 2의 모델(b)의 경우이고 基準應力에서 슬립밴드가 發生한 段階에서 過小應力을($\sigma_1=50$ kgf/mm² $\rightarrow\sigma_2=35$ kgf/mm², $\sigma_1=35$ kgf/mm² $\rightarrow\sigma_2=20$ kgf/mm²) 가한 結果이다. 이때 크랙전파 곡선은 過小應力에 해당하는 一定應力($\sigma=35$ kgf/mm², $\sigma=$

20 kgf/mm²)下에서의 크랙전파곡선상을 따라 전파함을 알 수 있다. 즉 슬립밴드 發生段階에서 過小應力の 영향은 크랙전파거동에 거의 영향을 미치지 않는다.

(2) 크랙전파단계에서 過小應力を 가한 경우

Fig. 12는 Fig. 2의 모델(b)의 경우이고 基準應力에서 크랙길이가 $l=0.5$ mm 정도 전파한 段階에서 過小應力을 ($\sigma_1=50$ kgf/mm² $\rightarrow\sigma_2=35$ kgf/mm², $\sigma_1=35$ kgf/mm² $\rightarrow\sigma_2=20$ kgf/mm²)가한 結果이다. 이때 크랙전파곡선은 過小應力에 해당하는 一定應力($\sigma=35$ kgf/mm², $\sigma=20$ kgf/mm²)에서의 크랙전파 곡선보다 빨리 전파하는 현상을 나타내고 있다. 즉 크랙전파 단계에서 過小應力の 영향은 매우 크다고 할 수 있다.

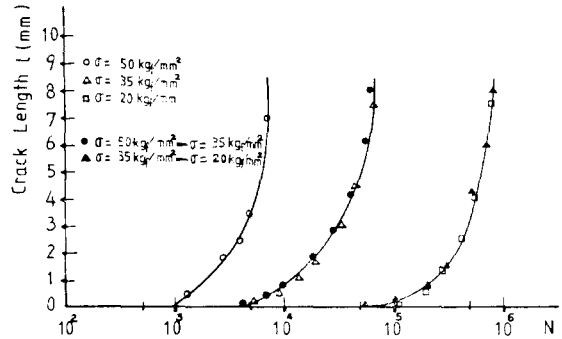


Fig. 11 $l-N$ curve in case of understressing at the slip band occurring stage

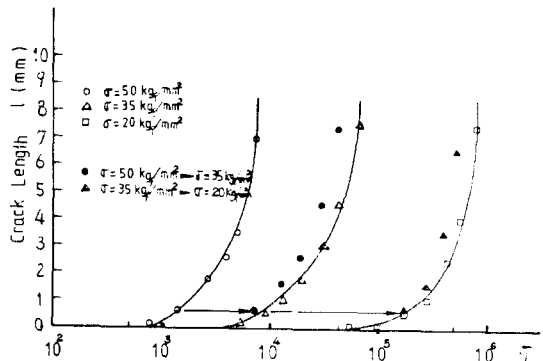


Fig. 12 $l-N$ curve in case of understressing in the crack propagation stage ($l=0.5$ mm)

3.4. 疲勞크랙 선단부의 被害分布와 크랙전파 특성의 검토

Fig. 7 및 Fig. 8에서와 같이 反復應力を 받으면 圓孔의 선단 및 크랙선단부 표면에는 미시적인 변화에 의한 被害가 發生한다.

Fig. 13은 각각의 應力에 대하여 反復回轉數를 증가시키면서 측정된 微小硬度值의 分布이다. 이 結果反復回轉數의 증가에 따라 crack 선단부에서의 微小 경도값은 현저하게 저하되는 경향을 나타낸다. 이때 crack 선단부에서 가장 被害를 입은 部分의 微小 경도값의 저하정도(저하율)는 슬립밴드 發生段階인 경우 $\sigma=50 \text{ kgf/mm}^2$ 에서 3.5% $\sigma=35 \text{ kgf/mm}^2$ 에서 3.5% $\sigma=20 \text{ kgf/mm}^2$ 에서 1.5%이고 crack 전단부($l=0.5 \text{ mm}$)인 경우 $\sigma=50 \text{ kgf/mm}^2$ 에서 20%, $\sigma=35 \text{ kgf/mm}^2$ 에서 13.5% $\sigma=20 \text{ kgf/mm}^2$ 에서 5%를 나타내고 있고 低應力에서 보다 高應力에서 더욱 크게 나타난다. 한편, 微小 경도값의 分布에서 被害程度의 범위를 알 수 있으며 應力이 커질수록 反復回轉數가 증가할수록 큰 영역을 갖고 x 方向의 被害범위가 y 方向의 被害범위보다 큰것을 알 수 있다.

Fig. 14의 (a)는 反復應力을 가하기전의 원공주위에

서 (b)는 crack 선단부에서 x 方向과 y 方向의 微小 경도값을 측정하기 위해 입자를 찍은 일예이다.

以上的 結果를 종합하여 보면 反復應力에 의해 동일한 crack 길이가 전과했다고 하더라도 應力의 크기에 따라 crack 선단부의 被害狀態가 상이하게 나타나고 이와 같은 상황에서 應力이 變動했을 경우에는 어느정도 이들에 의한 영향도 나타날 것으로 예측이 되어 3.2절 및 3.3절의 crack 전과폭선에 대한 過大 및 過小應力의 影響을 이들 變動應力이 가해지기 이전의 基準應力狀態에서 試驗片表面에 發生한 被害의 程度를 나타내는 微小 경도값의 변화와 비교 검토하였다.

(1) 슬립밴드 發生段階의 경우

基準應力에서 슬립밴드가 發生한 段階에서 미세적인 변화에 의한 圓孔 선단부의 최저 微小경도값은 $\sigma=50 \text{ kgf/mm}^2$ 에서 $H_v \approx 193$, $\sigma=35 \text{ kgf/mm}^2$ 에서 $H_v \approx 195$, $\sigma=20 \text{ kgf/mm}^2$ 에서 $H_v \approx 197$ 을 나타낸다. 이 단계

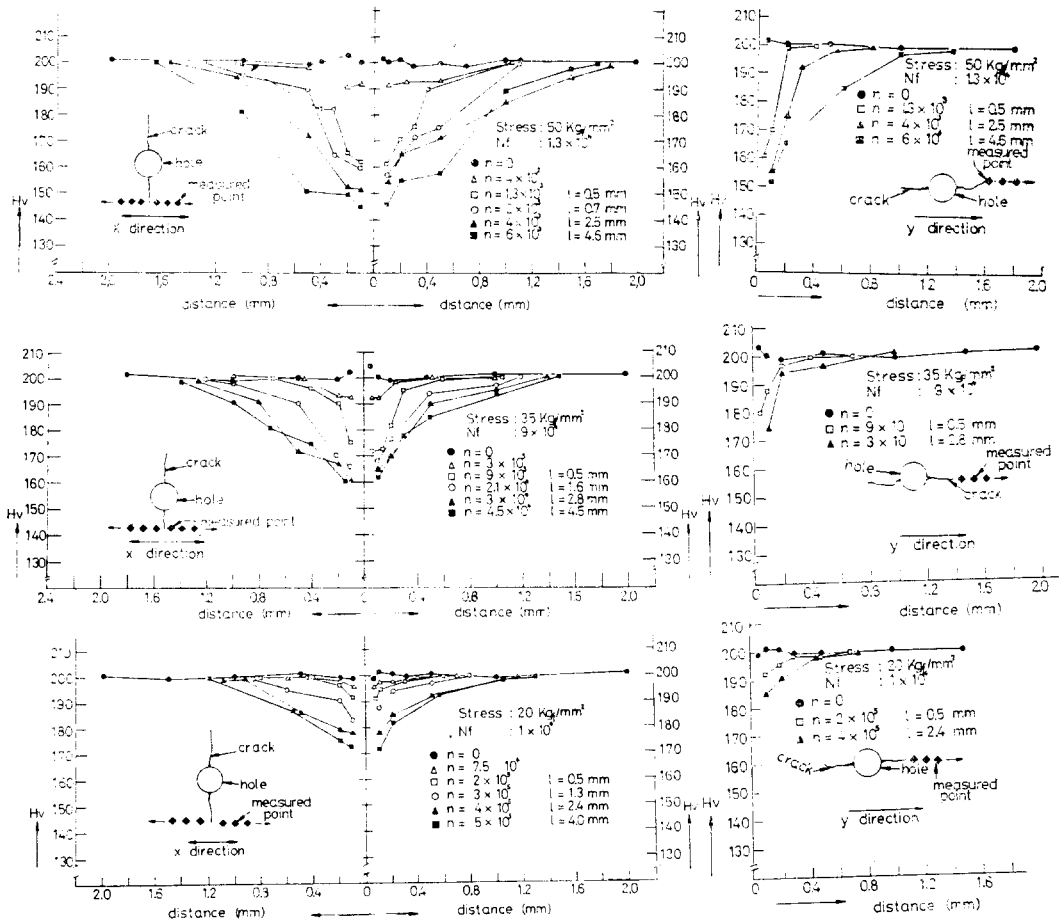


Fig. 13 Micro-vickers hardness distribution vs n/N_r (load 100 gr. time 30 sec)

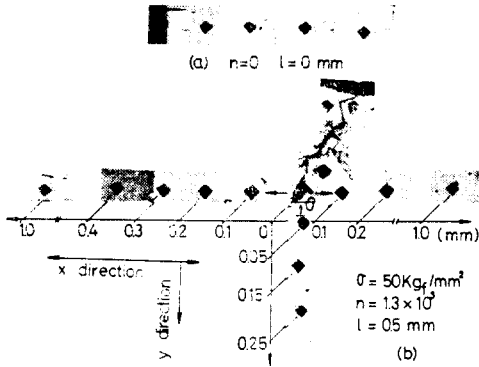


Fig. 14 Example of the micro-vickers hardness indentation at the crack tip (load 100 gr. time 30sec)

에서 過大應力($\sigma_1=35 \text{ kgf/mm}^2 \rightarrow \sigma_2=50 \text{ kgf/mm}^2$, $\sigma_1=20 \text{ kgf/mm}^2 \rightarrow \sigma_2=35 \text{ kgf/mm}^2$) 및 過小應力($\sigma_1=50 \text{ kgf/mm}^2 \rightarrow \sigma_2=35 \text{ kgf/mm}^2$, $\sigma_1=35 \text{ kgf/mm}^2 \rightarrow \sigma_2=20 \text{ kgf/mm}^2$)이 作用한 경우는 基準應力(σ_1)에 의한 미소경도값과 그후에 가해지는 過大應力(σ_2) 및 過小應力(σ_2)에 해당하는 一定應力에서의 미소경도값에 대한 차이가 $\Delta H_v=0\sim 4$ 정도로 작은 상태이므로 크랙전파 특성에 큰 영향이 없는 것으로 예측된다.

(2) 크랙전파단계의 경우

基準應力에서 크랙이 $l=0.5 \text{ mm}$ 전파한 단계에서는 이미 크랙선단부 주위에는 많은 被害를 입고 있는 상태이고 Fig. 11에서 보는바와 같이 應力段階에 따라 크랙선단부의 최저미소경도값은 $\sigma=50 \text{ kgf/mm}^2$ 에서 $H_v \approx 160$, $\sigma=35 \text{ kgf/mm}^2$ 에서 $H_v \approx 173$, $\sigma=20 \text{ kgf/mm}^2$ 에서 $H_v \approx 190$ 을 나타낸다.

이 段階에서 먼저 過大應力($\sigma_1=35 \text{ kgf/mm}^2 \rightarrow \sigma_2=50 \text{ kgf/mm}^2$, $\sigma_1=20 \text{ kgf/mm}^2 \rightarrow \sigma_2=35 \text{ kgf/mm}^2$)이 작용한 경우를 고려한다. 이때 基準應力(σ_1)에서 크랙이 전파한 상태($l=0.5 \text{ mm}$)에서 크랙선단부의 최저미소경도값은, 그 후에 가해지는 過大應力(σ_2)에 해당하는 一定應力下에서 동일한 크랙길이($l=0.5 \text{ mm}$)가 전파한 크랙선단부의 최저미소경도값보다 $\Delta H_v=13\sim 17$ 정도 높은 상태로서 被害를 덜입은 조건이 된다. 이와같은 현상이 어느정도 크랙전파의 지연현상이 나타나는 것으로 생각된다.

그러나 過小應力($\sigma_1=50 \text{ kgf/mm}^2 \rightarrow \sigma_2=35 \text{ kgf/mm}^2$, $\sigma_1=35 \text{ kgf/mm}^2 \rightarrow \sigma_2=20 \text{ kgf/mm}^2$)이 작용한 경우를 고려하면 基準應力(σ_1)에서 크랙길이가 $l=0.5 \text{ mm}$ 전파한 상태에서 크랙선단부의 최저 미소경도값은 그

후에 가해지는 過小應力(σ_2)에 해당하는 一定應力下에서 동일한 크랙길이($l=0.5 \text{ mm}$)가 전파한 크랙선단부의 그것보다 미소경도값이 $\Delta H_v=13\sim 17$ 정도 낮은 상태로 被害를 더 입은 조건이 된다. 이와같은 현상이 크랙이 빨리 전파하는 것으로 생각이 된다.

以上的 結果에서 크랙선단부의 被害條件에 따라 피해상황이 현저히 차이가 나는 크랙전파단계에서 변동應력이 作用하면 크랙전파 특성에 큰 영향이 나타난다 그러나 같은 미소경도값의 차이에도 불구하고 過小應力에 의한 가속현상이 過大應力에 의한 지연현상에 대한 값보다 크게 나타나는 점등 불명확한 점이 있고 따라서 이와같은 현상은 크랙선단부의 피해상황 이외에도 크랙의 정상적인 因子도 큰 영향을 나타낼 것으로 예상이 되며 이에 대한 검토도 명확히 할 필요가 있다고 생각된다.

4. 結 論

國產 構造用 炭素鋼材(SM 22 C)를 使用하여 2 段階 應力모형을 設定하고 基準應力에 의해 슬립밴드가 發生한 段階와 표면크랙이 傳播한 段階($l=0.5 \text{ mm}$)로 구분하여 過大 및 過小應力을 가한 結果 표면크랙 전파 폭선의 특징을, 크랙선단부에 發生하는 미시적인 변화를 경도값으로 환산하여 검토하였다.

이때 얻어진 結果를 요약하면 다음과 같다.

(1) 基準應力에서 슬립밴드가 發生한 후 過大 및 過小應力을 가하면 크랙전파폭선에 거의 변화가 없고 이것은 基準應力下에서 슬립밴드가 發生한 試片表面의 미소경도값과 過大 및 過小應力에서 슬립밴드가 發生한 미소경도값의 차이가 $\Delta H_v=0\sim 4$ 로서 매우 작은 상태에 기인한다.

(2) 基準應力에 의해 크랙이 전파한 段階에서 過大應力을 가한 경우, 크랙전파의 지연현상이 나타나고 이것은 基本應力에서 크랙선단부의 미소경도값이 過大應力에서 동일한 크기의 크랙길이가 전파한 크랙선단부의 미소경도값보다 $\Delta H_v=13\sim 17$ 만큼 큰 상태에 기인한다.

(3) 基準應力에 의해 크랙이 전파한 段階에서 過小應力을 가한 경우, 크랙전파의 가속현상이 나타나고 이것은 基準應力에서의 크랙선단부의 미소경도값이 過小應力에서 동일한 크기의 크랙길이가 전파한 크랙선단부의 미소경도값보다 $\Delta H_v=13\sim 17$ 만큼 작은 상태에 기인한다.

後 記

本 研究는 韓國科學財團의 1983 年度 후반기 研究費 支援에 의하여 이루어졌으며, 同 財團의 관계 諸位에 感謝드립니다

參 考 文 獻

- (1) Angel. F. Madayg, Metal Fatigue, pp.176~177, John wiley & sons. 1969.
- (2) S.S. Manson et al, Application of a Double Linear Damage Rule to Cumulative Fatigue, ASTM STP 415, pp.384~411, 1967
- (3) E.F.J. von Euw et al, Delay Effects in Fatigue Crack Propagation, ASTM STP 513, pp.230~259, 1972
- (4) Wolf Elber, The Significance of Fatigue Crack Closure, STP 486, pp.230~242, 1971
- (5) 青木逸郷 外 5 人, 實働應力と疲わ強さ, 日本機械學會論文集, 第 34 卷 第 267 號, pp.1854~1861, 1968
- (6) 中村宏 外 1 人, 最小の $\sum(n_i/N_i)$ の値を與える應力パターンにする實驗, 日本機械學會論文集, 第 36 卷, 第 287 號, pp.1059~1066, 1970
- (7) 宋森弘 外 1 人, 變動荷重下에서 過大, 過小應力이 疲勞크랙 舉動에 미치는 影響에 關한 研究, pp.55~56, 大韓機械學會 秋季學術大會, 1981.11
- (8) Bathias et al, Fatigue Crack Propagation in Martensitic and Austenitic Steels, Metallurgical Transaction, Vol. 3, pp.1189~1202, 1972
- (9) 北岡征一郎外, 過小應力効果とその方向性, 日本機械學會論文集, 第 37 卷 第 297 號, pp.861~867, 1971
- (10) 村上裕則 外, 破壊力學入門, p.127, オーム社, 1979