

## 浸炭이 低炭素鋼의 疲勞에 미치는 影響

姜 昌 壽\* 徐 昌 敏\*

The Effect of Carburization on the Fatigue of Low Carbon Steel

by

C.S. Kang, C.M. Suh

### Abstract

The effects of carburization on the fatigue strength and cracks were studied. The fatigue phenomena of the carburized specimens were compared with noncarburized specimens those were either heat-treated or un-treated.

The fatigue strength of these specimens were measured by rotating bending fatigue machine.

The obtained results indicated that the fatigue strength of carburized specimens were increased ranging from 24—59% than those of un-treated, and 22—38% than those of heat-treated. The Vickers hardness of carburized were also increased as much as 138—195% than those of un-treated, and 42—125% than those of heat-treated. The microscopic observation of the carburized specimens mostly composed of minute pearlitic structure at hard case exhibited to have more localized slip than those of the non-carburized specimens.

### 1. 緒 言

反復荷重과 振動을 主로 받는 機械部品들의 파괴원인으로 疲勞現象이 主原因으로 分析되고 있고 國内外에서 이에 관하여 多方面으로 研究가 進行되고 있으며 低炭素鋼, 中炭素鋼, 高炭素鋼, 特殊鋼 및 非鐵金屬 등의 材料가 疲勞試驗에 많이 취급되고 있다[1], [2], [3], [4].

本 實驗은 “組織變化가 疲勞現象에 미치는 影響”[5], “熱處理에 따른 低炭素鋼의 疲勞強度에 對한 研究”[6]의 實驗이 이어 前 實驗에 使用된 試料와 同一한 試料를 使用하였고, transmission gear, rolling contact bearing 등과 같은 反復荷重, 振動 및 마모피로를 동시에 받는 경우, 疲勞 및 마모피로의 저항을 增加시키는 方法으로 浸炭法(carburization)을 試片에 應用시켜 浸炭된 硬化部(hard case)의 面積이 32%, 非浸炭된 軟化部(core)가 68%의 面積率을 갖도록 試片을 浸炭하였다.

이렇게 浸炭한 試片은 工業的으로 使用되는 冷却方法중에 水冷, 油冷 및 空冷 方法을 선택하였다. 浸炭 후 冷却法에 따라 제작된 세 가지 試片의 疲勞强度, 硬度

및 機械的性質을 앞서 實驗했던 方法[5][6], 즉 annealing 시킨 후 水冷, 油冷 및 tempering 된 試片를 과의 結果와 비교 검토하고 또한 機械加工후 热處理하지 않은 試片과의 차이점을 비교 연구하여 浸炭이 疲勞 및 硬度等에 미치는 影響을 研究하고자 한다.

### 2. 試片製作 및 實驗方法

#### 2-1 試片

本 實驗에 使用된 試片은 앞서 實驗[5], [6]에 使用된 工業用 材料로 使用되는 壓延된 25mm<sup>φ</sup>의 低炭素鋼棒材(C-0.20%)를 購入하여 Fig. 1과 같은 규격으로 切削加工하였으며 試片들의 規格 및 化學組成은 Fig. 1 및 Table 1과 같다.

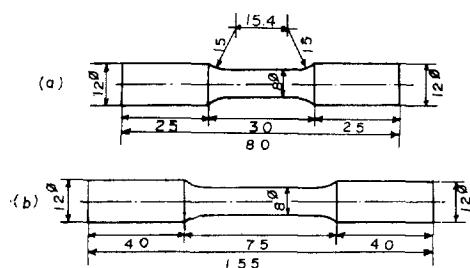
**Table 1** Chemical Composition

| material | C    | Mn   | Si   | P     | S     |
|----------|------|------|------|-------|-------|
| WT(%)    | 0.20 | 0.54 | 0.10 | 0.024 | 0.021 |

Fig. 1과 같은 첫수로 切削加工한 試片은 930°C에서 60分間 annealing 하여 常溫까지 爐冷하였다. 그리고 爐冷된 試片들은 表面의 粗度를 줄이기 위하여 600 mesh 까지 연마시킨 후 다음과 같이 浸炭하였다.

\* 接受日字: 1973年 10月 23日

\* 正會員: 慶北大學校 工科大學



a) fatigue test specimen

b) tensile test specimen

Fig. 1 Dimension of test specimens

## 2-2 漬炭方法

爐冷한 후 表面研磨한 試片은 活性炭素와 促進劑인  $\text{BaCO}_3$ 이 각각 75%, 25%의 組成比를 갖도록 혼합하여 試片과 같이 漬炭箱子에 넣고 密封한 후, 爐內의 最高溫度를  $1000^{\circ}\text{C}$ ,  $930^{\circ}\text{C}$  및  $850^{\circ}\text{C}$ 의 3 가지 測度條件下에 時間에 따른 漬炭깊이의 變化를 조사한結果 Fig. 2 와 같이 鋼의 標準浸炭曲線[9]와 비슷하였다.

이때 試片은 漬炭箱子에서 17mm의 間隔을 維持시켰고 試片과 試片과의 間隔은 10mm로 維持하였다.

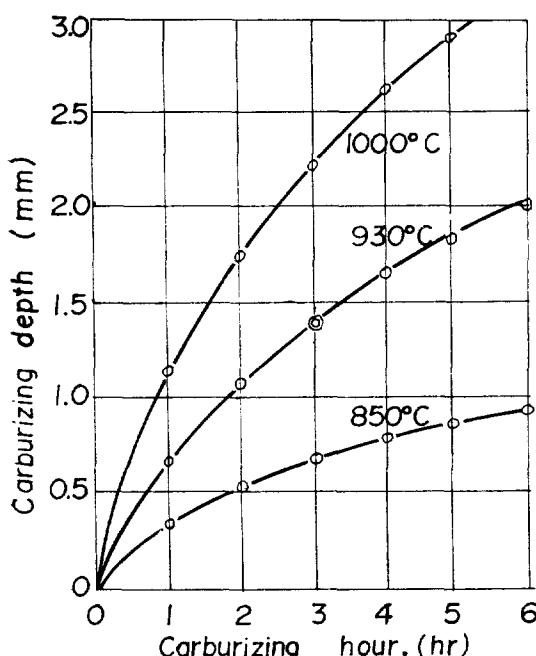


Fig. Relation of carburizing depth, temperature and hour.

이렇게 漬炭溫度와 時間에 따라 漬炭의 깊이가 變하는 여러 條件中에  $930^{\circ}\text{C}$ 에서 3時間 동안 漬炭되어 그 깊이가 약 1.4mm인 條件 즉 漬炭된 硬化部의 面積이 全體의 32%가 되는 漬炭條件를 本實驗用의 試

片浸炭方法으로 선택하였다.

이는  $930^{\circ}\text{C}$ 에서 60分間 annealing 한 후 疲勞試驗試樣을 앞서의 實驗 [5], [6]의 結果들과 比較 檢討하기 為한 目的이었다. 이와 같이  $930^{\circ}\text{C}$ 에서 3時間 동안 漬炭하여 工業的으로 使用하는 冷却方法中 水冷, 油冷 및 空冷의 3 가지 方法을 선택하여 Table 2와 같은 3 가지 試片을 製作하였다.

Table 2. Carburizing Conditions of Test Specimens

| marks | carburizing condition   |
|-------|---|
| C-WQ  | Carburizing 3 hr. at $930^{\circ}\text{C}$ and water quenched which was pre-furnace cooled.     |
| C-OQ  | Carburizing 3 hr. at $930^{\circ}\text{C}$ and motor-oil quenched which was pre-furnace cooled. |
| C-AC  | Carburizing 3 hr. at $930^{\circ}\text{C}$ and air cooled which was pre-furnace cooled.         |

Table 2와 같은 浸炭方法으로 製作된 試片을 각각 C-WQ材(浸炭한 후 물에 quenching 한 試片), C-OQ材(浸炭한 후 motor-oil에 quenching 한 試片), C-AC材(浸炭한 후 空氣中에 冷却한 試片)라 稱하기로 한다.

## 2-3 實驗方法

Table 2와 같은 實驗條件에 따라 製作한 試片은 emery paper로 800, 1000 mesh 까지 研磨한 후 酸化크론 가루로 buffing 하였다. 그리고 金屬顯微鏡으로 浸炭試片의 半徑에 따른 浸炭組織들의 變化 및 龟裂을 觀察할 때는 5% picral 및 5% nital 溶液에 腐蝕시켜서 하였고, 100×2倍로 擴大撮影한 組織들을 Photo. 1, 2, 3에 나타내었다.

그리고 引張試驗用의 試片은 浸炭된 硬化部의 面積比와 軟化部의 面積比에 따라 機械的性質이 달라질 것이므로 被勞試驗用과 같은 面積比率를 갖도록 KS標準規格用이 아닌 8mmφ直徑인 試片에 태 50mm의 標點 距離를 定하고, Table 2와 같은 浸炭條件으로 製作하여 引張試驗을 한結果 Table 3과 같았다.

이때 얻은 結果는 앞서 實驗한 結果 [5], [6], 즉 WQ材( $930^{\circ}\text{C}$ 에서 1時間 동안 annealing 한 후 常溫의 물에 quenching 한 非浸炭材), OQ材( $930^{\circ}\text{C}$ 에서 1時間 동안 annealing 한 후 motor-oil에 quenching 한 非浸炭材), TA材(OQ材를 다시  $400^{\circ}\text{C}$ 에서 1時間 동안 tempering 한 後 空冷한 非浸炭材 및 AM材(試片의 칫수에 따라 機械加工후 热處理하지 않은 非浸炭材)를 比較 檢討하고자 한다.

疲勞試驗은 Ohno式回轉鼓形疲勞試驗機에 依하였으며 이때 回轉速度는 3,400 rpm으로 하였다. 試片의 浸炭한 條件에 따라 각각의 疲勞限度以上의 回轉 鼓形

應力を 가했을 때 일어지는 疲勞壽命을 疲勞應力과 관계하여 Fig. 3 과 같은 S-N 曲線을 나타내었다. 또한 각浸炭화 試片들에 생기는 疲勞龜裂을  $100 \times 2$  倍로 擴大撮影하여 Photo. 4 에 나타내었다. 疲勞破斷된 試片들의 형상을 非浸炭材(WQ材, OQ材, TA材 및 AM材)와 比較하고 引張試驗機에 依한 破斷形狀은 Photo. 5 와 같았다.

### 3. 實驗結果 및 考察

#### 3-1 機械的인 性質

Table 3. Comparison of Mechanical Properties

| specimen marks | yield point kg/mm <sup>2</sup> | tensile strength kg/mm <sup>2</sup> | elongation % |
|----------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------|
| C-WQ           | 56.8                           | 62.1                                | 10.6         |
| WQ             | 55.2                           | 59.6                                | 15.6         |
| C-OQ           | 53.6                           | 57.9                                | 10.9         |
| OQ             | 43.1                           | 56.0                                | 30.8         |
| C-AC           | 52.4                           | 56.1                                | 11.3         |
| TA             | 42.2                           | 53.1                                | 34.3         |
| AM             | 31.9                           | 42.7                                | 38.5         |

Table 3 은 Table 2 와 같은 條件으로 浸炭한 C-WQ材, C-OQ材 및 C-AC材와 非浸炭材인 WQ材, OQ材, TA材 및 AM材들의 機械的인 性質을 나타내고 있다. [5, 6 참조]

浸炭화 C-材, 試片들은 機械加工 후 热處理하지 않은 AM材보다 降伏點이 64~75%, 引張強度가 31~42%로 增加했고 反面 材料의 延率은 약 97%의 減小를 나타내었다.

또한 浸炭한 C-WQ材, C-OQ材, C-AC材는 非浸炭材인 WQ材 OQ材, TA材보다 降伏點 3~24%, 引張強度 3~6%의 增加를 나타내고 反面 96%의 延率減少를 나타내었다. 이러한 浸炭材의 機械的인 性質은 硬化部의 面積과 軟化部의 面積의 比에 따라 달라질 것이며 硬化部의 面積의 比가 커질수록 降伏點과 引張強度가 增加되고 延率이 減小될 것이다.

#### 3-2 S-N 曲線

Table 2 와 같은 條件으로 製作한 C-WQ材, C-AC材 試片들에 對하여 Ohno 式 回轉鼓輪疲勞試驗을 하였다. 이 때 各 試片들의 疲勞壽命을 測定하여 應力振幅을 縱軸에 疲勞壽命의 對數를 橫軸에 나타낸 것이 Fig. 3 의 S-N 曲線들이다.

水冷한 C-WQ材의 疲勞限度는  $36.8 \text{ kg/mm}^2$  이고 油冷한 C-OQ材의 疲勞限度는  $33.9 \text{ kg/mm}^2$  였다. 그리고 C-AC材의 疲勞限度는  $29.0 \text{ kg/mm}^2$  이 됨을 疲勞試驗의 結果로써 S-N 線圖에서 알았다. 또한 疲勞의 壽命係數는 C-AC材, C-OQ材, C-WQ材의 順

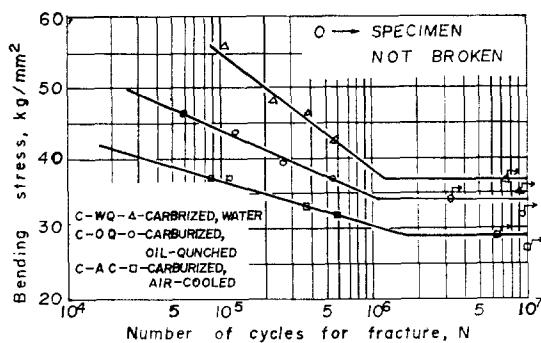


Fig. 3. S-N diagrams for carburized specimens.

Table 4. Comparison of Fatigue Endurance Limit

| specimens | kg/mm <sup>2</sup> | %     | %     |
|-----------|--------------------|-------|-------|
| C-WQ      | 36.8               | 126.9 | 159.3 |
| WQ        | 29.0               | 100   | 125.6 |
| C-OQ      | 33.9               | 138.3 | 146.7 |
| OQ        | 24.5               | 100   | 106.1 |
| C-AC      | 29.0               | 121.8 | 126.0 |
| TA        | 23.8               | 100   | 100.3 |
| AM        | 23.1               | —     | 100   |

으로 減小되었다.

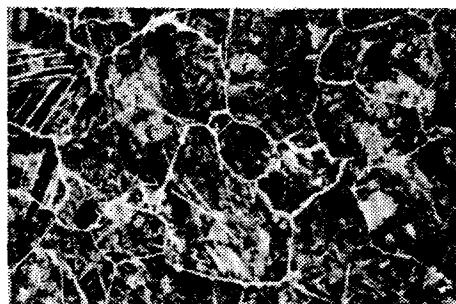
Table 4 는 非浸炭材(WQ材, OQ材, TA材 및 AM材)와 Table 2 와 같은 浸炭條件으로 製作한 C-材들의 疲勞限度를 나타내고 있다[5, 6 참조].

浸炭한 C-材 試片들은 機械加工 후 热處理하지 않은 AM材보다 23~59% 사이의 疲勞限度의 增加를 나타내고 热處理했던 WQ材, OQ材 및 TA材보다는 22~38% 인 疲勞限度의 增加의 傾向을 나타내었다.

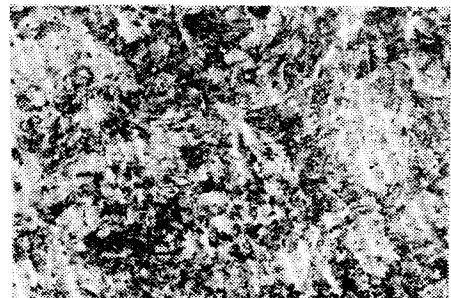
試驗範圍內에 있어서는 이렇게 浸炭한 試片들의 疲勞限度의 增加傾向은 加炭되어 硬化된 面積이 軟化部面積보다 큼수록 增加하는 것으로 나타나고 있으며 notch部分의 疲勞限度의 減小率이 적게 되는 것으로 보여진다.

Table 5. Comparison of Vickers Hardness (Hv)

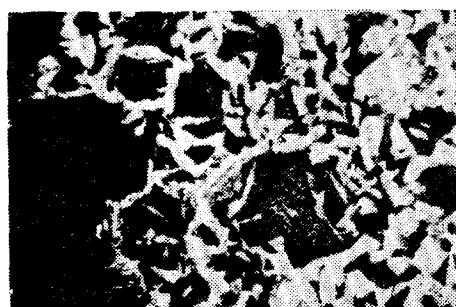
| specimens | Hv    | %     | %     |
|-----------|-------|-------|-------|
| C-WQ      | 384.3 | 142.1 | 295.2 |
| WQ        | 270.5 | 100   | 207.8 |
| C-OQ      | 338.4 | 207.1 | 259.9 |
| OQ        | 163.4 | 100   | 125.4 |
| C-AC      | 309.8 | 224.5 | 237.9 |
| TA        | 144.4 | 100   | 110.8 |
| AM        | 130.2 | —     | 100   |



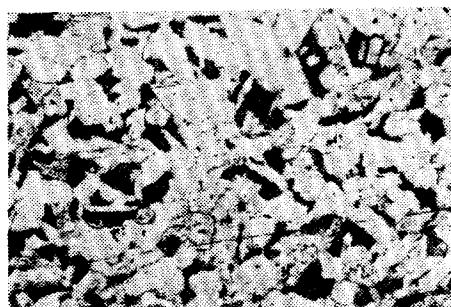
(a) 0~0.5



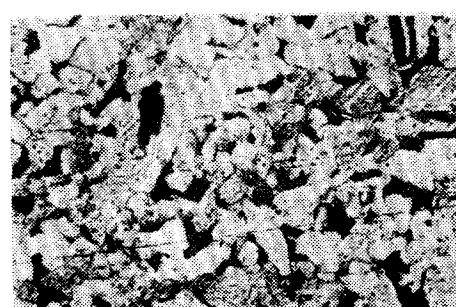
(b) 0.5~1



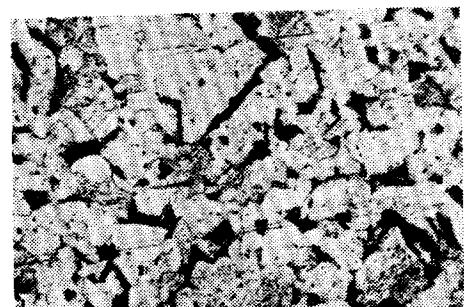
(c) 1~1.5



(d) 1.5~2



(e) 2~2.5

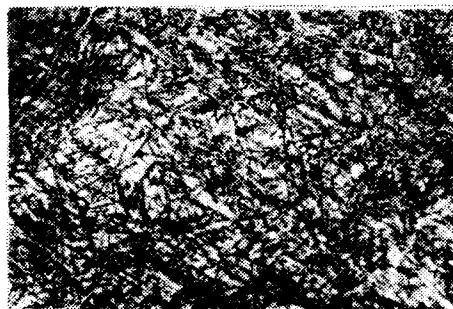


(f) 2.5~4

unit : mm

**Photo. 1** Micro-structures of C-AC specimen along radial direction.

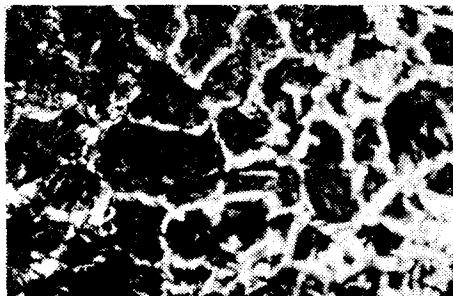
(100×2, 5% Picral, Nital)



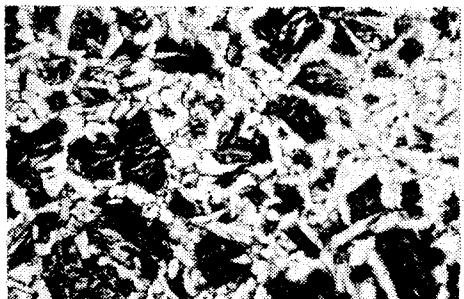
(a) 0~0.5



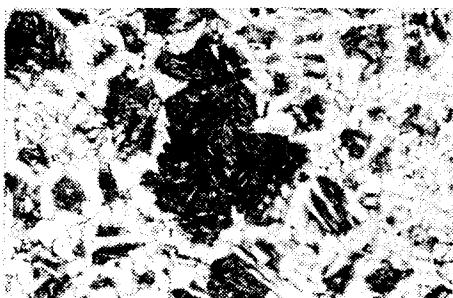
(b) 0.5~1



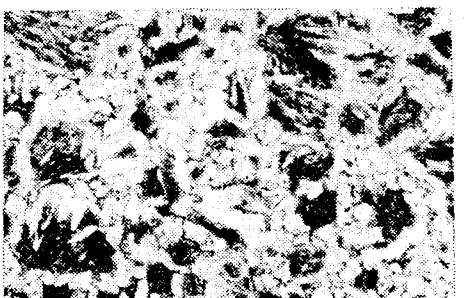
(c) 1~1.5



(d) 1.5~2



(e) 2~2.5



(f) 2.5~4

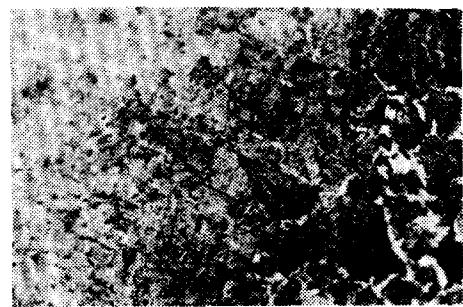
unit : mm

**Photo. 2.** Micro-structures of C-WQ specimen along radial direction.

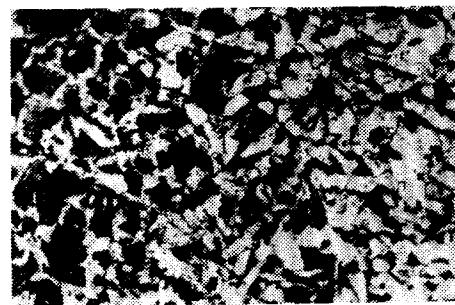
(100×2, 5% Picral, Nitral)



(a) 0~0.5



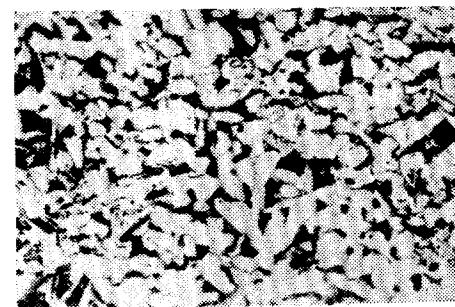
(b) 0.5~1



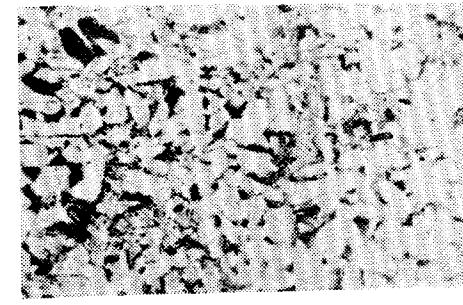
(c) 1~1.5



(d) 1.5~2



(e) 2~2.5

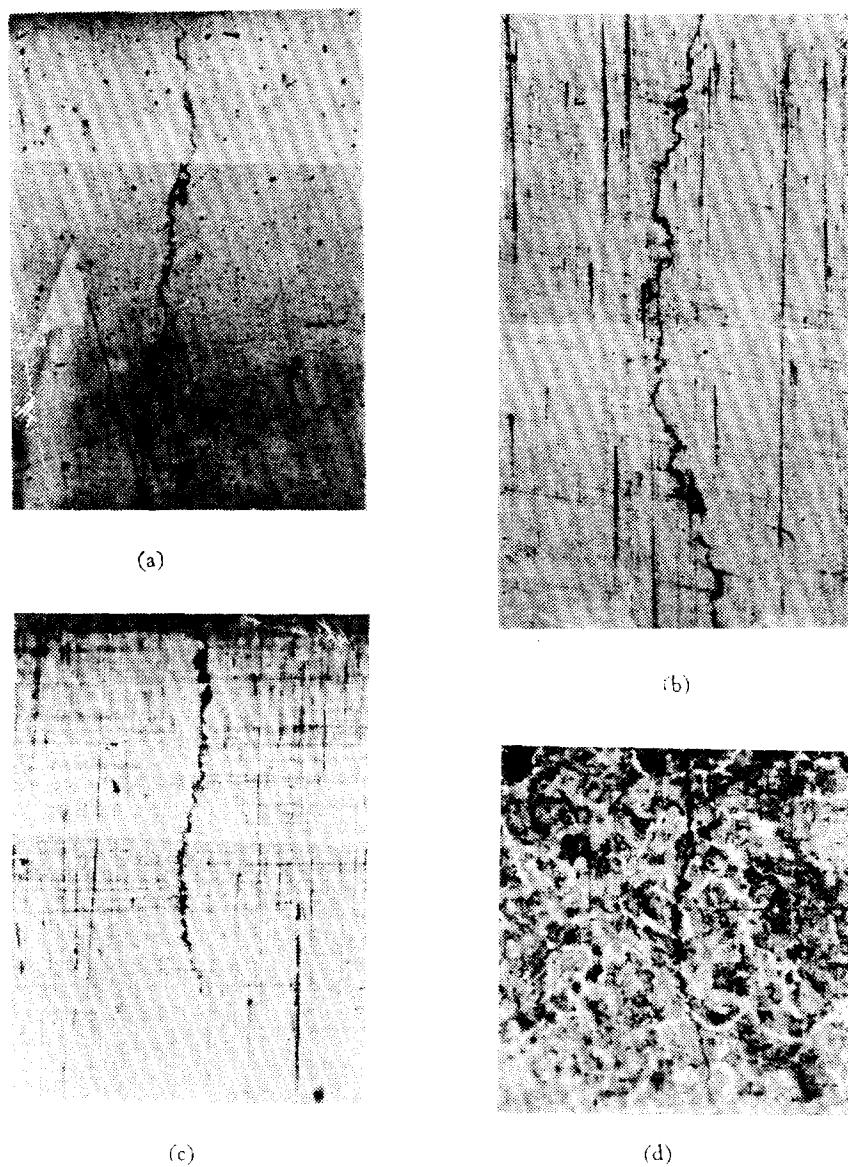


(f) 2.5~4

unit : mm

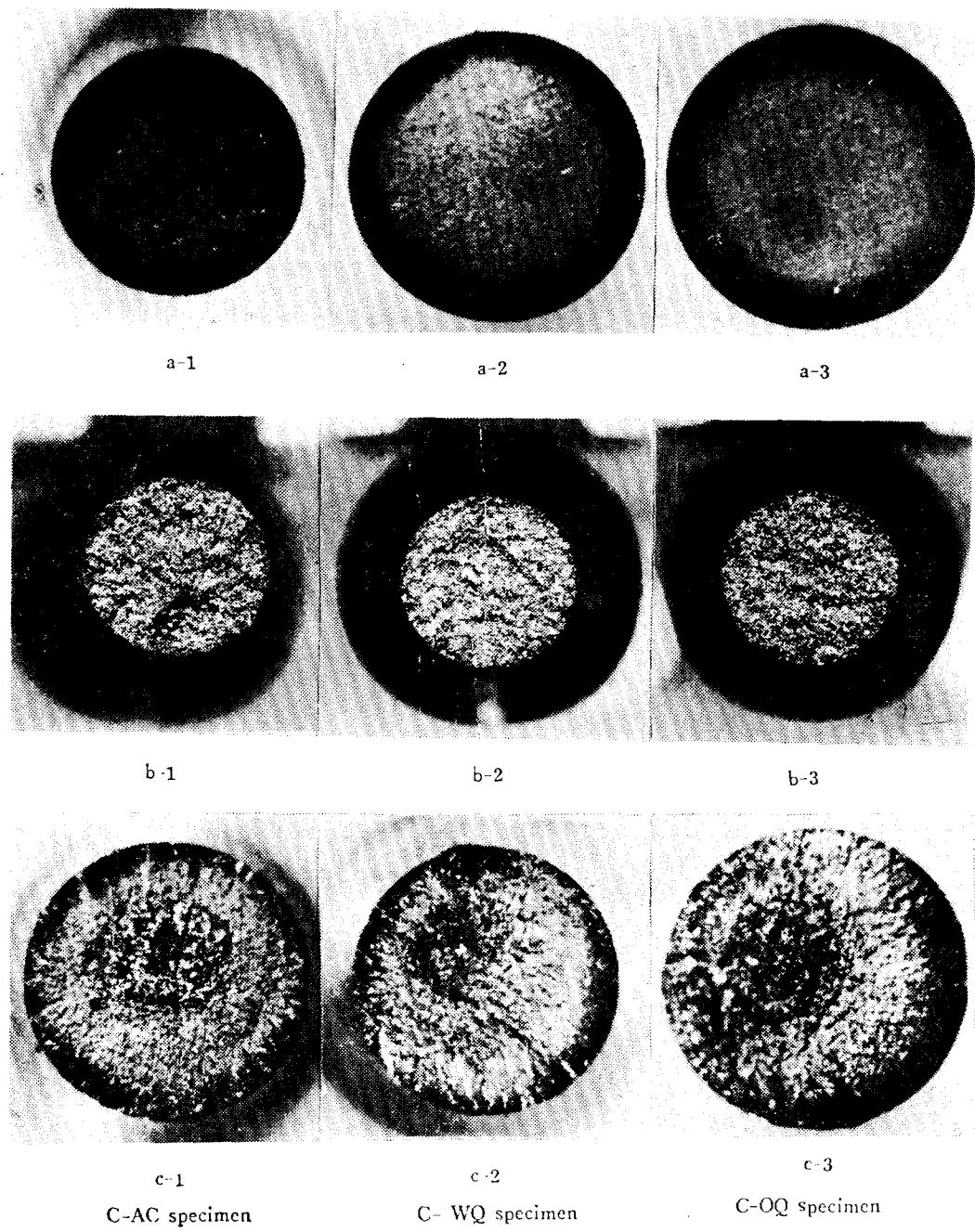
**Photo. 3.** Micro-structures of C-OQ specimen along radial direction.

(100×2, 5%Picral, Nitral)



**Photo. 4** Micro photo. of formed fatigue cracks on the carburized specimens. (100×2)

- (a) Crack on C-AC specimen  $\sigma=35\text{kg/mm}^2$ ,  $N=5\times10^3$
- (b) Crack on C-WQ specimen  $\sigma=50\text{kg/mm}^2$ ,  $N=4\times10^3$
- (c) Crack on C-OQ specimen  $\sigma=41\text{kg/mm}^2$ ,  $N=2.3\times10^4$
- (d) After 5% nital etching of (c) Crack



**Photo. 5-a** Photo. of cross sections of carburized specimens. (5% picral, 5% Nitral)

**Photo. 5-b** Photo. of tensile fractures of carburized speeimens.

**Photo. 5-c** Photo. of fatigue fractures of carburized specimens.

### 3-3 Vickers 硬度

Table 5는 非浸炭材와 Table 2와 같은 조건으로 浸炭한 C-材들의 表面硬度值을 나타내고 있다. 浸炭한 C-WQ材, C-OQ材, C-AC材는 非浸炭된 WQ材, OQ材, TA材보다 각각 42%, 107%, 125%의 硬度值增加를 나타냈고 AM材보다 각각 195%, 160% 및 138%의 增加를 나타냈다.

### 3-4 浸炭材의 組織

Photo. 1, 2, 3은 C-材들의 組織들로 5% picral과 nital溶液에 腐蝕시킨 후 金屬顯微鏡을 使用하여 最表面(가장자리)에서 中心方向으로 0.5 mm 間隔下에 100×2倍로 放大撮影한 組織들이다.

#### 3-4-1 C-AC材의 組織

Photo. 1은 C-AC材의 組織으로 0~1.4 mm 까지는 加炭되어 硬化部를 形成하고 1.4~1.6 mm는 硬化部와 軟化部의 隣接部分으로 炭素의 擴散量이 漸次 減小하여 硬度도 最表面보다 減小하였다. 1.5~2 mm 사이에서 炭素의 擴散量은 매우 減小되고 거의 中心部의 組織과 비슷한 것을 이루고 있다.

試片의 最表面에서 약 1.4 mm 까지는 많은 작은 粒狀의 pearlite 와 적은 白色의 ferrite 를 이루고 있다. 1.4 mm 까지는 ferrite의 量이 減小되었지만 軟化部인 1.4 mm 以後에는 炭素의 擴散量이 減小되면서 pearlite 가 減小되고 ferrite의 量이 增加되어 衝擊 energy 를 잘 吸收할 수 있고, 延性도 큰 組織임을 Photo. 1-c, d에서 觀察할 수 있다.

#### 3-4-2 C-WQ材의 組織

Photo. 2는 C-WQ材의 組織으로 0~1.4 mm가 硬化區로 Vickers 硬度가 大端히 크고 pearlitic matrix에 微細한 pearlite 가 quenching의 影響으로 針狀이고 網狀인 martensite 化한 部分이다. 特히 0.5~1 mm 사이는 微粒化된 martensite의 分布域으로 되어 있다. 1.4~1.6 mm 사이는 硬化部와 軟化部의 隣接部分으로 浸炭量의 減小가 뚜렷하고 減小白色의 ferrite가 增加하면서 針狀인 pearlite가 減小하고 있는 것을 觀察할 수 있다. 最表面에서 1.4 mm 以後에는 減小 quenching의 效果가 적어지는 軟化部로서 硬度가 낮은 部分이지만 ferrite와 martensite의 混合組織으로 나타나 있다.

#### 3-4-3 C-OQ材의 組織

Photo. 3은 C-OQ材의 組織으로 0~1.4 mm 사이는 C-OQ材가 加炭화드로 硬化된 部分이고 motor-oil에 quenching 되므로 針狀인 martensite와 球狀化한 pearlite가 混合된 組織으로 硬度가 大端히 크다. 그 중 0.5~1 mm 사이는 微細한 martensite와 微小한 球形인 pearlite가 混合되어 있고 減小白色의 ferrite가 大量은 組織으로 變하여 가고, 1.4~1.6 mm 사이는硬

化部와 軟化部의 隣接部로 炭素의 擴散量이 다른 C-材들처럼 減小함을 觀察할 수 있다.

### 3-5 疲勞龜裂

Photo. 4는 浸炭한 C-材들에 回轉疲勞試驗을 했을 때 생긴 疲勞龜裂들을 100×2倍로 摄影한 것이다. Photo. 4-a는 C-AC材를 5% picral溶液에 腐蝕한 후 疲勞應力  $\sigma=3.5 \text{ kg/mm}^2$ 를 가했을 때 피로회전수  $N=5\times 10^3$ 에서 생긴 試片表面上의 龜裂을 나타내고 있다.

Photo. 4-b는 C-WQ材를 5% picral溶液에 腐蝕시킨 후  $\sigma=50 \text{ kg/mm}^2$ 下에  $N=4\times 10^3$ 에서 생긴 表面上의 龜裂을 나타내고 있다.

그리고 Photo. 4-c는 C-OQ材를 5% picral에 腐蝕후  $\sigma=41 \text{ kg/mm}^2$ 下에  $N=2.3\times 10^4$ 에서 생긴 試片表面上의 龜裂을 나타내고 이 龜裂을 다시 5% nital溶液에 腐蝕시켰을 때 Photo. 4-d와 같은 微細한 martensite와 球狀인 pearlite의 混合組織上에 생긴 龜裂을 나타내고 있다.

이와 같이 浸炭된 試片에 생긴 龜裂은 非浸炭된 試片에 생긴 龜裂과 달리 slip 變形이 극히 적게 생겼고, 浸炭에 依하여 組織에 脆性이 增加되고 延性이 減小되므로 龜裂의 길이에 비하여 龜裂의 幅이 크게 열리면서 進展되고, slip 變形이 적어서 結晶粒이 적게 된 OQ材처럼 局部의 으로 應力이 集中되어 龜裂이 成長하였다[5, 참조].

위의 3 가지 浸炭된 試片들의 特殊性은 觀察하기 힘들고 다만 C-WQ材는 針狀이고 網狀인 martensite 化된 表面組織上에서 形成되었고, C-AC材는 작은 粒狀의 pearlite와 微小하게 形成된 球狀인 ferrite의 混合組織上에 龜裂이 形成되었다. 또한 進展되는 龜裂은 最大應力이 作用하는 直角方向에서 屈曲이 적은 形態를 取하여 하였다. 그리고 浸炭된 試片들의 疲勞限度가 非浸炭材보다 큰 原因은 局部의 으로 形成되어 進展되는 龜裂이 球狀인 pearlite와 針狀이고 網狀인 martensite 組織들이 非浸炭材인 OQ材의 實驗結果에서 微小化된 結晶粒처럼[5, 참조] 龜裂進展의抵抗으로 作用하여 疲勞限度 및壽命이 길어지는 것 같다.

### 3-6 疲勞破斷面과 引張破斷面의 形狀

Photo. 5-a는 각 浸炭된 試片들의 斷面을 研磨하여 5% picral과 5% nital溶液에 腐蝕시킨 후의 形狀이다. 表面近處의 黑은 部分이 浸炭되어 硬化된 高炭素部이며 ferrite가 극히 적고, 中央의 灰色部分이 浸炭效果가 減小되어 pearlite 보다 energy가 훨씬 많은 混合組織인 軟化部이다. 이 軟化部는研磨부와 달리 硬度가 떨어지지만 延性가 큰 部分으로 衝擊energy를 잘 吸收한다.

Photo. 5-b 는 Fig. 1-b 와 같이 機械加工하고 Table 2와 같이 浸炭한 試片을 高能試驗機에 引張시킨 후의 引張破斷面을 나타내고 있다.

浸炭된 試片의 引張破斷面은 非浸炭된 引張破斷面 [6 참조]과 달리 材料에 脆性이 增加되고 延率이 減小되었기 때문에 延率이 큰 AM材와 같이 “cup 과 cone”的破斷된 形態를 取하지 않고 热處理 후 물에 quenching 하므로 延率이 減小되고 OQ材보다 脆化된 WQ材와 같이 “cup 과 cone”的 形狀을 갖지 않는 脆化된 “square”破斷面을 가졌다. 또한 中央의 軟化部는 扭曲이甚한 引張破斷面으로 C一材 모두 비슷한 形이였다. 여기에 利用된 詞語는 Larson과 Carr[7, 8]의 論文에서 인용하였다.

Photo. 5-c는 浸炭된 C一材들의 疲勞破斷의 形狀이다. Photo. 5-c-1는 C-AC材로서  $\sigma=33 \text{ kg/mm}^2$ ,  $N=2.7 \times 10^5$ 에서 疲勞破斷된 形狀이고, Photo. 5-c-2는 C-WQ材로서  $\sigma=42.5 \text{ kg/mm}^2$ ,  $N=5.7 \times 10^5$ 에서의 形狀이며 Photo. 5-c-3은 C-OQ材로서  $\sigma=39.3 \text{ kg/mm}^2$ ,  $N=1.6 \times 10^5$ 에서의 疲勞하여 破斷된 形狀이다.

위의 3가지 C一材들의 각각의 疲勞破斷面의 特殊性은 觀察하기 힘들지만 非浸炭材나 AM材와는 그 差異點을 찾을 수 있다. 즉 C一材들의 浸炭된 硬化部의 疲勞面들은 延率이 96%나 큰 AM材와는 달리 脆性이 많은 材料에 생기는 凹凸의 形을 가졌다. 이는 물에 quenching 되어 脆性이增加된 WQ材의 形狀과 類似하였고 C一材들의 非浸炭部인 軟化部는 轟性이 減小하지 않았기 때문에 疲勞龜裂의 進展이 表面에서 半徑方向으로 進行되어 이 軟化部의 달하면 瞬間的으로 TA材처럼 引張되어, 마치 轟性이 큰 材料를 引張시킬 때 形成되는 破斷面처럼 扭曲이 심한 模樣을 가졌다.

#### 4. 結論

同一試料인 低炭素鋼 (C-0.2%)을 使用하여 热處理

方法에 따른 3가지 試片 및 機械加工 후 热處理 等은 試片과 浸炭한 후 冷却方法에 따른 3가지 試片들을 回轉疲勞試驗을 했을 때 浸炭의 影響을 觀察한結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 浸炭의 疲勞強度는 AM材보다 23~59% 만큼 增加하고 热處理된 非浸炭材(WQ材, OQ材, TA材)보다 22~38% 만큼 增加한다.

2. 浸炭材의 Vickers 硬度는 AM材보다 138~195% 만큼 增加하고 非浸炭材보다 42~125% 만큼 增加함을 알았다.

3. 浸炭材의 微小化된 pearlite 組織은 slip 變形이 非浸炭材보다 적고 龜裂의 幅이 길이에 比하여 크다.

#### 後記

本研究의 進行過程에서 여러가지 면으로 擁助하여 주시고 助言을 해주신 白南柱教授에게 深甚한 感謝를 표하는 바이다.

#### 參 考 文 獻

- [1] T.H. Alden; "Journal of Metals" Vol. 11, p.828 (1962)
- [2] D.V. Wilson, J.K. Tromans; "JCTA Met.", Vol. 18, p.197 (1970)
- [3] 大橋義夫, 川鶴紳一郎, 水野貞男; "Trans. JSME," Vol. 38, p.3029 (1972)
- [4] 栗谷丈夫, 片桐一宗, 大村彰, 久保田直治; "Trans. JSME," Vol. 38, p.1932 (1972)
- [5] 姜昌壽, 徐昌敏; "大韓造船學會誌", 第9卷, 第2號, p.33 (1972)
- [6] 白南柱, 曺圭甲, 徐昌敏; "釜大工大附設 生產技術研究所 研究報告" 第12輯, p.47 (1973)
- [7] F.R. Larson, F.L., Carr; "Metal Progress," Vol. 85 p.74 (1964)
- [8] F.R. Larson, F.L., Carr; "Trans. ASME," Vol. 55, p.599 (1962)