

# 低炭素 2.6% Ni-Cr鋼의 恒溫變態 組織과 機械的 性質

鄭 在 鉉

## Mechanical Properties and Isothermally Transformed Structures of Low Carbon 2.6% Ni-Cr Steel

*Jeong Jaehyun*

目 次	
1. 序 論	3-1 恒溫變態舉動 및 組織觀察
2. 試料 및 實驗方法	3-2 變態組織의 機械的 性質
2-1 實驗 供試材	3-2-1 引張特性
2-2 熱處理 및 組織觀察	3-2-2 Charpy衝擊值 및 硬度變化
2-3 機械的 性質 試驗	4. 結 論
3. 實驗結果 및 考察	5. 參考文獻

### Abstract

In this paper, the transformed structures of the low carbon 2.6% Ni-Cr steel appeared in the process of isothermal transformation were studied. After heat treatment, the transformed structures were examined by means of the mechanical tests and optical microscope-observation, and then the transformed structures and the changes of the mechanical properties were investigated.

The obtained results were summarized as follows:

- 1) In the bainite formation range, until the transformation time is 10 minutes, the tensile strength tends to be lowered and the elongation almost constant and the reduction of area increased, but, in case of more than 10 minutes, the tensile strength and the reduction of area tends to be almost constant and the elongation somewhat increased in this steel.
- 2) The changes of the hardness in each structure are hardly affected by the heat treatment temperature and the hardness tends to be lowered according as the treatment time becomes longer.

- 3) The impact value in this steel is better in bainitic treatment than in martensitic one, and the mixed structure of a bainite is tougher than a martensite.

## 1. 序 論

Ni-Cr 鋼은 構造用特殊鋼의 代表的인 것으로 兵器材料, 自動車部品 및 船舶의 Crank軸 等の 多方面으로 利用되고 있다.

一般的으로 Ni은 Ferrite를 強化하고 Cr은 炭化物을 生成하여 組織을 強靱하게 만들며 燒入性도 좋게 하고<sup>1)</sup> 또한 Ni은 Cr, Mo 等과 共存하여 Quenching 效果를 높여서<sup>2), 3)</sup> 質量效果를 減少시킴으로써 船舶機關軸과 같은 大型構造物의 機械的 性質을 向上시킨다고 알려져 있다.

變態組織과 靱性사이의 關係에 대한 研究結果는 많으나 同一強度水準에서 比較할 때는 Tempered Martensite 組織이 下部 Bainite와 Martensite의 混合組織의 靱性보다 優秀하다는 報告<sup>4)</sup>와 下部 Bainite와 Martensite의 混合組織이 Tempered Martensite 組織의 靱性보다 優秀하다는 相反된 一部 報告<sup>5), 6)</sup>가 있다.

그 동안의 많은 研究에도 不拘하고 아직까지 變態組織과 機械的 性質사이의 關係가 確立되어 있지 못하며, 特히 Bainite 組織은 그 生成過程으로부터도 明白한 結論을 내리지 못하고 있다. 지금까지 Bainite의 生成過程에 대하여 알려진 바로는 대개 다음 두 가지로 大別할 수 있다. 그 하나는 Bainite가 Austenite로부터 直接 Ferrite와 炭化物의 集合體로 生成한다는 見解<sup>7), 8)</sup>이며, 다른 하나는 Bainite가 Martensite와 같은 모양의 剪斷過程에 의하여 過飽和 Ferrite로 生成한다는 見解<sup>9), 10)</sup>이다. 따라서 어느 過程에서도 Bainite 生成이 炭素의 擴散에 關聯되어 있음을 알 수 있다. 이런 점으로 보아 Bainite의 生成은 매우 複雜하고 不分明하여 앞으로 많은 研究가 必要하다고 생각된다.

本 供試鋼에 관해서도 實用할 때의 一般的인 組織이 Tempered Martensite 組織이며 이것의 機械的 性質이 잘 알려져 있다. 그러나 실제 여러가지 目的으로 鋼을 使用하는데 있어 行해지는 熱處理過程에서 나타날 수 있는 Bainite 또는 Martensite 및 이들의 混合組織의 機械的 性質은 一律的으로 豫見할 수도 없고 未洽한 實情이다. 따라서 本 研究에서는 低炭素 2.6% Ni-Cr 鋼의 恒溫變態處理에서 나타나는 Bainite 또는 Martensite 및 이들의 混合組織을 中心으로, 아직 잘 알려져 있지 않는 그 組織과 引張特性, 衝擊值 等の 機械的 性質을 알아 보고자 한 것이다.

## 2. 試料 및 實驗方法

### 2-1 實驗供試材

本 實驗의 供試材는 構造用特殊鋼의 一種인 JIS 規格 SNC2(BS 規格 En23) Ni-Cr 鋼이며 그 化學組成은 Table 1과 같다.

Table 1. Chemical composition of specimen

(wt %)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Cu
0.32	0.23	0.56	0.009	0.011	2.64	0.73	0.08

먼저 變態組織을 얻기 위하여 直徑 23mm 棒材를 두께 5mm로 切斷하여 電氣爐로 850°C에서 20 分間 Austenite化한 後에 別途의 鹽浴에서 所定の 溫度로 恒溫變態시켰다. 鹽浴劑로는 NaNO<sub>3</sub> 50

%와 KNO<sub>3</sub> 50%를 混合하여 使用하였다.

Table 2. Isothermal heat treatment programme

Specimen No.	I. T. Temp. °C	Time, sec	HRC
1 A	320	10	47.3
1 B	320	60	35.6
1 C	320	600	31.3
1 D	320	14,400	28.6
2 A	360	10	49.2
2 B	360	60	34.5
2 C	360	600	30.8
2 D	360	14,400	28.9
3 A	400	10	43.4
3 B	400	60	35.4
3 C	400	600	29.5
3 D	400	14,400	22.9

Austenitization Temp.: 850°C

組織觀察用 試片은 熱處理後 機械的 研磨後에 5% 질산알코올 溶液으로 Etching하여 光學顯微鏡으로 觀察하였다.

衝擊試驗片 및 引張試驗片을 各各 製作하여 所定の 熱處理를 하였다.

Table 2는 Bainite域을 調査하기 위한 恒溫變態處理過程이다.

### 2-2 機械的 性質 試驗

引張試驗은 試片을 製作하여 所定の 熱處理後 하였으며, 이때의 變位速度는 1.2mm/min로 一定하게 하고 應力-變位曲線을 作成하였다.

硬度試驗은 Rockwell C scale을 使用하였으며 組織觀察用 試片을 그대로 使用하였다.

衝擊試驗은 V-notch Charpy 試片을 製作하여 所定の 熱處理後 各各 100°C, 25°C, 0°C, -18°C에서 實施하였다.

## 3. 實驗結果 및 考察

### 3-1 恒溫變態舉動 및 組織觀察

Fig. 1은 試料의 恒溫變態時 Bainite 組織의 生成域을 나타낸 것이다. Bainite 組織의 生成域은 低溫側에서 Ms 溫度와 接近 있으며 Ms 直上에서는 短時間內에 Bainite 變態가 終了되지만 高溫이 됨에 따라 變態의 進行이 徐徐히 이루어지며 이 傾向은 高溫長時間側에 갈수록 더 甚해지는 것이 보통이다.

恒溫處理에 依해서 나타나는 Bainite 變態는 다음과 같은 性質을 가지고 있다. Bainite 變態는 Pearlite 變態와 Martensite 變態의 中間溫度範圍에서 일어나며, 擴散을 同伴하는가, 하지 않는가

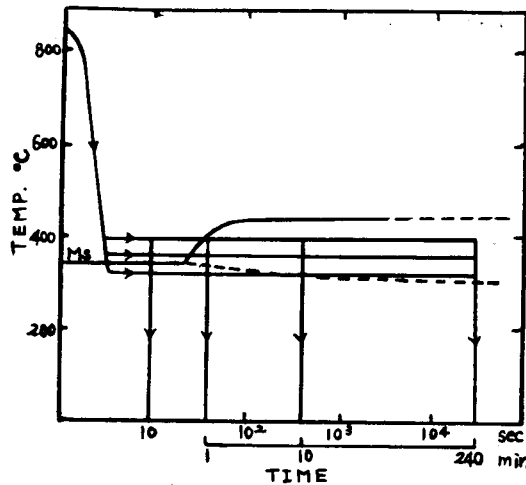


Fig. 1. Isothermal heat treatment programme.

Ms 溫度는 合金元素의 組成에 따라 많은 영향을 받으므로 合金元素의 含有量에 依해서 미리 그 近似值를 알 수 있어 熱處理에 도움이 된다. 여기에는 몇 가지의 算出式이 있지만 그 하나<sup>11)</sup>를 擇하여 보면 다음과 같다.

$$Ms(^{\circ}C) = 517 - 300 \times (\%C) - 33 \times (\%Mn) - 22 \times (\%Cr) \\ - 17 \times (\%Ni) - 11 \times (\%Mo) - 11 \times (\%Si) - 11 \times (\%W)$$

여기에서 成分%는 重量%이며 C, Mn, Cr, Ni 順으로 Ms 溫度를 낮게 한다. 本 實驗에 使用된 試料의 Ms 溫度를 計算한 結果 340°C임을 알 수 있었다.

Photo. 1은 試料를 熱處理한 後에 觀察한 光學顯微鏡組織寫眞들이다. 各 組織寫眞을 觀察하여 보면 (A)는 320°C에서 10秒동안 恒溫變態시킨 組織寫眞으로 Martensite 組織이 나타나고 있다. 一般的으로 Martensite 變態가 Pearlite 變態 등과 다른 점은 變態가 各 原子의 擴散移動에 依한 것이 아니라 많은 原子가 함께 移動함으로써 일어난다는 점이다. Martensite 變態는 擴散이 있어나지 않으므로 母相과 Martensite 相사이의 組成의 變化는 없게 된다. 또한, Martensite 變態는 形狀의 變化를 同伴하므로 表面起伏이 觀察된다. (B)는 320°C에서 4時間동안 恒溫變態시킨 組織으로 Martensite에 가까운 組織을 主로 하여 Bainite를 包含한 中間段階組織이 若干混在해 있을 것으로 생각된다. (C)와 (D)는 360°C에서 恒溫處理한 것으로 前者는 主로 下部 Bainite 組織에 Martensite 組織이 若干混在해 있으며 後者는 Bainite 變態가 거의 完了된 狀態로 보인다. (E)와 (F)는 上部 Bainite 組織의 것으로 短時間 變態끝에 이루어진 組織(E)는 組織(F)에 比하여 Martensite 組織이 많이 섞여 있을 것으로 생각된다. 이러한 變化는 그 뒤의 實驗에서도 나타나고 있다.

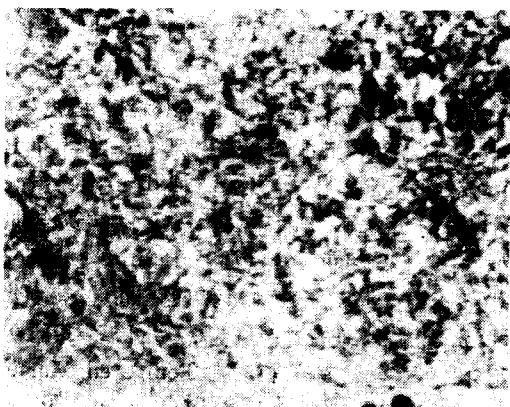
### 3-2 變態組織의 機械的 性質

#### 3-2-1 引張特性

Fig. 2는 各 試料를 所定の 溫度로 熱處理한 後 測定한 引張強度와 降伏強度를 나타낸 것이다. 그 림에서 恒溫變態의 境遇에 處理時間이 길어짐에 따라 引張強度와 降伏強度가 低下되는 傾向을 볼 수 있다. 320°C에서 處理된 境遇는 10秒에서부터 1分, 10分, 4時間으로 變態時間이 길어지면서 引張強度의 低下가 뚜렷함을 보이고 있다. 여기에서 10秒, 60秒의 短時間帶에서 나타나는 強度와 10分, 4時間의 長時間帶에서 나타나는 強度는 Fig. 1의 TTT線圖에서 나타나는 것과 같이 短時間處理에서 形成되는 Martensite 組織과 處理時間이 길어짐에 따라 形成되는 Bainite 組織을 中心으로 하

에 따라 Pearlite 變態와 Martensite 變態의 本質的인 差異가 있는 點으로 볼때 Bainite 變態는 그 中間的인 變態라고 생각된다. Bainite 變態가 Martensite 變態와 類似한 點은 Bainite 中の Ferrite와 原 Austenite와의 사이에는 Martensite의 境遇와 아주 닮은 結晶方位關係가 確認되며 Bainite의 生成에서도 表面起伏이 觀察되고 形狀의 變化를 隨伴한다는 점이다. Bainite는 Ferrite와 炭化物로부터 生成되지만 그 形態는 溫度와 함께 變化하여 低溫에서 生成된 Bainite는 Tempering 한 Martensite에 類似한 組織이 된다. 한편, 速度論的인 舉動에서 보면 Martensite는 急速한 成長을 하는데 反하여 Bainite는 比較的 徐徐히 成長하는 差異가 있다.

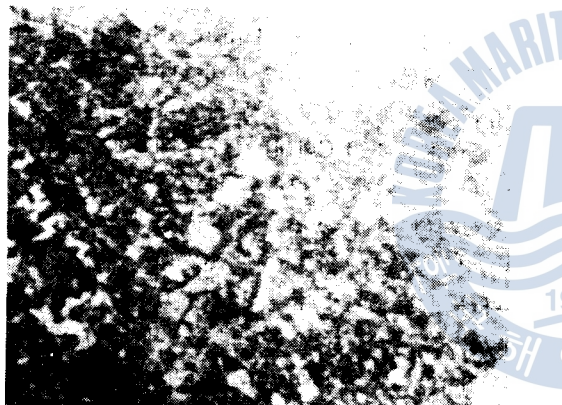




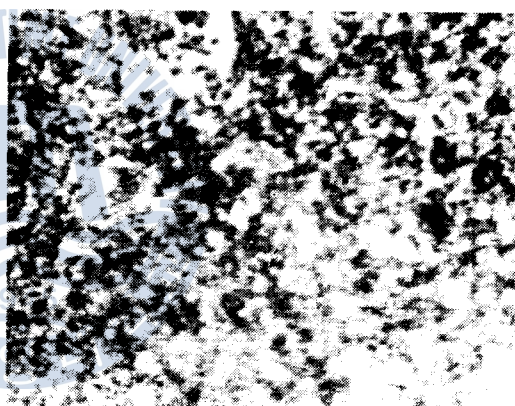
(A)  $\times 400$   
Isothermally transformed 320°C for 10 sec.



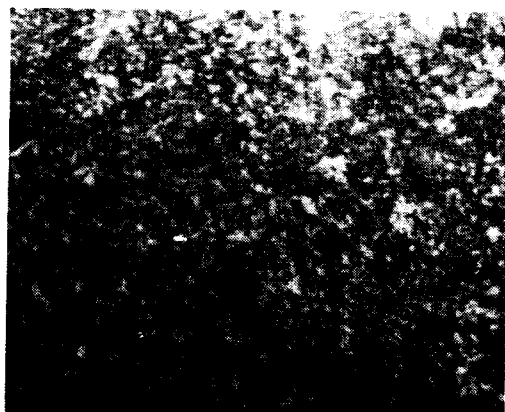
(B)  $\times 400$   
Isothermally transformed 320°C for 4h.



(C)  $\times 400$   
Isothermally transformed 360°C for 1 min.



(D)  $\times 400$   
Isothermally transformed 360°C for 10 min.



(E)  $\times 400$   
Isothermally transformed 400°C for 1 min.



(F)  $\times 400$   
Isothermally transformed 400°C for 4h.

Photo. 1. Transformed structures at each heat treatment.

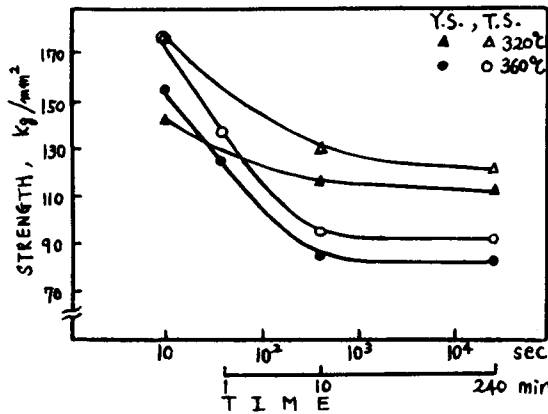


Fig. 2. Relationship between tensile and yield strength and each heat treatment.

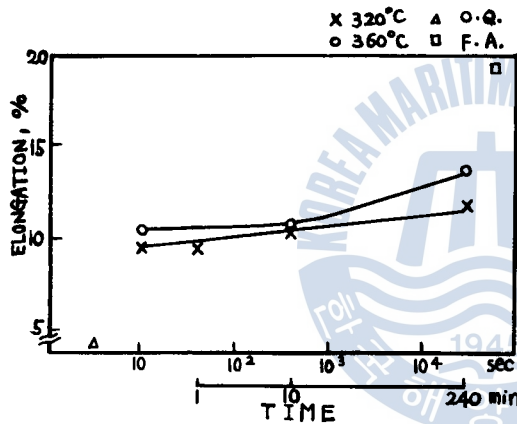


Fig. 3. Relationship between elongation and each heat treatment.

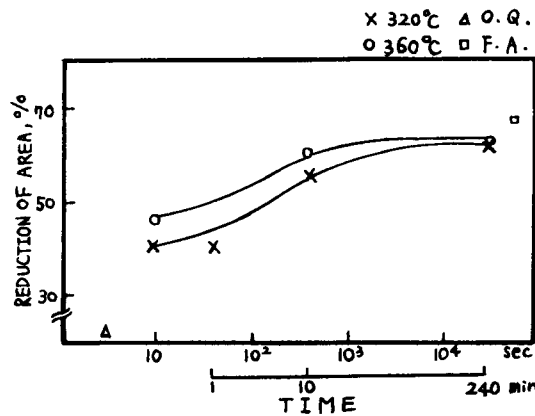


Fig. 4. Relationship between reduction of area and each heat treatment.

Fig. 5는 各 熱處理 溫度에 따른 應力-變形線圖를 나타낸 것이다. 그림에서 320°C에서 10분과 4時間(1C와 1D) 變態시킨 組織, 即 Bainite 組織과 Martensite 組織의 混合組織이 360°C에서 10

는 中間段階組織의 生成을 뒷받침해 주고있다. 이러한 傾向은 降伏強度에서도 그대로 나타나고 있다.

한편, 360°C에서 變態시킨 組織의 強度는 그 Ms 溫度를 考慮할 때 短時間處理에서는 미처 Bainite 組織이 形成되지 못하고 Martensite 組織이 되어버리는 것으로 생각된다. 그러나, 處理時間이 60秒가 지나면 이미 그 一部分은 Bainite 變態가 시작된 것을 짐작할 수 있으며 處理時間이 길어짐에 따라 그 變態가 進行됨을 알 수 있다. 一般的으로 사용되는 本 供試鋼의 組織이 Tempered Martensite 組織이라는 것은 前述한 바와 같다. 本 實驗에 使用된 材料는 820~880°C에서 Quenching 한後 550~650°C로 Tempering 했을 때의 引張強度가 85kg/mm²以上, 硬度(H<sub>B</sub>)는 248~302(H<sub>RC</sub>22~30)로 規定되어 있으며 Bainite 組織에서도 이러한 값을 滿足시키고 있는 狀態이다.

Fig. 3은 處理溫度別로 본 延伸率을 比較한 것이다. 延伸率은 320°C에서 보다는 360°C에서 若干 컸으나 거의 비슷한 程度로 나타나며 熱處理 時間이 길어짐에 따라 增加하는 傾向을 보였다. 여기에서 引張強度와 比較할 때 熱處理 時間이 길어짐에 따라 引張強度가 급격히 低下되는 것과는 對照的으로 延伸率은 若干 增加함을 보였다. 이런 點으로 미루어 볼 때 Bainite 組織의 延伸率이 그리 높지 않다는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 熱處理 溫度別로 본 斷面收縮率의 變化를 나타낸 것이다. 그림에서 斷面收縮率은 處理時間이 길어짐에 따라 增加하는 傾向을 보이고 있으며 320°C와 360°C에서의 斷面收縮率을 比較하여 볼 때 短時間帶에서는 360°C에서의 斷面收縮率이 320°C에서 보다 컸으나 長時間帶로 갈수록 거의 비슷한 값을 나타내고 있다. 即, 斷面收縮率은 長時間 變態시킨 Bainite 組織이 短時間內 形成된 Martensite 組織에서 보다 높게 나타남을 알 수 있다. 또한, Quenching 處理한 것의 斷面收縮率이 현저히 떨어지는 것과는 對照的으로 Full Annealing 處理한 것의 斷面收縮率은 4時間 處理한 것의 組織과 상당히 接近하고 있었다.

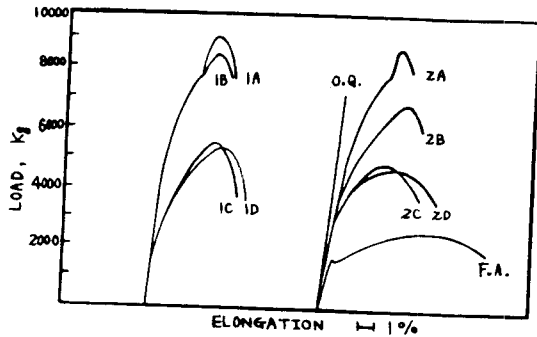


Fig. 5. Stress-Strain curves.

의 因한 Ferrite-Pearlite 組織이 形成될 가타오르 當然한 結果이다.

以上에서와 같이 Bainite 組織의 形成溫度가 높을수록 變態時間이 길수록 引張強度 및 降伏強度는 低下하는 反面에 여기에서 期待되는 延伸率의 增加는 거의 볼 수 있으나 断面收縮率이 增加함을 알 수 있다. Bainite 組織을 中心으로 한 中間段階組織에서 靱性의 改善을 期待할 수 있다고 생각된다.

### 3-2-2 Charpy 衝擊值 및 硬度變化

Fig.6은 熱處理 溫度에 따른 硬度變化를 나타내고 있다. 熱處理 溫度에 따른 硬度의 變化는 處理 溫度가 높을수록, 變態時間이 길수록 硬度의 低下를 나타내고 있는데, 이것은 KAMADA 等<sup>12)</sup>의 研究結果와 一致한다. 여기에서 알 수 있는 바와 같이 Bainite 組織의 硬度는 Bainite 組織의 形成 溫度에 영향을 받는다. 卽, Bainite 組織의 形成 溫度가 높아질에 따라 硬度는 低下하는 傾向을 나타낸다.

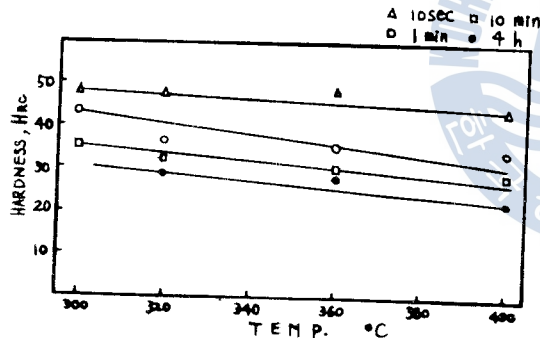


Fig. 6. Rockwell-C hardness at each heat treatment.

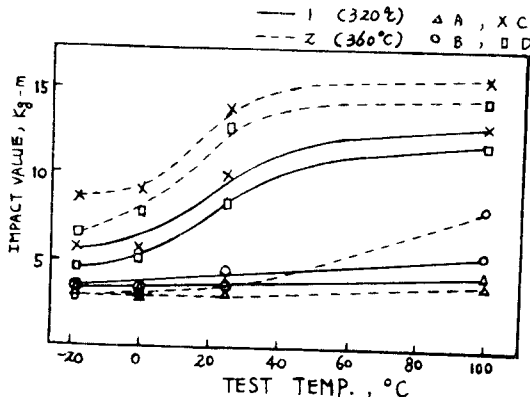


Fig. 7. Charpy impact value at each test temperature.

분과 4時間(2C와 2D) 變態시킨 組織, 卽 Bainite 組織에서 보다 引張強度가 높게 나타나는데 이것은 320°C에서 10분과 4時間 變態시킨 組織에 Martensite 組織이 混合됨으로써 그 引張強度의 上昇에 寄與한 것으로 생각된다.

한편, 850°C에서 20時間 Austenite化한 後 Quenching한 組織과 Full Annealing한 組織에서前者는 大部分의 組織이 Martensite가 되어 延性을 볼 수가 없으며 Martensite 組織의 脆弱한 것을 그대로 나타내고 있다. 後者의 延伸率 및 断面收縮率이 각각 높게 나타나는 것을 充分한 軟化處理

Fig.7은 320°C와 360°C에서 恒溫變態시킨 材料의 V-notch Charpy 衝擊試驗의 結果이다. 本實驗에서 나타난 바와 같이 Martensite 組織은 下部 Bainite 組織과 Martensite 組織의 混合組織보다 衝擊值가 낮게 나타나고 있으며, 또 shelf energy는 그 組織에 따라 큰 差異가 나타나며 Martensite 組織의 shelf energy가 아주 낮은데 比하여 Bainite 組織에서 比較的 높아, 이 種類의 鋼에서 순수한 Martensite 組織이 衝擊에 아주 弱한 反面에 Bainite를 主로하는 中間段階組織이 衝擊에 強하여 比較的 信賴할 수 있는 組織임을 알 수 있다. 그러므로, 實地構造材로 使用하는 境遇에 Martensite 組織은 強度面에서의 犧牲을 무릅쓰고 반드시 Tempering을 實施하여 靱性의 向上을 期할 必要가 있다.

한편, 主로 Martensite 組織인 10秒와 1分間 變

態시킨 것(2A와 2B)의 衝擊値는 試驗溫度의 영향이 아주 적으며 全 溫度領域에서 極히 脆弱한 性質을 나타내고 있으며, Bainite 組織인 10분과 4時間 變態시킨 것(2C와 2D)에서는 一般적으로 衝擊値가 높은 편이고, 試驗溫度가 上昇함에 따라 衝擊値의 增加가 顯著하여 延性-脆性 遷移溫度가 比較的 明確하게 나타나고 있다.

한편, 常溫에서의 引張強度와 衝擊値를 比較할 때 同一變態處理別로 보면 一般적으로 處理時間이 길어질수록 衝擊値는 增加하는 反面에 引張強度는 떨어지고 있는데 이것은 強度가 增加하면 衝擊値가 低下한다는 一般의 傾向과 一致한다.

靱성은 變態시킬 때의 Austenite粒의 크기<sup>13)</sup>와 下部 Bainite에 混合된 Martensite의 率<sup>14)</sup>에 영향을 받는다는 것이 알려져 있으나 衝擊靱성과 組織과의 關係에 대한 더욱 많은 研究가 必要하다고 생각한다.

#### 4. 結 論

炭素含有量이 낮은 2.6% Ni-Cr 鋼을 對象으로 恒溫熱處理를 한 變態組織과 機械的 性質을 比較 檢討한 結果를 다음과 같이 要約한 수 있다.

1) Bainite 組織의 形成領域에서는 變態時間이 10분까지는 引張強度 및 降伏強度는 低下하는 反面에 延伸率은 거의 비슷하며 斷面收縮率은 增加하는 傾向이 있으나, 10分 以後에는 引張強度 및 斷面收縮率은 거의 一定하며 延伸率은 약간 增加하는 傾向이 있다.

2) 組織에 따른 硬度變化는 그 熱處理溫度에 의한 영향이 적고 處理時間이 길어짐에 따라 硬度가 낮아지는 傾向이 있다.

3) 本 鋼種에서의 衝擊値는 Martensite의 處理에 比하여 Bainite의 處理가 優秀하며 Bainite와 의 混合組織이 Martensite 單一組織에서 보다 靱성이 改善된다.

#### 5. 參 考 文 獻

- 1) E. C. Bain: ASM 20, p. 385(1932)
- 2) 幸玟教: 韓國海洋大學 論文集 Vol. 11, p. 69~88(1976)
- 3) E. S. Davenport and E. C. Bain: Met. Soc. AIME 90, p. 117(1930)
- 4) 中島宏興, 荒木 透: 鐵と鋼 58, p. 1973(1972)
- 5) K. J. Irvine and F. B. Pickering: JISI 201, p. 518(1963)
- 6) D. P. Edwards: JISI 207, p. 1494(1969)
- 7) A. Hultgren: Trans. Amer. Soc. Metals 39, p. 915(1947)
- 8) M. Hillert: Decomposition of Austenite by Diffusional Processes, Interscience Publishers, p. 197 (1962)
- 9) T. Ko, S. A. Cottrell: J. Iron Steel Inst. 172, p. 307(1952)
- 10) J. W. Christian: The Theory of Transformation in Metals and Alloys, Pergamon Press, p. 824 (1965)
- 11) 荒木 透: 鐵鋼材料學, 丸善株式會社, 東京, p. 183(1970)
- 12) Kamada, Koshizuka, Funakashi: Tetsu-to-Hagané 61, p. 2839(1975)
- 13) 鎌田兎郎, 腰塚典明, 船越督己: 鐵と鋼 60, p. 1483(1974)
- 14) 岡林邦夫, 富田憲之, 瓜生雅昭: 鐵と鋼 60, (1974) No. 11 (S 611) 271.