

# 高망간鋼 板材 製造에 대한 研究

崔 炷·申明澈  
韓國科學技術研究所

## On the Manufacture of High Manganese Steel Plate

Ju Choi and Myung Chul Shin  
Korea Institute of Science and Technology

### Abstract

For obtaining high manganese steel plates, the study has been made on the optimum conditions in melting, forging, rolling and water toughening treatment practices.

The optimum water toughening temperature and time was found to be 1030°C and 30 min, respectively for the plates of 1 mm thickness. The argon atmosphere is very effective for the prevention of decarburization which can be easily occurred in open air.

There is a close relation between the degree of cold working and the hardness. The greater the cold reduction ratio is, the smaller the grain size is and it results in the increase of hardness. The improvement of tensile and bending properties can be made by the addition of small amount of nickel, chromium and vanadium.

### 序 論

構成元素로서 Mn, 11~14%, C, 0.9~1.3%로 되어 있는 高Mn鋼은 常溫에서도 austenite構造를 가지며, 韌性, 耐磨耗性, 非磁性, 加工硬化性 등 優秀한 特性이 있어서 各分野에 널리 利用되고 있다. 本材質은 鑄造狀態에서는 炭化物이 析出되어 있어서 脆性이 크나 1000°C以上の 高溫으로 加熱하여 水冷시키는 水靱處理를 하면 炭化物이 固溶되고, 그 組織도 完全 austenite로 되어 韌性 및 耐衝擊性이 크게 좋아진다(特殊鋼便覽, 1969).

그러나 이 材質은 다른 特殊鋼에 비해 熱傳導度가 극히 떨어지는 反面 熱膨脹係數가 커서 熱處理時 均열이 일어나기 쉬우며 또한 表面酸化나 脫炭이 일어나기 쉬워서 板材로 成形時 表面에 均열이 자주 일어난다. 이와 같은 熱處理 特性을 改善하고 아울러 機械的 性質을 向上시키기 위하여 Mn 이나 C의 組成比를 달리하거나(鈴木等, 1959) 다른 元素를 添加하는 方法을 試圖하고 있다(Norman T. E., 1960).

그러나 實用的인 板材로 成形時 提起되는 具體的이며, 系統的인 資料는 提供하지 못하고 있다.

따라서 本研究에 있어서는 C, Mn의 組成을 달리한 高Mn鋼을 冷間壓延으로 板材로 만들 때 適正한 水靱處理 方法과 成形方法을 決定코자 하였으며 同時에 Ni, Cr 및 V를 微量添加했을 때 機械的 性質에 미치는 影響을 調査코자 하였다.

### 實 驗 方 法

組成은 Table 1과 같고 溶解는 50 KVA의 高周波爐를 使用하였다. 마그네시아 도가니에다 電解鐵, Fe-Mn(Mn : 87.8%)을 溶解했으며 Fe-C(C: 5%)母合金을 만들어 加炭하였고, flux로서는 生石灰 및 螢石을 使用하였다. 2×10×15 cm 크기로 造塊한 잉고트는 1200°C에서 30分間 均質化 處理를 했으며 1000°C 內外에서 10~8 mm로 鍛造하였다. 鍛造 후 一部는 930°C 및 1000°C에서 두께 약 2.4 mm 되는 板狀으로 熱間壓延하였고 이것을 다시 argon 및 空氣 雰圍氣下에서 1030°C, 30分間 加熱하여 水冷시켰다. 이 板材는 10% HCl로 酸洗,

Table 1. Chemical composition of alloys.

Unit: wt. %.

Specimen No.	C	Mn	Si	P	Cr	Ni	V
1	1.12 (1.7)	13.6 (13)	0.30	0.016			
2	1.41 (1.7)	12.4 (13)	0.14	0.026			
3	1.53 (1.7)	12.7 (13)	0.30	0.016			
4	1.35 (1.7)	13.2 (13)	0.08	0.014			
5	1.52 (1.7)	12.5 (13)	0.31	0.015			
6	1.22 (1.2)	13.1 (15)	0.45	0.022			
7	1.43 (1.5)	14.8 (15)	0.19	0.024			
8	1.31 (1.4)	14.3 (15)	0.23	0.022	0.10 (0.1)		
9	1.44 (1.4)	15.0 (15)	0.22	0.018		0.04 (0.1)	
10	1.35 (1.4)	14.2 (15)	0.18	0.022			0.08 (0.1)

※ The numeral in the parentheses denotes the nominal composition.

20% NaOH로 中和, 그다음 더운 물로 水洗하였으며, 壓延比를 달리하여 最終 두께 약 1~1.4 mm 가 되도록 冷間壓延하였고, 끝으로 1030°C에서 30 분간 argon 및 空氣 霧圍氣下에서 水靱處理하였다.

金屬組織은 4% Nital로 腐蝕시켜 觀察하였으며, 冷間壓延 板材에 대하여 硬度, 引張強度 및 延伸率을 調査하였고 아울러 굽힘試驗도 實施하였다. 또한 試片을 機械적으로 研磨한 후 15% citric acid, 1% 취화카리 水溶液으로 浸하게 부식시킨 다음 表面을 ぬ여 부스러기를 炭素膜 위에 수집하여 HU-125C 電子顯微鏡으로 炭化物의 形態와 電子廻折像을 調査하였다.

## 結果 및 檢討

### 1. 溶 解

Table 1을 보면 添加量을 1.7%로 두고, 加炭하였을 때 試料 1은 다른 試料의 分析値가 1.4~1.5%인데 비하여 1.12%밖에 되지 않았다. 이것은 試料 1의 溶湯溫度가 1570°C인데 대하여 다른 것은 1500°C인 것으로 보아 溶湯溫度가 높을수록, 炭素의 收率이 떨어진다는 것을 알 수 있다. 따라서 溶湯溫度는 1500°C를 넘지 않도록 하여야 한다.

Fig. 1의 (A), (B)는 試料 1 및 2의 鑄造組織으로서 같은 金型에 造塊한 것이며 (A)에서는 dendrite組織이 잘 發達되어 있고, (B)에서는 多量의

針狀炭化物이 austenite素地의 {111}面에 따라 析出되어 있다. 이것은 試料 2의 C量이 試料 1보다 크기 때문이다. 高Mn鋼에서 恒溫變態時 C가 1.2%以上일 때 針狀炭化物이 析出된다고 하였으나(鈴木

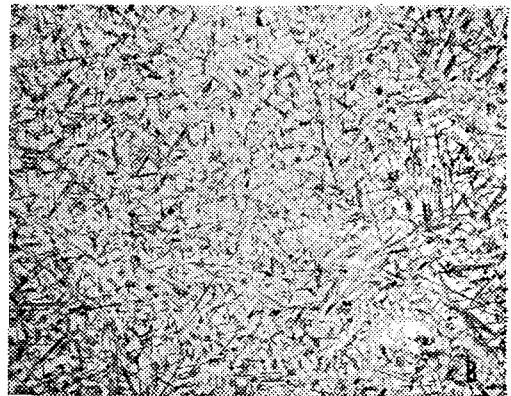
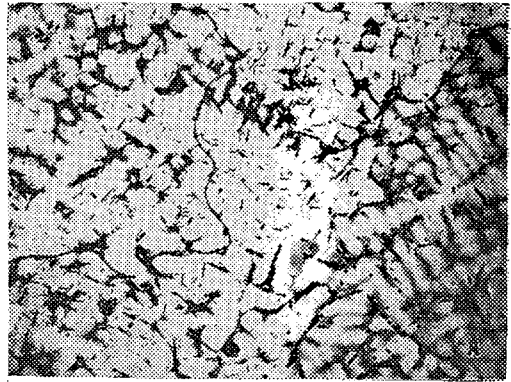


Fig. 1. As cast structure; (A) No. 1, (B) No. 2, X60.

等, 1969) 鑄造狀態에서는 C가 1.1%에서도 Fig. 1의 (A)와 같이 少量이기는 하나 針狀炭化物이 觀察되었다.

電子顯微鏡으로 炭化物과 그의 電子廻折像을 얻어보면 Fig. 2의 (A), (B)와 같고, 廻折像을 圖示하면 (C)와 같다.

이것으로 보아 炭化物은 orthorhombic (Fe, Mn)<sub>3</sub>C임을 알 수 있다.

炭化物이 多量으로 析出되어 있으면 脆性이 커져 鍛造나 壓延으로 成形하기가 어렵다. 따라서 C 含量이 적을수록 成形이 쉬워진다. 또한 鑄型으로서 金型과 砂型을 각각 使用하여 造塊해본 바 같은 C量일 때도 金型을 使用했을 때 dendrite組織과 炭化物이 微細하였다. 따라서 金型이 砂型보다 더 適合하다는 것을 알 수 있었다. 鑄入溫度도 溶

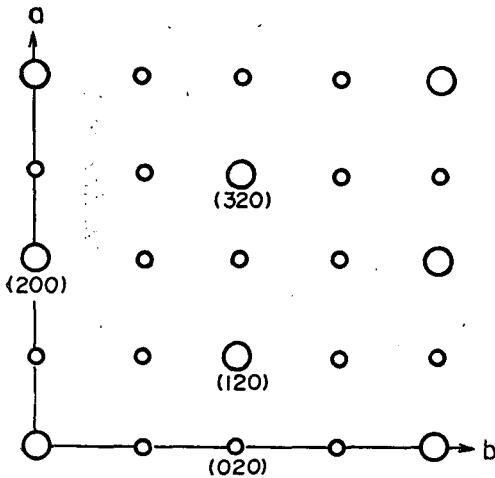
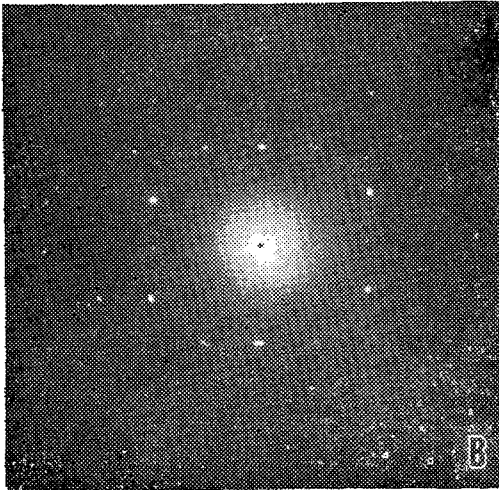
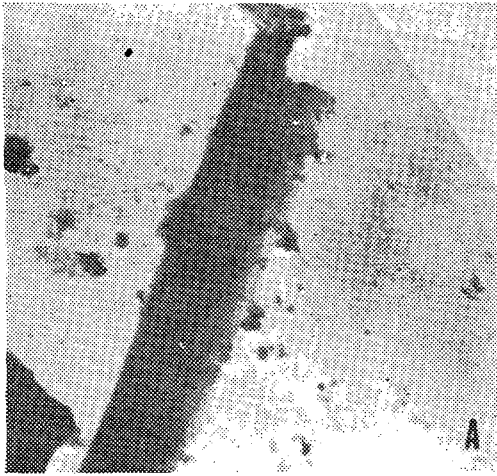


Fig. 2. (A) Electron micrograph of the carbide, X8,600. (B) Electron diffraction pattern, (C) Schematic illustration of the pattern.

湯의 流動度가 許容되는 한 낮을 수록 좋은 結果를 가져 왔었다.

## 2. 鍛造 및 壓延

鋼塊를 1200°C, 30分間 均質化 處理 후 1000°C 內外에서, 두께가 10~8 mm 되도록 板狀으로 鍛造時 鍛造性은 좋았으나 表面酸化가 심하였다.

熱間壓延은 930°C 및 1000°C에서 해보았던 바 壓延上의 差異는 볼 수 없고, 단지 1000°C에서는 表面酸化가 심하였다. 따라서 930°C에서 熱間壓延하는 것이 좋다. 冷間壓延은 C가 1.12%인 試料 1은 85%까지 壓延할 수 있었으나, C가 1.52%인 試料 5는 10%정도 壓延했을 때 壓延균열이 생겼다. 이것으로 보아 C가 클수록 壓延性은 나빠진다는 것을 알 수 있다. 그러나 1020°C에서 1時間 水靱處理했을 때는 40%까지 冷間壓延이 可能했다. 따라서 冷間壓延은 水靱處理 후에 하여야 한다.

Fig. 3은 試料 1을 (A)는 30%, (B)는 85% 壓延한 후 1030°C에서 30分間 加熱하고 찬물에 急冷

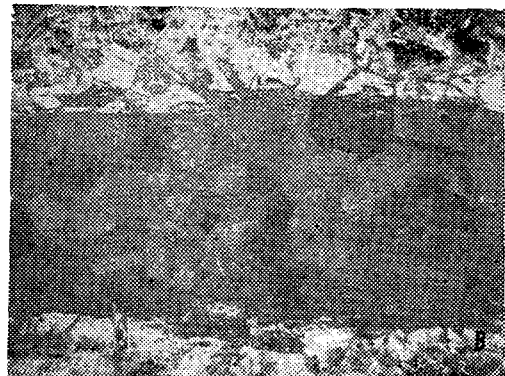
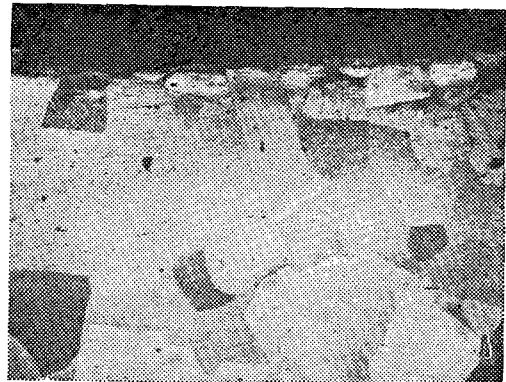


Fig. 3. The grain size vs. the cold reduction ratio; (A) 30%, (B) 85%, X60.

시킨 것이다. 사진에서 보는 바와 같이 壓延比가 클수록 微細한 結晶으로 된다.

### 3. 熱 處 理

試料 3을 30% 冷間壓延으로 두께 1 mm 板材로 만든 후 900, 950, 1000, 1020 및 1030°C에서 30分間 水靱處理해본 바 1030°C 以上에서, 또한 같은 板材를 1030°C에서 10, 20, 30 및 60分間 水靱處理한 바 30分 以上에서 炭化物이 完全히 固溶되는 것을 金屬組織을 觀察하여 알 수 있었다.

다음, 水靱處理時 脫炭現象에 대한 靱圍氣의 效果를 調査하기 위하여 argon 및 空氣 靱圍氣를 각각 使用하였다. 그 結果 argon 靱圍氣에서는 脫炭層이 약간 存在하나 空氣 때보다는 훨씬 얇게 形成되어 있었다(Fig. 4). 表面에 脫炭이 일어나면



Fig. 4. Decarburization layer; (A) argon atmosphere, (B) air atmosphere, X150.

austenite가 不安定하게 되어, 冷却時 Fig. 4의 (B)와 같이 martensite로 變하고 이 때문에 使用中 表面균열이 쉽게 일어난다(今井, 1963).

### 4. 機 械 的 性 質

#### 1) 引張強度 및 延伸率

Table 2는 argon 및 空氣 靱圍氣下에서 水靱處理 후 各 試料의 引張強度 및 延伸率을 나타낸다.

Table 2. Tensile strength and elongation after water toughening treatment.

Specimen No.	Tensile Strength (kg/mm <sup>2</sup> )		Elongation(%)	
	Argon	Air	Argon	Air
6	71.4	65.7	38.7	32.5
7	88.2	78.7	47.7	57.2
8	91	79	56.7	55
9	91.5	81.2	57.2	57.6
10	96.5	96.6	66.4	67.7

C含量이 클수록 引張強度도 커지고 또한 延伸率도 어느 한도까지는 向上된다는 것을 알 수 있다. 다음, 添加元素가 合金의 機械的 性質에 미치는 影響을 보면 表에서 Ni, Cr 및 V을 각각 0.1%씩 添加한 試料 8, 9 및 10의 引張強度 및 延伸率의 값이 다른 試料의 것과 比較해 보아 대체로 向上되어 있고, 또한 V, Cr, Ni 차폐로 더 크게 影響을 미치고 있다는 것을 알 수 있다. 이것은 Ni은 Mn과 더불어 austenite를 安定시키는 구실을 하고 Cr 및 V은 다 같이 炭化物 形成元素로서 微細한 炭化物이 析出되어 合金의 機械的 性質을 크게 向上시키기 때문이다. 靱圍氣의 效果를 보면 argon 때가 空氣 때보다 引張強度에 있어서 效果가 더 크다는 것을 알 수 있다.

#### 2) 硬 度

試料 3을 1030°C에서 각각 0, 10, 20, 30, 60分間 水靱處理했을 때, 熱處理 時間에 따른 硬度的 變化를 調査한 바 20分까지는 硬도가 계속 떨어지며 그 이후에는 거의 一定하게 되었다. 이것은 20分까지는 未固溶 炭化物이 거의 다 素地에 固溶된 것을 뜻한다. 따라서 1 mm 板材를 水靱處理할 때, 적어도 1030°C에서 20分 以上 加熱하여야 한다.

또한 같은 試料를 900, 950, 1000, 1020 및 1030°C에서 각각 30分間 水靱處理했을 때 溫度에 따른 硬度的 變化는 Fig. 5와 같다. 즉, 1020°C 以上에서 炭化物이 大部分 固溶되어 硬도가 一定하게 된다. 따라서 1 mm 板材는 적어도 1020°C에서 30分間 加熱하여야 한다.

Fig. 6은 試料 1을 30, 45, 85%로 冷間壓延한 후 1030°C에서 30分間 熱處理했을 때 壓延比에 따

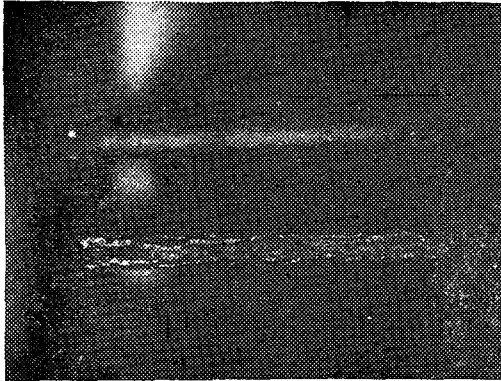


Fig. 5. Plot of variation of hardness against water toughening temperature for the specimen No. 3.

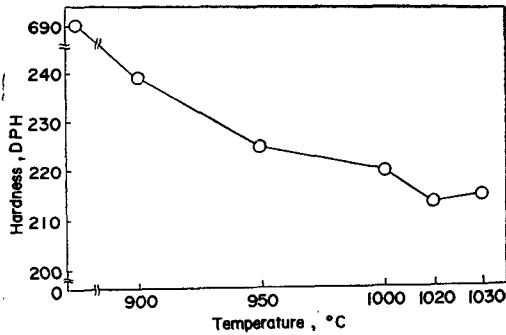


Fig. 6. Plot of variation of hardness against the cold reduction ratio for the specimen No. 1.

은 硬度的 變化를 나타내며 壓延比가 클수록 硬度가 增加하며 이것은 結晶粒이 微細化되었기 때문이다.

### 3) 굽힘 시험

空氣 및 argon 雰圍氣下에서 水靱處理한 試料 6의 굽힘試驗 結果는 Fig. 7과 같다. 空氣 雰圍氣下에서는 argon 때보다 表面脫炭이 심하게 일어나서 균열이 더 많이 形成되었다.

또한 C含量에 따른 試驗結果는 대체로 C의 含量이 클수록 균열이 일어나기 쉬웠으나 1.52% C의 試料 5에서도 심한 균열은 볼 수 없었다. 한편 Ni,

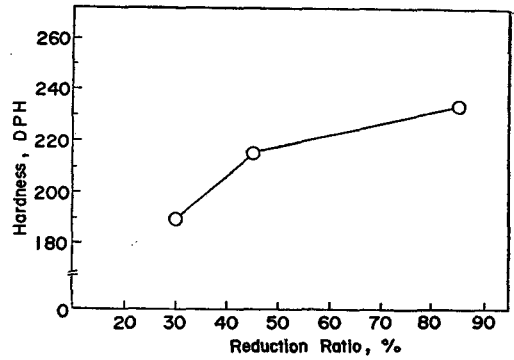


Fig. 7. Bending test of bars; (upper) argon atmosphere, (lower) air atmosphere, X2.

Cr 및 V을 각각 添加한 試料는 모두 좋은 結果를 보여 주었다.

## 要 約

溶湯의 溫度는 炭素의 收率을 높이기 위하여 1500°C 以下로 해야 하며, 鑄込溫度는 1460°C 內外가 適當하다. 鑄造狀態에서 素地의 針狀析出物은 orthorhombic (Fe, Mn)<sub>3</sub>C로 判明되었다. 冷間 壓延比는 클수록 結晶이 微細化되고 또한 硬度도 增加하였다. 表面脫炭이 일어나면 表面層에 martensite가 形成되어 成形하기가 어려우므로 argon 雰圍氣를 쓰는 것이 좋았다. 두께 1 mm의 板材의 경우 水靱處理 溫度가 950°C 以下일 때 炭化物 stringer가 나타났고, 1020°C에서 30分間 加熱했을 때 炭化物이 거의 素地에 固溶되었다. C含量이 클수록 引張強度와 延伸率이 增加하였다. Ni, Cr 및 V을 微量 添加했을 때 引張強度 및 延伸率이 커졌으며 또한 韌性도 좋았다.

## 參 考 文 獻

- 電氣製鋼研究會, 1969: 特殊鋼便覽, 理工學社, 12-3.
- 鈴木, 高田, 楠岡 1959: 鐵と鋼, 45: 351.
- Norman, T. E., Doane, D. V. and Solomon, A., 1960: Modern Casting, 49: 73.
- 鈴木, 高田, 牧岡, 後藤, 1969: 鐵と鋼, 55: 821.
- 今井, 1963: 應用金屬學大系, 誠文堂新光社, 5:154