

灰鑄鐵의 熱處理

黃 鍾 夏*

1. 序 言

근래 各種産業機械의 性能向上에 따라서 主要素材인 灰鑄鐵에 對해서 보다 高度의 品質이 要求되므로 接種에 의한 鑄鐵組織의 改良, 高圧造型法에 의한 보다 精密한 鑄수 등 많은 技術開發이 이루어지고 있다.

灰鑄鐵은 鋼과 달라서 片狀黑鉛이 存在하는 組織을 갖고, 또한 強力한 黑鉛化促進元素인 珪素를 普通 1~3% 含有하고 있는 한편, 形狀이 複雜하여, 두께에 差가 많고, 冷却速度가 달라 一般鋼의 燒入, 燒戻 등 熱處理에 의해 여러가지 性質을 向上시키는 일은 容易치 않다.

또한 灰鑄鐵은 熱處理過程에서 加熱이나 冷却時 pearlite 中の 共析 cementite가 分解하기 쉬우며, 冷却速度를 部分別로 均一히 하기 어렵기 때문에 龜裂發生의 危險이 크다.

그러므로 이들을 充分히 檢討한 뒤, 熱處理條件을 決定해야 한다.

이러한 熱處理를 目的에 따라서 大別하면 다음과 같이 3개 項目으로 区分할 수 있다.

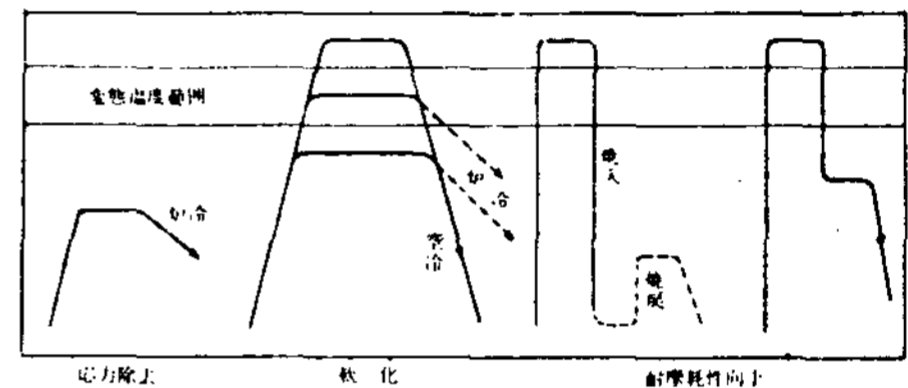
① 殘留應力 除去를 위한 熱處理: 「鑄造歪」, 「鑄造應力」, 「鑄物の 永久歪」 이라 하는 殘留應力除去로 軟化燒鈍과 함께 가장 一般적인 熱處理

② 白鈍化한 部分이나 硬化한 部分을 軟化하기 위한 熱處理: 「軟化燒鈍」 「高溫燒鈍」 이라 부르며 遊離 cementite의 分解, pearlite가 ferrite化하는 등의 熱處理

③ 硬度, 強度를 增加하고, 耐摩耗性을 주기 위한 熱處理: 燒入, 燒戻, austempering, martempering 등이 이것에 該當하며, 組織을 martensite, bainite, sorbite 등으로 하는 熱處理.

이들을 定性的으로 표시하면 그림 1 과 같다.

이와같이 3종의 灰鑄鐵 熱處理法에 대하여 살펴보고져 한다.



<그림 1> 灰鑄鐵의 熱處理法

2. 鑄物の 内部應力 方法

鑄物은 形狀이 複雜하며, 두께 差가 있는 것이 많아 冷却速度가 서로 다르기 때문에 凝固時에 鑄物内部에 殘留應力이 생기기 쉽다.

또 鑄物의 形狀과 鑄型材料 및 鑄型製造法의 關係에서 鑄型의 收縮率과 鑄物의 收縮率과의 사이에 差가 많아서, 鑄物이 自由로 收縮할 수 없어, 鑄物의 内部에 殘留應力이 생긴다.

더욱, 鑄物은 工作機械, 機械部品 등에 있어서는 精密度가 要求되는 일이 많으므로 殘留應力을 除去하여 뒤틀림의 量을 적게하는 것이 必要하다.

모든 技術의 發展速度가 낮은 時代에는 "seasoning" 이라는 方法이 쓰여졌지만, 이 方法은 完成된 鑄物을 적어도 2~3年間 野外에 비를 맞추어 放置하여, 自然히 殘留應力을 除去해서 뒤틀러 形의 變化가 생긴後, 加工을 하면 鑄수가 틀리지 않는 製品을 製造할 수 있다.

* 貨泉金屬(株) 鑄造課長
-34-

이 방법은 확실한 방법이지만長時間을 요하며 応力除去 程度는 10% 前後

로 非効率的이어서 現在는 400 ~ 600 °C에서 몇時間동안 加熱해서 応力을 除去한다.

< 표 1 > 鑄鐵의 化學成分과 殘留應力의 關係¹⁾

시료 번호	化學組成							C.E	線 收 率 (%)	鑄造殘留應力 (kg/mm ²)	
	T.C	G.C	C.C	Si	Mn	P	S			鑄造狀態	600 °C 鈍燒
A	3.09	2.20	0.77	1.93	1.00	0.15	0.075	3.78	1.10	2.051	0.476
B	2.90	2.24	0.66	1.88	0.85	0.17	0.77	3.58	1.25	2.838	0.881
C	2.95	2.15	0.85	1.72	0.58	0.22	0.080	3.59	1.56	3.790	0.423
D	2.90	2.00	0.90	1.30	0.61	0.20	0.090	3.40	2.04	4.635	0.598

1) 應力의 生成機構

鑄物에 殘留應力이 크게되는 原因을 列挙하면 다음과 같이 생각할 수 있다.

- ① 粘性變形을 일으키기 시작한 溫度가 높을 경우
- ② 彈性限이 溫度의 上昇에 따라 容易하게 低下하지 않는 경우
- ③ 冷却速度가 急할 경우
- ④ 急冷, 徐冷에 따라 組織이 同一치 않게 存在하는 경우
- ⑤ 各部의 切斷面의 差가 클 경우, 즉 各部의 冷却速度의 差가 클 경우

以上을 試料面에서의 理由를 말하였으나, 鑄物에는 鑄型材料나 鑄物의 形狀어하에 따라서 鑄物에 殘留應力이 남아 있는 경우가 있다. 즉 鑄物이 自由로 收縮할 수 없는 경우로서는 中子가 鑄物의 收縮을 방해할 때가 있다. 또 鑄物形狀과 鑄型의 材料나 製造法에 따라서도 自由收縮이 困難해서 鑄物에 殘留應力을 생기게할 경우가 있다. 이와같이 지극히 複雜한 要因을 包含하고 있다.

鑄鐵鑄物의 材料는 冷却速度가 빠르면 白銹化가 많아지며, 冷却速度가 느릴 때는 黑鉛化가 進行된다. 白銹化가 進行되면 凝固時의 收縮이 크게되고, 黑鉛化가 進行되면 膨脹이 크게되는 것으로 鑄物에 두께 差가 있으면 當然히 殘留應力이 쉽게 생긴다는 것을 알 수 있다.

鑄鐵의 化學組成과 殘留應力의 關係에 대해서는 表 1에 표시한다.¹⁾

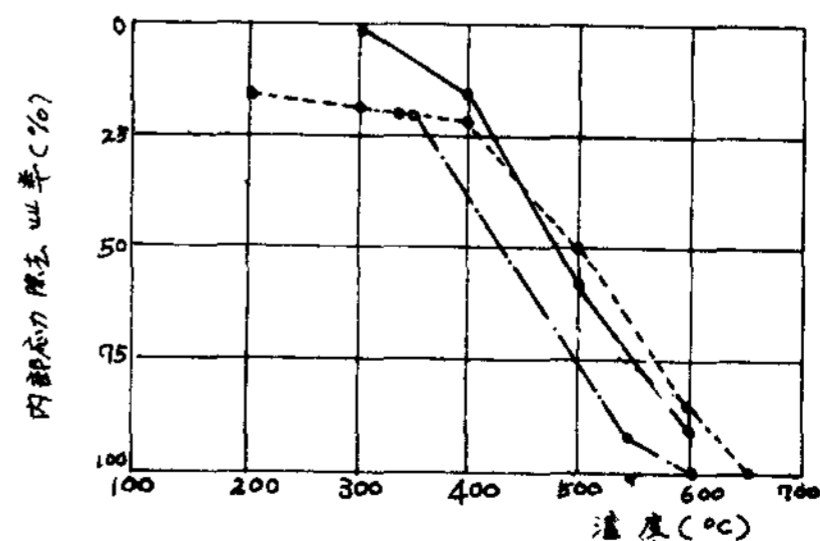
또한 共晶度 $\{CE = \%C + \frac{1}{3}(\%Si + P)\}$ 가

크게 됨에 따라 鑄造狀態에서는 殘留應力이 적게 된다.

2) 應力除去 方法

實際 熱處理作業의 경우 最大 加熱速度는 110 °C/h程度 以下로 5時間 以上 530 ~ 55 °C의 溫度에 도달해야 하며, 燒鈍後의 最大 冷却速度는 50 °C/h以下로 하는 것이 좋으며 150 ~ 200 °C에서 空冷시키는 것이 理想的이다. 加熱이나 冷却은 溫度를 서서히 上昇, 下降시켜야 하며 그렇지 않으면 龜裂이나 鑄造歪이 생기며, 또한 内部에 應力이 再生할 危險이 있다. 또 溫度保持가 適切한 範圍를 넘어 變態溫度附近에도달하면 pearlite 中の 共析 cementite가 分解, 黑鉛化해서 組織이 變化하며 또한 變形이 생기므로 注意를 要한다.

内部應力除去에 影響을 미치는 因子는 處理溫度와 鑄物을 일정溫度에 保持하는 時間의 길이 두가지가 있다.



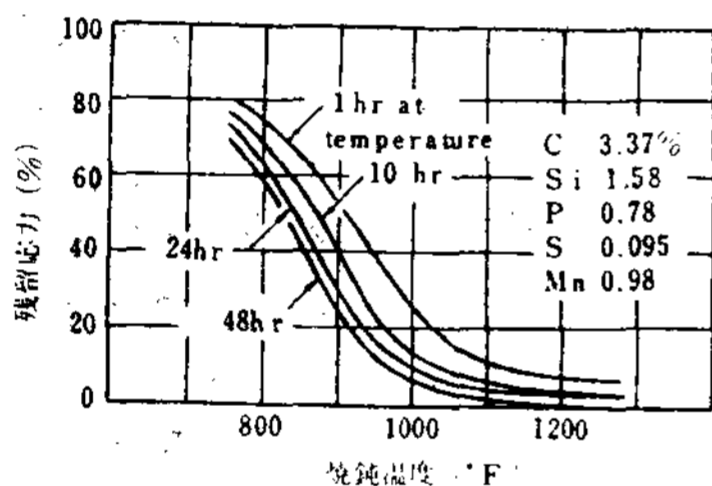
< 그림 2 > 燒鈍保持溫度와 内部應力除去比率과의 關係

그림 2를 보면 内部應力의 除去는 約 400 °C까지는 적지만 이 溫度보다 높게되면 急

激히 除去 比率이 增大하는 것을 表示하고 있다.²⁾ 그림 2에 의하면 約 510°C의 溫度가 좋으며 黑鉛의 成長이나 強度의 低下를 무시하고 内部応力 除去만을 얻기 위해서는 350 ~ 400°C의 燒鈍溫度 만으로도 좋지만 이 溫度에서는 内部応力이 殘有하기 때문에 實際로는 550°C 溫度까지 1~5時間동안 加熱하고 550°C의 燒鈍溫度에서 두께 25 mm 程度의 製品은 0.5~2時間 保持하는 것이 必要하다.³⁾ 그림 3에는 灰鑄鐵을 燒鈍한 경우의 内部応力의 比率에 미치는 保持時間의 影響을 表示하고 있다.⁴⁾

応力을 完全히 除去할 必要가 있으면 595°C보다 더 높은 溫度가 必要하지만 매우 炭素當量이 적은 強靱鑄鐵의 경우를 除外하면 機械的 性質을 低下시키는 일이 있기 때문에 注意하지 않으면 안된다.

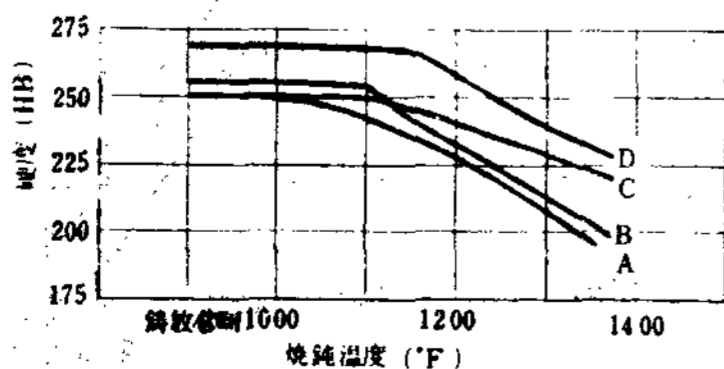
사진 1은 加熱溫度가 너무 높아 分解된 pearlite의 組織사진이다.



<그림 3> 燒鈍溫度 및 保持時間과 殘留應力의 關係



<사진 1> 分解된 Pearlite (5% 피크린酸알콜 腐蝕)



Iron	TC	CC	Si	Cr	Ni	MO
A	3.20	0.80	2.43	0.13	0.05	0.17
B	3.29	0.79	2.58	0.24	0.10	0.55
C	3.23	0.70	2.55	0.58	0.06	0.12
D	3.02	0.75	2.38	0.40	0.07	0.43

<그림 4> 燒鈍溫度와 硬度 (시편 1.2 φ, 加熱時間 1hr, 空冷)

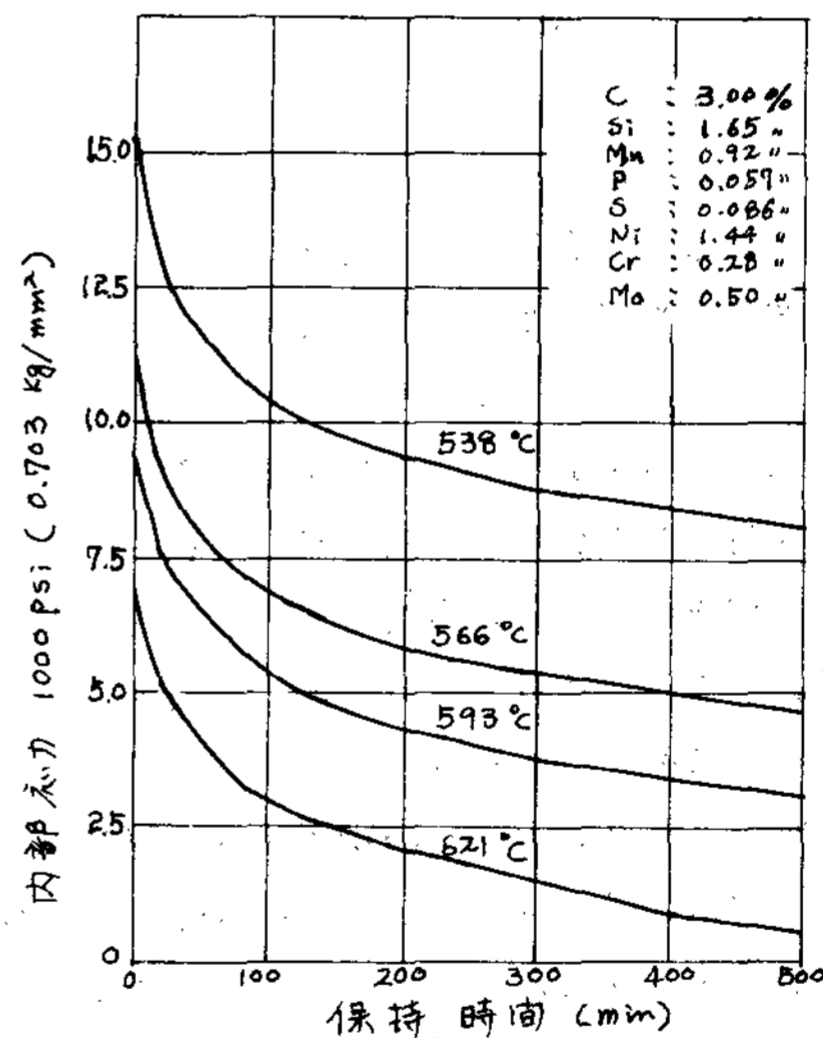
그림 4에는 加熱溫度와 硬度와의 關係를 표시하고 있다.

pearlite의 分解溫度는, 鑄鐵의 化學成分에 의해서 다르며, Si는 pearlite의 分解를 促進하며, Mn은 pearlite를 安定시키기 때문에 Si%가 낮고 比較的 Mn%가 높은 高級鑄鐵이나, Cr, Mo, 등의 黑鉛化 阻害元素(pearlite 安定化 元素)를 含有한 合金鑄鐵은, 普通鑄鐵에 比해서, 應力除去 溫度를 높게 잡아야 한다.

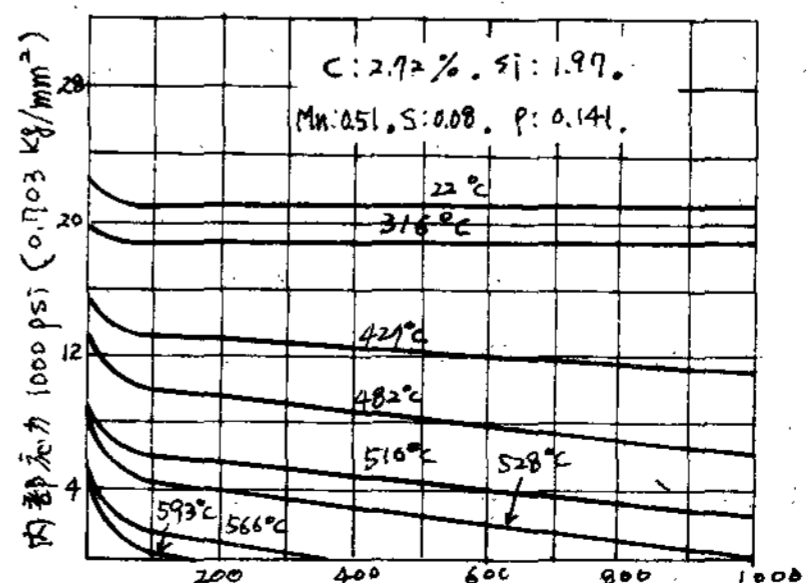
低合金 鑄鐵의 경우는 비교적 높은 内部應力除去溫度 즉 560 ~ 595°C가 適當하다.

Cr, Ni, Mo 및 V 등의 合金元素는 灰鑄鐵에 creep 抵抗을 높이기 때문에 普通 部應力 除去 溫度로는 不充分하기 때문에 溫度를 上昇시킬 必要가 있다.

一般的으로 内部應力 除去溫度는 灰鑄鐵에서는 510 ~ 565°C, 低合金鑄鐵에서는 565



<그림 5> 低合金 鑄鐵의 内部應力除去에 미치는 溫度와 時間과의 關係



<그림 6> 각각의 溫度에 保持하는 高級鑄鐵의 内部應力에 미치는 溫度와 時間과의 영향

~ 595 °C, 高合金鑄鐵에서는 595 ~ 650 °C의 溫度範圍가 바람직하다고 되어 있다.⁵⁾

그림 5는 Ni 1.44%, Cr 2.08%를 含有한 低合金鑄鐵의 内部應力에 미치는 溫度 및 時間의 影響이다.

그림 6은 各各의 溫度로 保持한 경우 高級鑄鐵의 内部應力 除去와 保持時間과의 關係를 表示한 것이다.

燒鈍後의 冷却速度는 簡單한 設計의 製品은 270 ~ 290 °C의 位置에서 放冷하는 것이 좋고, 複雜한 設計의 鑄物은 90 °C의 위치까지 完全히 炉中에서 冷却을 한다.

다음은 M.M Hallett 및 P.D Wing⁶⁾가 合金鑄鐵의 内部應力 除去 燒鈍에 대해서 詳細히 研究한 것으로 그 結果는 다음과 같다.

① 比較的 低合金 鑄鐵의 경우 砂型 및 遠心鑄造 鑄物에서는 600 °C에서 1時間 加熱하면, 内部應力이 80%以上 除去되며, 그 밖에 機械的性質 또는 顯微鏡組織에는 何等 影響을 미치지 않는다.

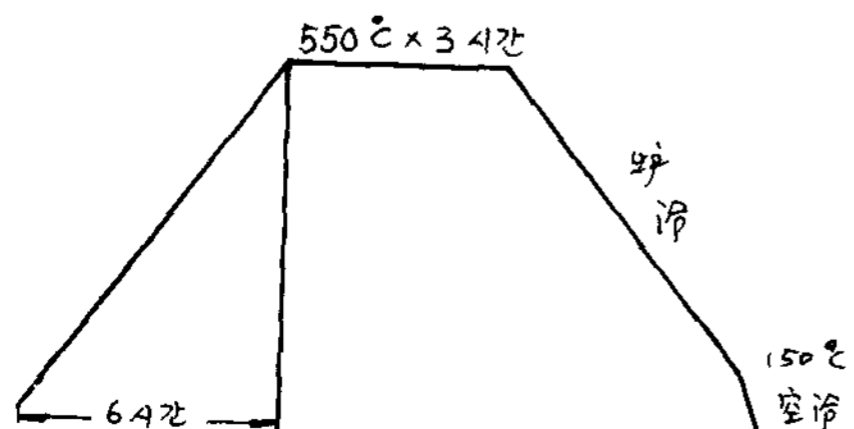
② 33% Cr 鑄鐵과 Ni-resist 級의 高合金鑄鐵에서는 燒鈍溫度는 점점 높아 650 °C로 加熱하지 않으면 滿足할만한 應力除去는 얻을 수 없다.

이 内部應力 除去 處理는 33% Cr 鑄鐵의 機械的 性質에는 影響이 없지만 Ni-resist에서는 約 10%의 抗長力이 低下 한다.

③ 最初의 内部應力이 크면 어느 溫度에 있어서도 그 溫度에서 應力除去의 程度에 特別한 影響을 미치지만 一般적으로 큰 應力이 걸려 있는 편이 應力除去 比率이 크게 된다.

④ 450 °C보다 低溫에서도 處理時間이 길면 内部應力 除去 比率이 增加하지만, 除去速度는 극히 늦게 된다.

⑤ 常溫에서 數個月 放置 燒鈍을 하면, 内部應力 除去 比率은 最高 10%程度가 되지만 高溫加熱에 의한 内部應力 除去 方法



<그림 7> 工作機械應力 除去 cycle.

은 常溫에서 數個月 放置한 것 보다도 더 우수함을 알 수 있다.

그림 7은 工作機械 部品の 應力除去 燒鈍으로 bed, column, table 등에서 두께 1.5 ~ 30 mm의 複雜한 形狀을 한 材質 GC 30에 相當하는 鑄物의 熱處理 cycle을 表示한다.

3. 鑄鐵의 軟化

灰鑄鐵의 軟化를 위한 熱處理는, 機械切削性을 改善하기 위한 ferrite化燒鈍과 硬化部를 除去하기 위한 chill除去燒鈍이 있다.

이들의 熱處理는 鑄鐵組織을 變化시키는데 있으므로 自然히 機械的 性質도 變한다.

따라서 鑄鐵에 부여된 強度的 要求를 充分히 考慮한 후 熱處理의 可否 或은 熱處理 條件을 決定하지 않으면 안된다.

灰鑄鐵을 高溫으로 加熱 保持한 後 冷却하는 경우 機械的性質 變化는 加熱溫度, 保持時間, 冷却條件, 鑄鐵의 化學成分등에 의해서 影響을 받는다.

그림 8은 普通鑄鐵 (GC 25程度)인 丸棒 (30φ × 300ℓ)을 500 ~ 900 °C에 各 1時間 保持한 後, 空冷 및 炉冷시킬 경우 硬度變化가 있고, 加熱溫度의 上昇과 함께 pearlite의 ferrite化에 의해 硬度曲線은 上方向으로 움직인다. 이때 試料가 變態點을 넘어 加熱되며 比較的 빠른 冷却速度에서 冷却된 경우 (空冷), 冷却過程에서 pearlite變態가 생겨 硬度가 上昇하지만 이 現象은 普通鑄鐵보다도 Ni, Cr, Mo 등을 含有한 合金鑄鐵에 있어서 현저하다.

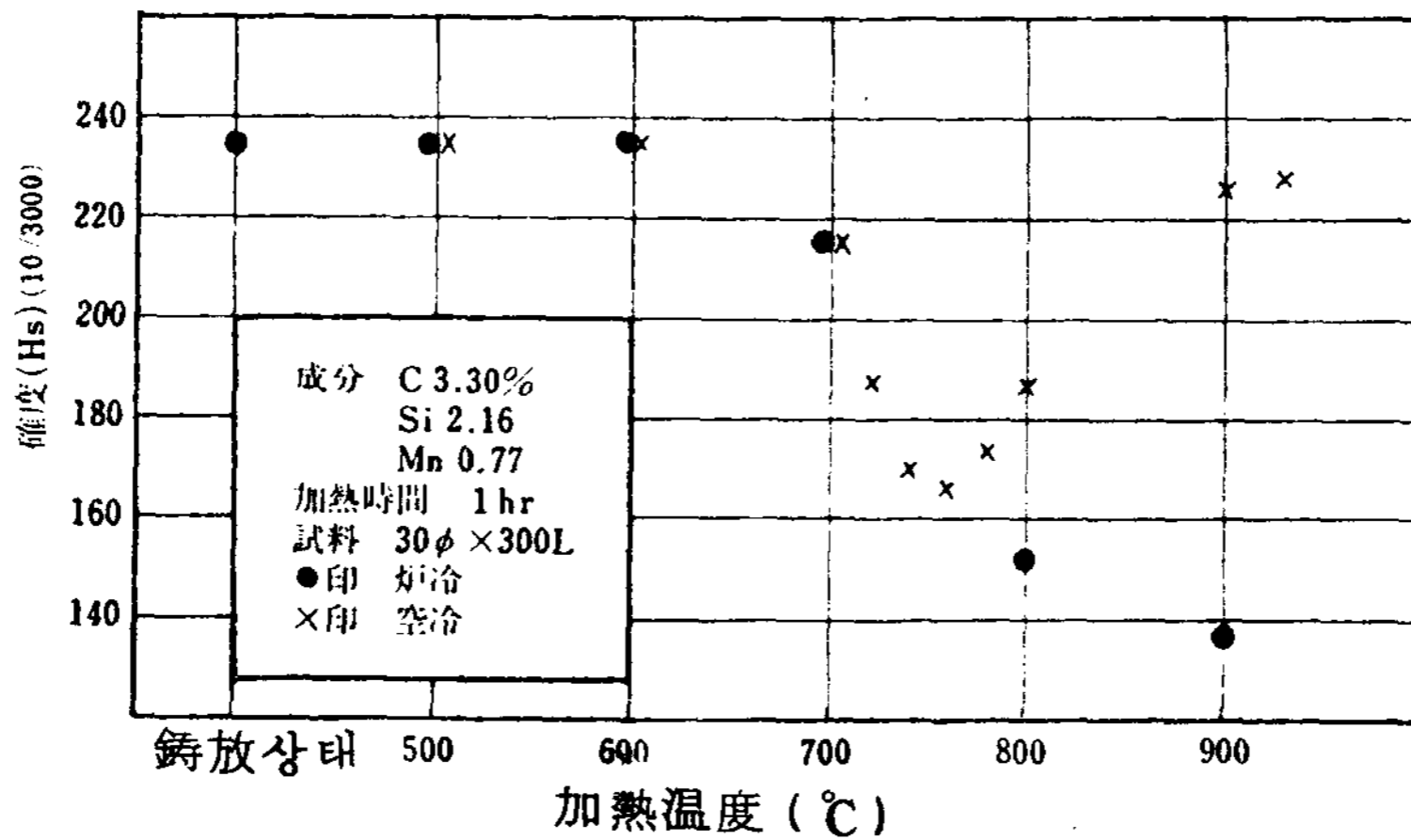
具體的인 例를 表 3에 表示한다.⁷⁾ 다음 그림 9와 그림 10은 G.A. Timmons⁸⁾가 3.25%와 2.20%의 Si量이 다른 2種의 灰鑄鐵에 대해서 pearlite 分解速度를 조사한 것이다.

또한 A.W. Sylvesteter⁹⁾은 2種의 灰鑄鐵에 대해서 燒鈍溫度 및 保持時間과 硬度와의 關係에 대해서 그림 11과 12에 그 結果를 報告하고 있다.

그림 11 및 그림 12에 의하여 600 °C와 850 °C 사이의 溫度에서, 各各의 時間으로

< 표 2 > 応力除去焼鈍의 熱處理條件

種 類	加熱保持溫度(°C)	保持時間(두께 x mm일 때) (hr)	最大加熱速度 (°C/hr)	最大冷却速度 (°C/hr)
普通鑄鐵	510~565	$\frac{x}{25} + (3 \sim 5)$	90	40
低合金鑄鐵	565~595	$(1 \sim 2) \times \frac{x}{25}$	90	40
高合金鑄鐵	595~650	$(1/2 \sim 1) \times \frac{x}{25}$	90	40



< 그림 8 > 加熱에 의한 硬度變化

< 표 3 > 加熱에 의한 鑄鐵의 機械的性質의 變化

區 分	普通鑄鐵			合金鑄鐵		
	硬 度 (HB)	抗 張 力 (PSi) (kg/mm ²)		硬 度 (HB)	抗 張 力 (PSi) (kg/mm ²)	化合炭素 (%)
鑄放狀態	207	38,100 (26.8)		212	38,700 (27.2)	0.84
1000°F (538°C)	202	30,400 (21.4)		212	39,700 (27.9)	0.82
1100 (593)	190	36,800 (25.9)		210	40,000 (28.1)	0.86
1200 (649)	138	28,200 (19.8)		202	38,600 (27.1)	0.80
1300 (704)	125	26,400 (18.6)		187	38,400 (27.0)	0.81
1400 (760)	131	27,400 (19.3)		170	34,200 (24.0)	0.60
1500 (816)	152	29,700 (20.9)		212	42,600 (30.0)	0.76
1600 (871)	152	29,700 (20.9)		217	44,200 (31.1)	0.81
1700 (927)	152	29,600 (20.8)		223	42,400 (29.8)	0.82
1800 (982)	152	30,100 (21.2)		255	49,000 (34.4)	0.80

(註) ①試料(.2"φ×7")는 上記溫度에 各 1hr 加熱後 實溫度에 空冷

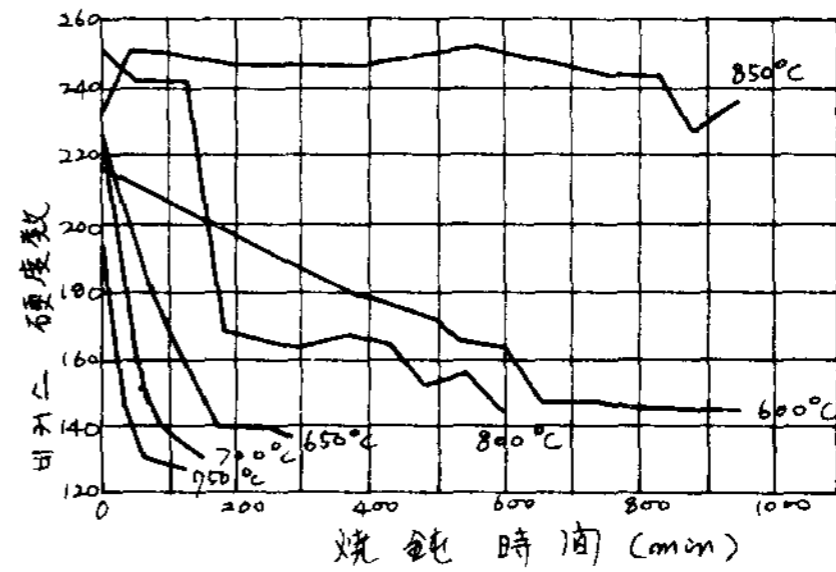
② 試料의 化学成分

化学成分	試料	T.C	C.C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
普通鑄鐵		3.15	0.54	2.59	0.88	0.09	0.135	0.01	0.10	-
合金鑄鐵		3.33	0.84	2.27	0.72	0.076	0.122	0.44	0.36	0.28

保持해서 空冷한 것으로 750℃에서 處理한 것이 最短 時間으로써 가장 좋은 結果를 얻고 있다.

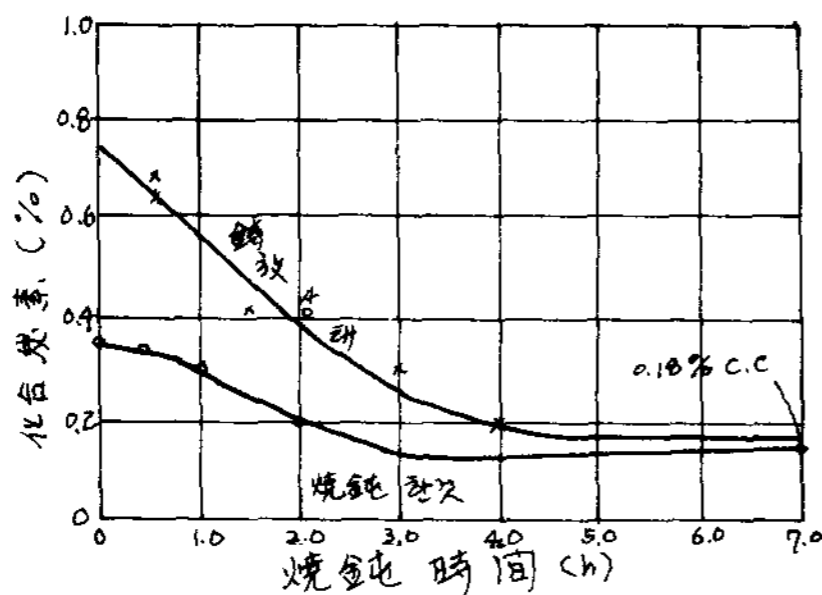
그림 11에서는 變態溫度 以上の 溫度에서 處理한 것은 炭素가 再溶解하며, 試料가 적어 空冷했기 때문에 硬度가 높게 되고 있다.

이들의 曲線에서 燒鈍處理 溫度와 保持時間과의 關係가 明確히 되어, 가장 經濟的인 熱處理 方法을 선택할 수 있다.



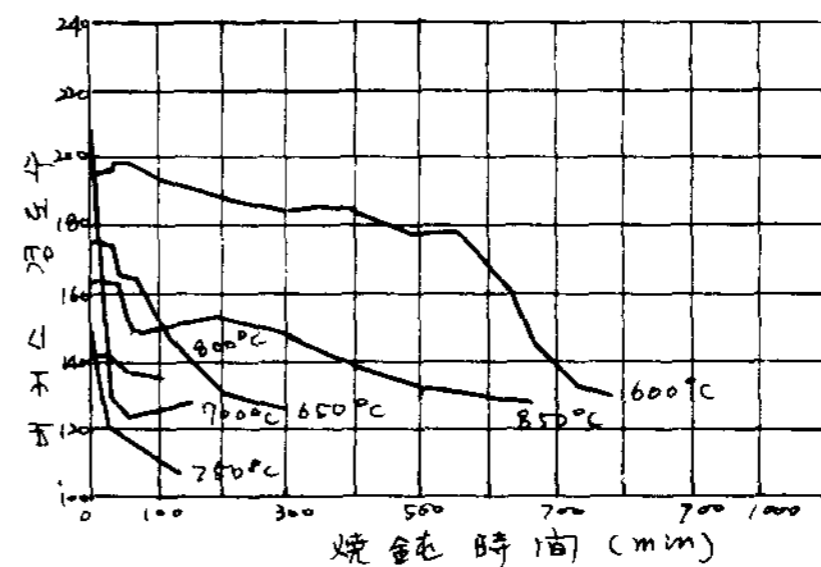
<그림 11> 燒鈍處理溫度, 保持時間과 硬度의 關係 (A.W. Sylvesteter)

최초의 경도: Hv 220 (T.C 3.83% Si 1.93%, Mn 0.72%, P 0.63%)



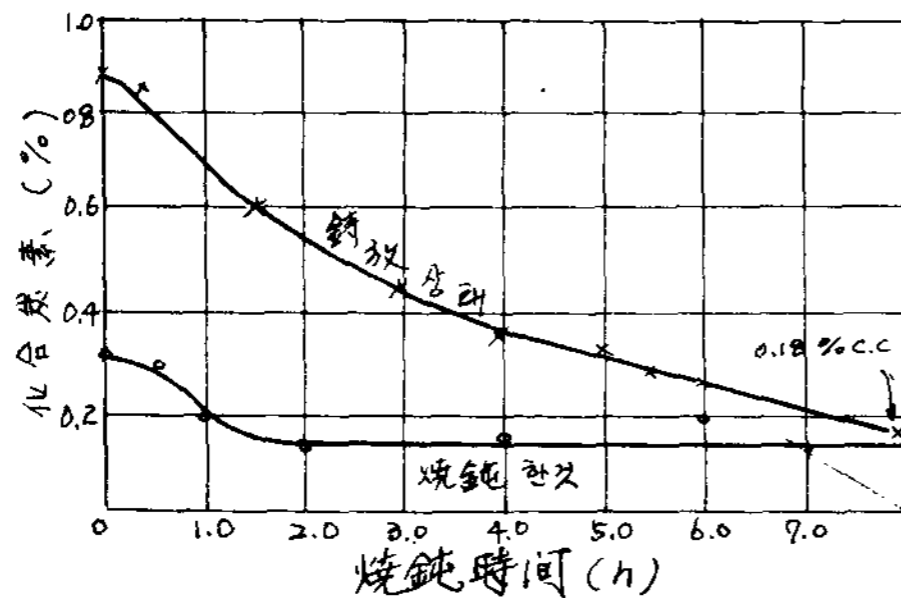
<그림 9> 化合炭素量과 燒鈍時間과의 關係 (珪素 3.25%의 경우)

700℃加熱 (T.C 3.30%, Si 3.25%, Mn 0.80% S 0.069%, P 1.12%)
燒鈍試片은 燒鈍別로 變態溫度위 40℃의 溫度에서 豫備燒鈍했다.



<그림 12> 燒鈍의 處理溫度, 保持時間과 硬度의 關係 (A.W. Sylvesteter)

최초의 경도 Hv 210 (T.C 3.63%, Si 2.68%, Mn 0.54%, P 0.63%)



<그림 10> 化合炭素量과 燒鈍時間과의 關係 (珪素 2.20%의 경우)

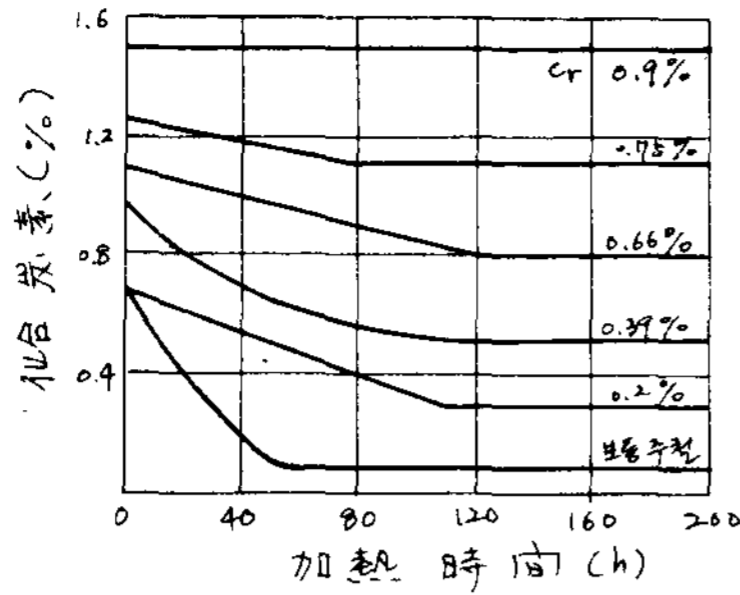
700℃加熱 (T.C 3.45%, Si 2.20%, Mn 0.71%, S 0.054%, P 1.10%)
燒鈍試片은 그림 12와 같이 豫備燒鈍했다.

<표 4> 灰鑄鐵의 硬度에 미치는 燒鈍溫度의 영향

試料番号	1h 保有한 燒溫度 C	Hb 硬 度		Rockwell 硬度 (1/16 in 球 100kg 荷重) HRB
		10 mm 派 3000 kg 荷 重	5 mm 球 750 kg 荷 重	
1	鑄造상태	201	206	93
2	400	197	196	90
3	500	170	178	85
4	600	114	111	68
5	700	121	121	71
6	800	156	170	80
7	900	179	187	85
8	1300	179	187	85

註) 1. 試料의 化學組成: T.C 3.42%, G.C 2.95%, C.C 0.74%, Si 1.87%, Mn 0.77%, P 0.17%, S 0.092%

2. 硬度試驗을 하기전에 熱處理後表皮 1/8"을 제거했다.



< 그림 13 > 含 Cr 鑄鐵의 化学炭系量에 미치는 加熱 保持사이의 影響
T.C 3.17 %, Si 1.44 %, Mn 0.97 %, S 0.005 %, P 0.69 %

J.W. Donaldson¹⁰⁾ 은 0~0.9% Cr을 함유한 合金鑄鐵을 550℃의 溫度에 保持한 경우 Cr量의 變化에 의해서 炭化物의 分解程度가 어떻게 變化하는가를 研究하여 그림 13에 表示한 바와같은 結果를 얻었다.

이것에 의하면 Cr을 함유한 合金鑄鐵에서는 炭化物의 分解가 地극히 困難하다는 것이 明白하다.

一般的으로 Cr을 함유한 鑄鐵은 높은 燒鈍溫度가 利用되고 있다.

표 4는 灰鑄鐵의 硬度에 미치는 燒鈍溫度의 影響을 表示한 것이다.

實際 燒鈍에 있어서는 低溫燒鈍은 700~760℃에서 鑄鐵의 두께 1in當 45分으로 하여 1時間 保持하고, 540~290℃ 사이를 550℃/h 또는 그 以下의 冷却速度로 炉冷하는 것이 좋다.

또한 合金鑄鐵에서는 790~900℃에서 역시 上記와 같이 두께 1in當 約 45分 保持하고, 燒鈍溫度에서 290℃까지 炉中에서 地극히 서서히 冷却하는 方法이 採用되고 있다.

結局 切削性 改善의 燒鈍은, 鑄物의 化学成分, 製品의 두께 및 黑鉛의 形状, 크기, 分布狀態등을 充分히 考慮해야 한다.

Ni, Cr, Mo 및 Cu以外의 特殊元素를 함유한 合金鑄鐵에서는 特別히 化学成分를 考慮해서 하지 않으면 안된다.

1) Ferrite化 燒鈍

鑄鐵 組織中에 pearlite의 一部, 或은

全部를 ferrite化해서 機械 切削性を 改善하기 위해 하는 것으로 一般的으로 다음 2가지 方法이 使用되어지고 있다.

① A₁ 變態點 바로 밑의 溫度(700~750℃)에서 加熱하여, pearlite를 直接 ferrite와 黑鉛으로 分解하는 方法

② A₁ 變態點 바로 위의 溫度까지 加熱해서 pearlite를 austenite化하여 徐冷하고, 共析 cementite의 析出을 억제해 組織을 ferrite와 黑鉛으로 하는 方法. 一般的으로 Pearlite中의 共析 cementite의 分解는 A₁ 變態보다 꽤 낮은 溫度에서 시작하며, 變態溫度 부근에 있어서 分解速度는 急速히 커지지만 이것은 鑄鐵의 化学成分에 의해서 크게 影響을 받는다. 즉 Si의 增加는, pearlite의 分解를 현저히 促進하며, Cr, Mo, Mn 등은 이것을 阻害하는 것이다.

또 A₁ 變態點은 鑄鐵의 化学成分에 의해서 變하며 Si%의 增加와 함께 溫度範圍가 생겨 먼저 高溫쪽으로 移動하는 것은 잘 알려져 있지만, 灰鑄鐵의 경우 正確한 式을 아는 것은 어렵고 많은 경우, 化学成分에서 A₁ 變態點을 定해서 熱處理條件을 決定하고 있다. 合金元系로 함유하고 있지 않으면 普通鑄鐵의 A₁ 變態點과 化学成分과의 關係에서 近似式을 다음과 같이 表示하고 있다.

$$A_1 \text{ 變態溫度 (°F)} = 1346 + 50.4 (\% \text{Si}) - 45.0 (\% \text{Mn})$$

사진 2는 鑄造한 狀態에서 黑鉛과 完全 pearlite組織의 灰鑄鐵을, 740℃에서 1~5時間 ferrite化 燒鈍한 경우의 組織사진이다.

2) Chill除去 燒鈍

鑄造時, 熔湯의 化學組成의 잘못으로 두께가 얇은 部分이나, 모서리 部分 등에 Chill이 생길 때 이를 除去하기 위하여 하는 熱處理로 熱處理 cycle은 그림 14와 같다.

그림 14의 (a)는 A₁ 變態點을 통과할 때 冷却速度를 크게해서 組織을 ferrite化하는 경우이며, (b)는 서서히 冷却하여 matrix組織을 ferrite化하는 경우이다. 그림 15는 内部応力 除去 燒鈍과 이들의 燒鈍을 一括해서 圖示 比較한 것이다.

chill部의 遊離 cementite의 分解溫度로는 900~930℃가 適當하며, 적어도 850℃



740 °C × 1時間



740 °C × 3時間

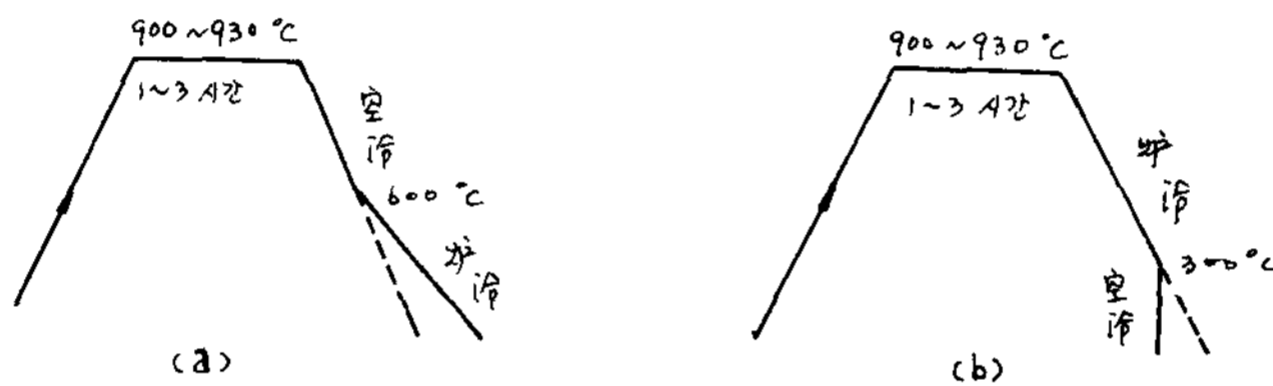


740 °C × 5時間

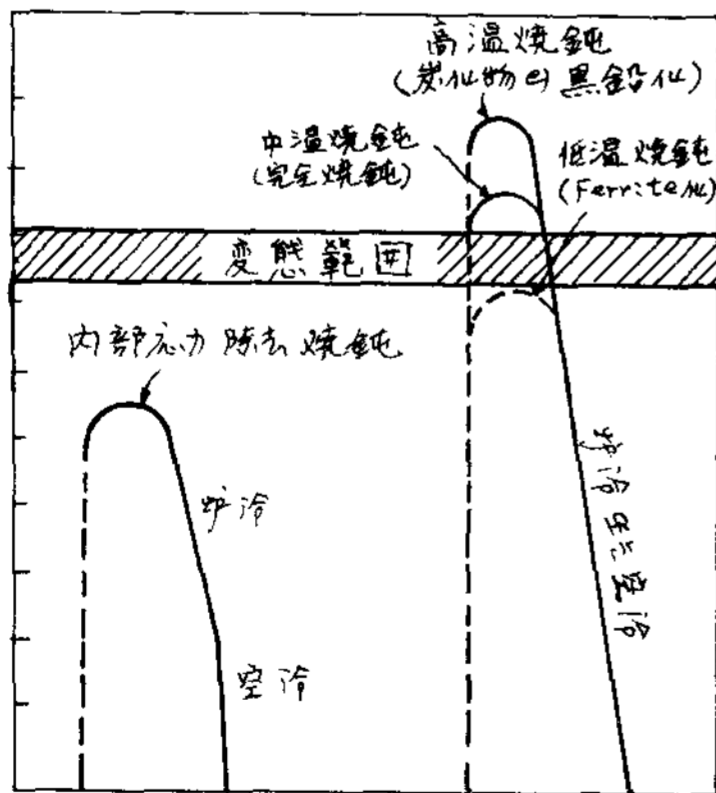
<사진 2> Ferrite 化 燒鈍 試料成分 C 3.25, Mn 0.70, S 0.06, Si 2.10, P 0.06
(5% 피크린 酸 알콜 腐蝕)

以上이 必要하다. 그러나 너무 高温으로 950 °C를 超過하면, 灰鑄鐵에서는 磷 含有量이 많기 때문에 steadite 共晶部分에 熔解가 일어나고 酸化 scale이 생기기도 하며, 또 變形이 생기기 때문에 限度가 있다.

實際의 경우에는 chill 部의 面積이나 量과 含有 珪素量을 합쳐서 熱處理 溫度나 保持 時間을 選定하지 않으면 안된다. 이 時間과 溫度의 關係는 950 °C에서 1時間 燒鈍은, 850 °C에서 4時間 燒鈍에 해당한다.



<그림 14> chill 除去 燒鈍 cycle



<그림 15> 鑄鐵의 燒鈍 cycle

鑄物의 變形이나 酸化 scale의 生成은 溫度가 높은만큼 극심하다. 따라서 霧困氣

調整 爐를 使用하지 않는 경우는 될수 있는 한 保持 時間을 길게 잡아야 한다.

또 chill 部의 cementite 分野에 있어서 는 珪素量의 高低는 勿論 Cr이나 Mo의 存在나 Mn과 平衡하는 量 以上이 存在하는 硫黃 등의 有無에도 特히 考慮할 必要가 있다.

實際적으로 900 ~ 950 °C로 加熱하며, 1 ~ 3時間 保持하고, 鑄物의 두께 1in 에 1時間 保持하면 chill 部를 除去할 수 있다. 그러나 鑄鐵管과 같은 高炭素의 것에서는 930 °C에서 15分間 保持하는 것이 좋다고 알려져 있다.

Matrix를 pearlite로 하기 위해서는 燒鈍한 後 540 °C까지 空冷하며, 그後 290 °C까지는 内部応力이 殘存하므로 再次 爐中에 徐冷할 必要가 있다.

Matrix를 ferrite로 하는 경우에는 燒鈍溫度에서 290 °C까지 爐中에서 서서히 冷

却하는 것이 좋다.

4. 鑄鐵의 硬化

齒車, cylinder-liner, cam 등 摩耗에 對해서 대단히 나쁜 條件에서 使用하는 鑄鐵은 熱處理를 하여 強度, 硬度를 增加하며, 耐摩耗性을 向上시켜 使用해야 한다.

鑄鐵의 硬化 熱處理 種類는 다음과 같다.

- ① 燒入, 燒戻
- ② 高温 燒入
 - 1) austempering
 - 2) martempering
- ③ surface hardening 등이다.

이들의 熱處理는 어느 경우든지 鑄鐵을 高温에서 急冷하며 matrix組織을 sorbite (燒鈍하면 martensite), bainite, martensite 등으로 하여 硬度를 增加, 耐摩耗性을 改善하고 있다. 따라서 灰鑄鐵과 같이 材質적으로 약한 것에는 急冷過程에서 龜裂이 發生할 危險이 크게 된다. 이것을 充分히 고려해서 熱處理 方法을 決定해야 한다.

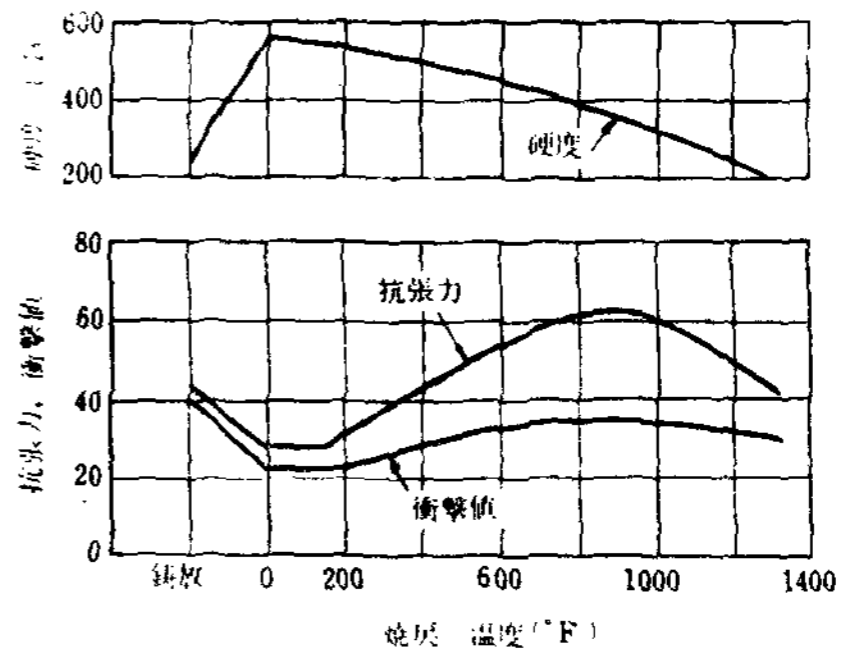
1) 燒入 (Quenching), 燒鈍 (Tempering)

鑄鐵을 共析變態 (A₁ 變態) 溫度範圍 以上의 溫度로 加熱, 保持하고, 組織을 黑鉛과

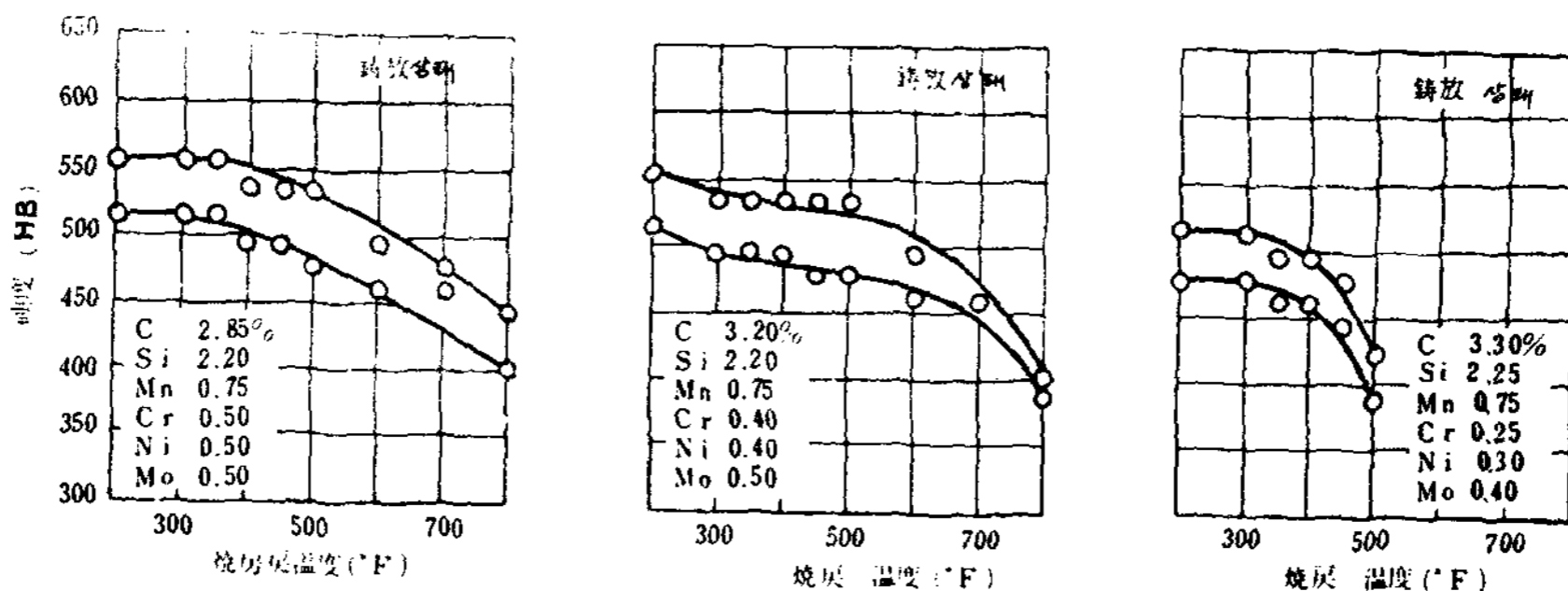
austenite로 하고, 기름이나 水中에 急冷하면 austenite가 martensite化해서 硬化한다. 이것이 鑄鐵의 燒入이며, 一般적으로 燒入溫度 (austenite化溫度)로는 灰鑄鐵의 경우 800 ~ 900 °C가 使用되며, 昇溫



< 사진 3 > 灰鑄鐵의 鈍戻한 組織 (850 °C에서 水燒入한 後 300 °C 1hr 燒入)



< 그림 16 > 普通鑄鐵의 燒戻에 의한 機械的性質의 變化



< 그림 17 > 燒戻한 後의 硬度에 미치는 合金元素의 影響 (850 °C에서 燒入)

할때는 미리 500 ~ 600 °C로 豫熱해 놓고, 所定의 溫度燒入爐에 옮겨 넣는 것이 좋다.

燒入浴으로는 油가 많이 使用되지만 바람직한 것은 水 燒入이며 空氣燒入도 하고 있다.

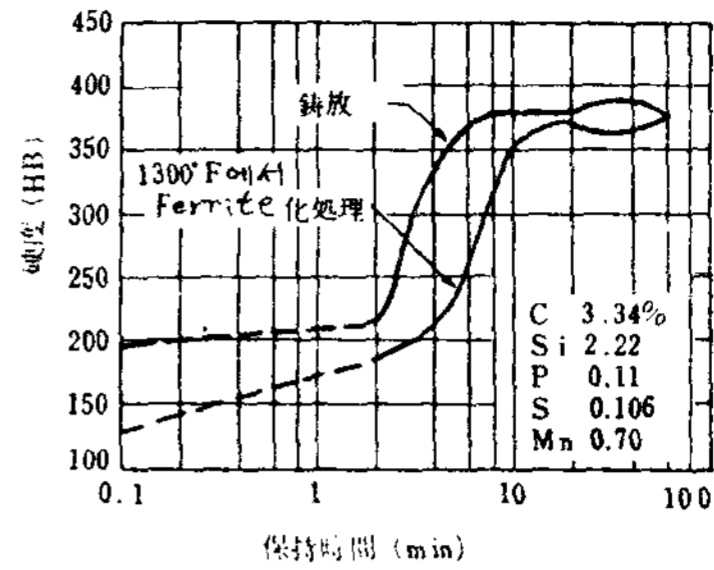
燒入된 그대로의 狀態에서는 대단히 硬하고, 耐摩耗性이 크지만 약하고, 또한 燒入에 의해 内部歪도 크기 때문에, 一般적으로 180 ~ 400 °C의 溫度에서 燒戻을 하여 使用되고 있다.

燒戻에서 硬度는 점점 低下하지만, 燒入때 發生한 内部歪를 減少시킴과 동시에 燒戻한 溫度가 높은 경우에는 matrix組織이 martensite에서 troostite, 或은 sorbite 등으로 變해서 材質的으로 粘性이 있게 된다.

사진 3에 C 3.30%, Si 2.16%, Mn 0.77%의 灰鑄鐵 燒戻組織을, 그림 16과 17¹¹⁾에 는 燒入된 鑄鐵의 燒戻에 의한 機械的 性質의 變化를 表示한다.

灰鑄鐵을 燒入에 의해서 充分히 硬化시키 기 위해서는 鑄鐵組織이 austenite化하는 A₁變態點 以上の 溫度로 加熱하는 한편 그 溫度에 保持해서 austenite中에 充分한 炭素를 固溶시키는 것이 必要하다.

燒入硬度和 燒入溫度 및 保持時間의 關係를 表 5¹²⁾와 그림 18¹³⁾에 表示한다.



< 그림 18 > 燒入溫度의 保持時間과 硬度 (保持時間 1550°F)

灰鑄鐵의 燒入性은 低炭素, 低珪素가 좋고 또 Cr, Ni, Mo 등의 添加도 鑄鐵의 燒入性을

표 5 燒入溫度와 燒入硬度

化 学 成 分 (%)									鑄放狀態 硬 度 (HB)	油燒入後의 硬度 (HB)			
T.C	C.C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo		燒 入 溫 度 (F)			
										1,450	1,500	1,550	1,600
3.19	0.69	1.70	0.76	0.216	0.097	0.03	-	0.013	217	159	269	444	477
3.10	0.70	2.05	0.80	-	0. -	0.27	0.37	0.45	255	207	444	514	601
3.20	0.58	1.76	0.64	0.187	0.054	0.005	Trace	0.48	223	311	477	486	529
3.22	0.53	2.02	0.66	0.114	0.067	0.02	1.21	0.52	241	355	469	486	460
3.21	0.60	2.24	0.67	0.114	0.071	0.50	0.06	0.52	235	208	487	520	512
3.36	0.61	1.96	0.74	0.158	0.070	0.35	0.52	0.47	235	370	477	480	465

현저히 改善한다.

따라서 燒入, 燒戻를 하는 鑄鐵에는 이들 特殊元素를 少量 添加하는 일이 많다.

이들 特殊元素의 添加量은 대략 Ni 0.4 ~ 0.6%, Cr 0.4 ~ 0.6%, Mo 0.2 ~ 0.4%의 範圍의 것이 많이 使用된다. 그림 19¹⁴⁾는 一般 灰鑄鐵과 合金鑄鐵의 燒入性을 比較 表示한다.

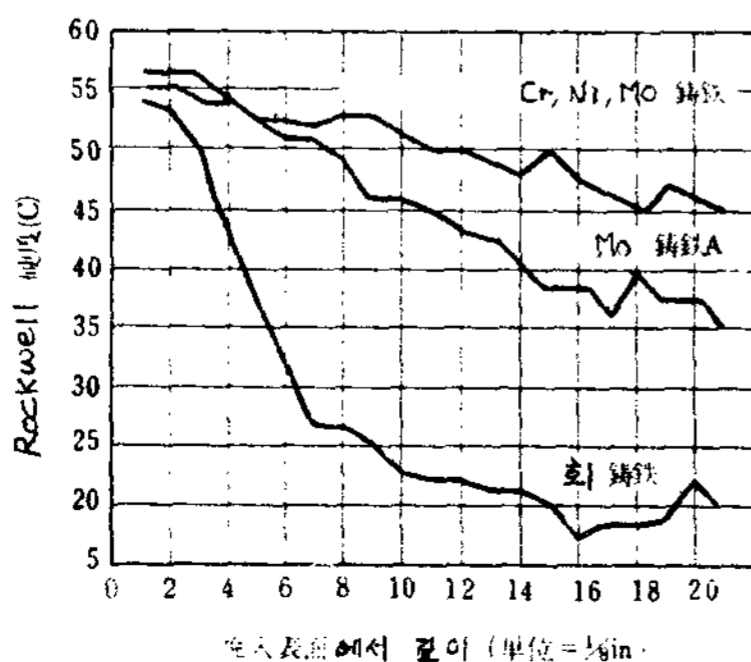
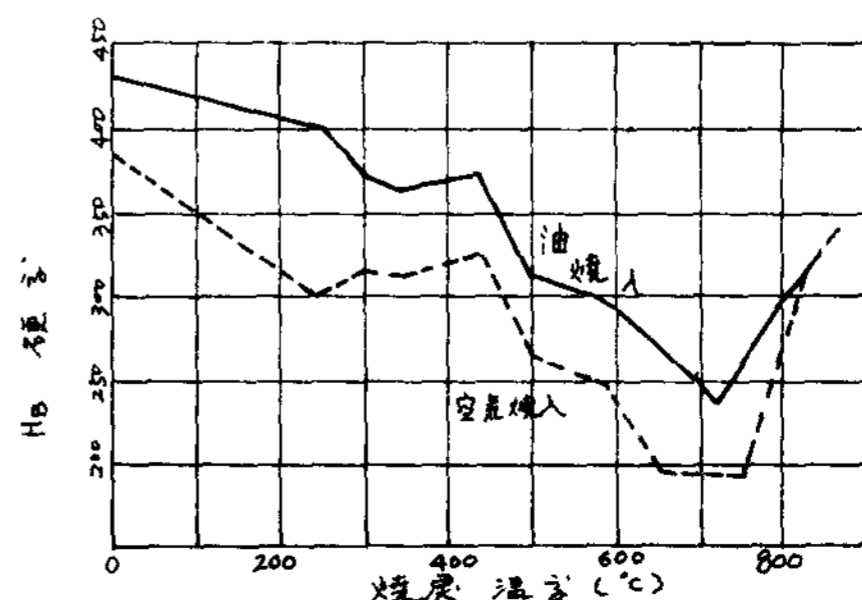


그림 19 普通鑄鐵과 合金鑄鐵의 燒入性比較
주물기술 Vol. 2, No. 2(1978)

또한 油燒入에서 너무 冷却이 급격히 일 어날 경우에는 空氣燒入을 한다.

그림 20¹⁵⁾은 全炭素 2.42%, Si 1.80%, Mn 1.11%, P 0.19%, Ni 3.32%의 鑄鐵의 油燒入과 空氣燒入에 의한 硬도를 表示한 것이다. 燒入은 通常荒削한後 grind 仕上을 하는 것에 對해서 實施하지만, 一般的으로 熱處理에서 膨脹이 일어나기 때문에 미리 許容差를 考慮해둘 必要가 있다.



< 그림 20 > Ni鑄鐵을 油燒入 및 空氣燒入했던 경우의 硬도에 미치는 燒戻 溫度의 영향 (M. Wahlert와 R. Hanel) -43-

2) 高温焼入

灰鑄鐵을 變態點 以上の 高温에서, 普通の 焼入, 焼戻한 경우와는 달리, 室温보다는 약간 높은 温度에 保持한 塩浴, 油槽 또는 合金浴中에서 하는 熱處理를 高温 焼入이라 한다.

이것은 bainite 組織을 얻기 위한 austempering 과 martensite 를 얻기 위한 martempering 이 있다. 이들의 高温 焼入은 一般的인 焼入과 같이 急히 高温에서 室温 또는 그 近處까지 急冷하지 않기 때문에 焼入歪도 극히 적게 생기고, 焼入時 생기는 割나 龜裂이 생기는 일이 드물다.

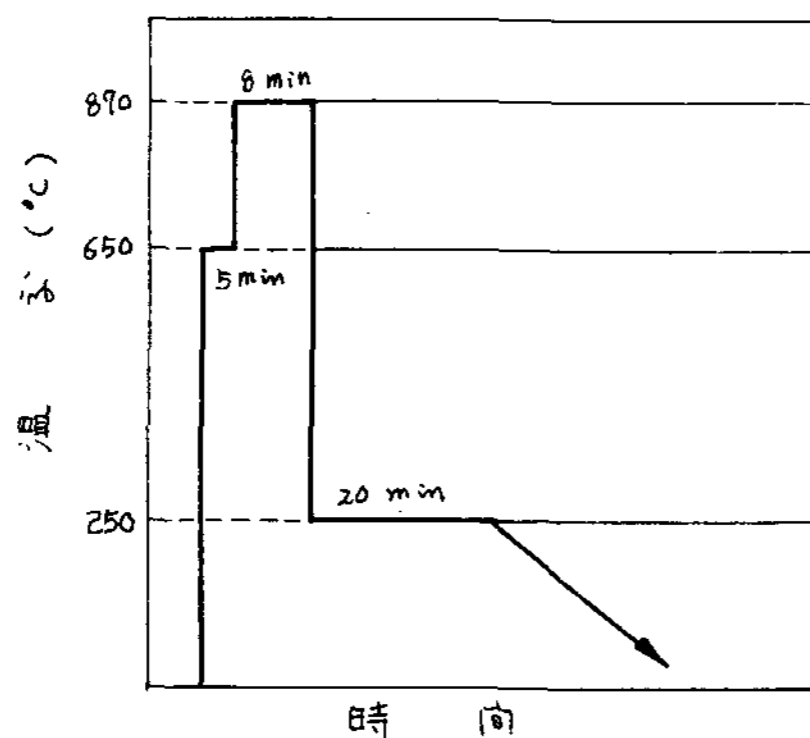
따라서 灰鑄鐵과 같이, 黒鉛片이 散在하고 熱傳導의 觀點에서 上記와 같이 欠陥이 쉽게 생기는 材質에는 특히 적당한 熱處理 方法이다.

焼入硬度는 普通鑄鐵을 810~920℃로 加熱해서 그 温度에서 230~450℃의 温度로 保持하는 浴中에 投入하므로 이루어진다.

따라서 浴의 種類, 保持温度, 保持時間에 의해서 鑄鐵의 硬度, 靱性 및 耐摩耗性이 改良된다.

① austempering

鑄鐵의 組織을 bainite 組織으로 만드는 目的에서 하는 高温 焼入 熱處理이다.



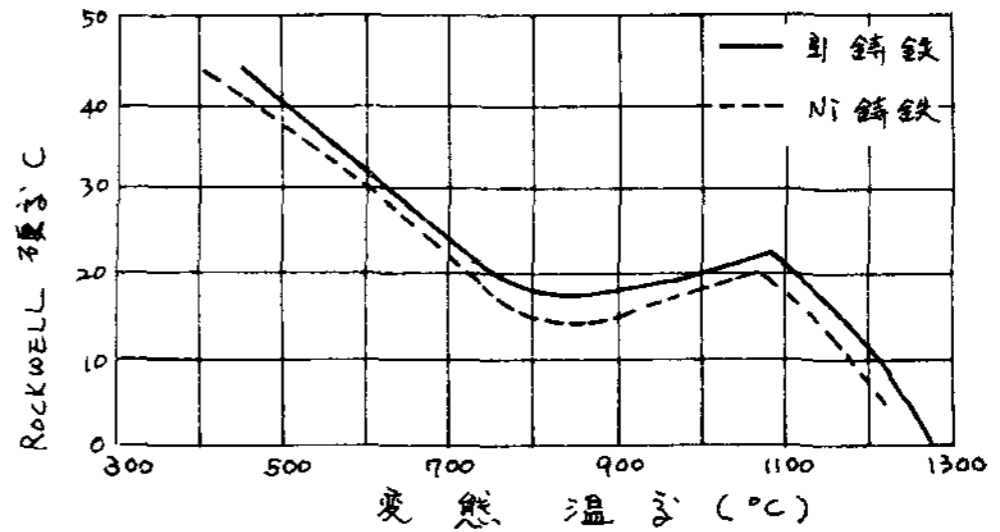
<그림 21> Austempering 熱處理 cycle 의 一例

Bainite 生成의 熱處理 cycle 의 一例를 그림 21에 表示한다.

austempering 의 焼入温度는 普通 焼入 温度와 같으며 780~900℃의 範圍이며, 또한 焼入 鑄鐵品의 두께에 對하여 1cm 当

7~8分 程度 保持 한다.

焼入浴의 温度는 灰鑄鐵의 合金元素의 含有量과 원하는 機械的 性質에 의해서 다르다. 그림 22는 充分히 變態를 한 後의 焼入 Rockwell 硬度 C와 焼入浴 温度와의 關係를 表示한 것이다.

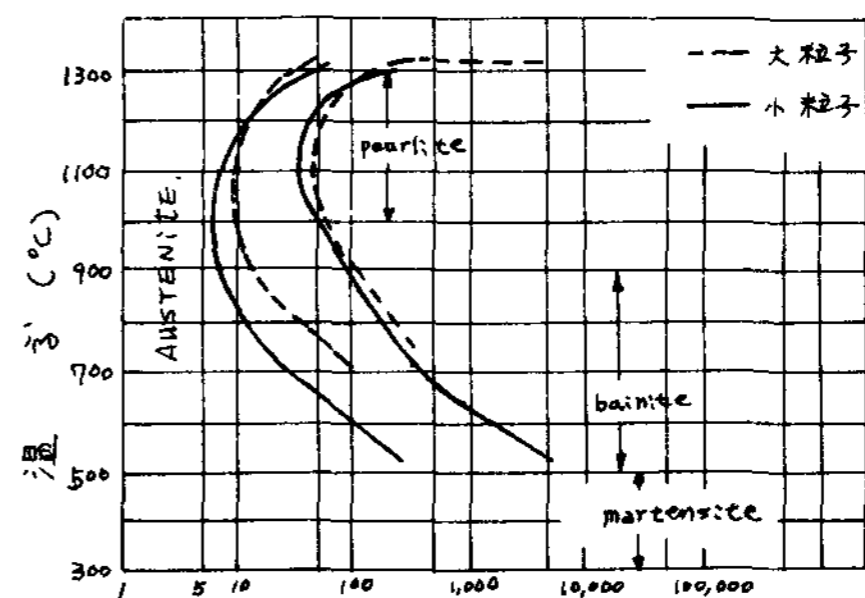


<그림 22> austempering에 있어서 焼入硬度와 焼入浴温度와의 關係

Austempering 處理에서, 灰鑄鐵은 普通の 경우 230~450℃에 焼入하지만, 耐摩耗性을 向上시키기 위해 硬度를 특히 上昇시킬 必要가 있을때는, 이 温度 範圍보다 조금낮은 230~300℃에 保持하는 焼入浴에서 焼入한다.

焼入浴에서 保持時間은 灰鑄鐵의 化学成分이나 焼入浴의 温度에 의해서 決定된다.

그림 23은 炭素 3.75%, 珪素 2.90%, Mn 0.55%, P 0.40%, S 0.065%의 成分을 含有한 灰鑄鐵의 高温 焼入 變態曲線을 表示한 것이다.



<그림 23> 高温 焼入의 變態曲線

Austempering에 있어서 化学成分의 影響이 매우 크며, Ni, Cr 및 Mo 등의 경우 變態時間이 길게 된다.

Austenite 結晶粒이 크면 變態開始의 時間이 늦어지는 傾向이 있다. 普通の 경우

는 이 影響이 현저하지는 않는다.

Austempering는 實際의 경우 다음과 같이 하고 있다. 먼저 燒入하고자 하는 鑄物의 目的하는 硬度에 의해 그림 20에서 燒入浴의 大략적인 溫度를 決定한다. 다음으로 實際 燒入浴에 燒入을 해보고, 燒入後의 保持時間을 여러가지로 變化시켜서 目的하는 硬度를 얻기 위한 最短時間을 決定한다.

이때 合金鑄鐵에서는 變態時間이 比較的 길며, 또 燒入 또 鑄物의 形狀, 寸수 등에 의해서 austempering이 困難한 경우가 있다.

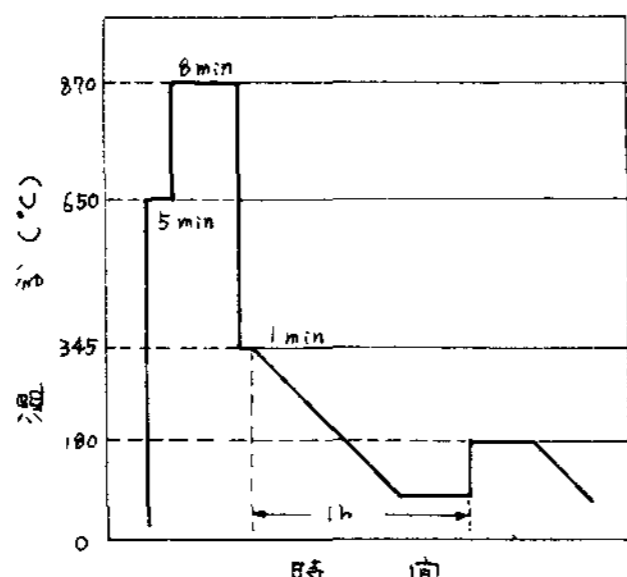
즉 如何히 冷却을 속히해도 두께가 상당히 크면 鑄物溫度가 燒入溫度에서 燒入浴의 溫度에 도달하는 동안 變態가 조금씩 進行되어 버리기 때문이다.

② martempering

灰鑄鐵에 普通燒入을 하면 燒入歪이 생기게 하며 燒入割을 수반하는 일이 많다. 그러나 martempering은 高溫度 燒入에 의해서 martensite를 生成할 때 応力을 현저히 저하시키기 위해서 하는 熱處理이며 目的하는 最終組織은 martensite이지만, 脆化를 防止하기 위해서 martempering을 하므로 硬度를 적당히 내려놓는 것이다.

그림 24는 martempering의 熱處理 cycle의 一例를 表示한다.

Martempering處理에 있어서는 austempering의 경우와 같이 變態範圍以上の 溫度에서 鹽浴, 油槽 或은 鉛浴中에 燒入하는 한편, martensite의 生成溫度 範圍 바로 위의 溫度 즉 205 ~ 260℃에 그 狀態로 保持하며 鑄物의 溫度가 燒入浴의 溫度에 도달하도록 끌어 올려야 하며, 그 후 바로 室溫까지 冷却한다.



<그림 24> Martempering의 熱處理 Cycle의 一例
주물기술 Vol. 2, No. 2(1978)

이 때 完全히 martensite組織으로 하기 위해서는 燒入浴中에 잠깐 保持해 준다.

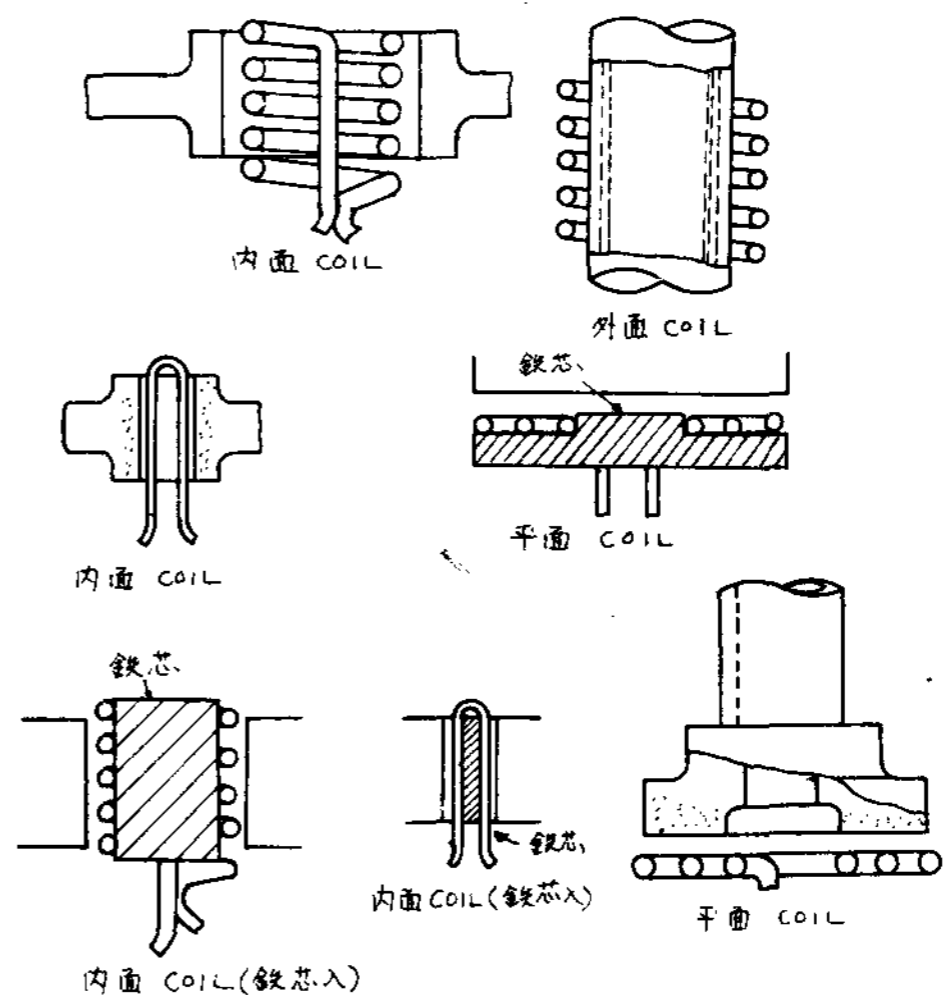
3) Surface Hardening

鑄鐵品의 耐摩耗性이 要求되는 곳에만 燒入을 하는 方法이며, 組織적으로 表面은 黑鉛과 martensite로 또 硬하고 脆弱한 組織이며, 内部는 pearlite와 黑鉛으로 이루어진 一般 鑄鐵組織이다.

熱處理 方法에 있어서는 燒入溫度保持時間을 充分히 길게 잡는것이 困難하며, matrix가 ferrite인 경우는 austenite로 炭素 擴散固溶이 不充分해서 燒入되기가 困難하며, 充分한 燒入 效果를 얻기 위해서는, 鑄鐵의 matrix組織을 pearlite로 하는것이 바람직하다.

燒入을 위한 熱源은 酸素 acetylene 加熱 或은, 高周波 誘導加熱이 利用되고 있다.

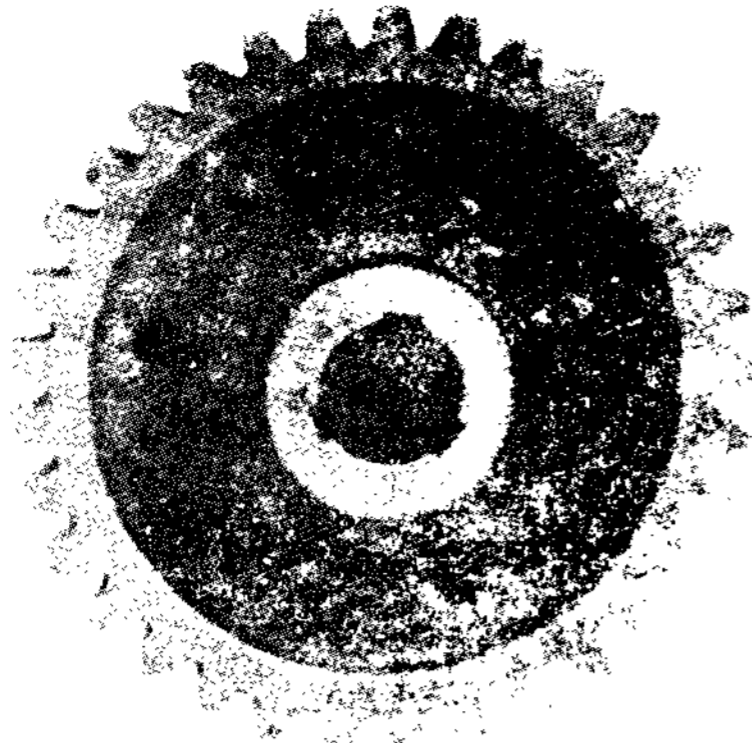
高周波의 경우에는 그림 25¹⁶⁾에 表示한 바와 같이 處理할 鑄物의 形狀에 따라서 專門的인 coil을 만들어 使用해야 한다.



<그림 25> 高周波誘導燒入時의 加熱 Coil例 (鋼의 熱處理)

Surface hardening은 齒車, cam, 旋盤의 bed 등에 使用되는 일이 많고, 사진 4에 齒部에 表面 燒入을 한 齒車와, 顯微鏡組織 사진을 사진 5에 表示한다.

Diesel engine의 cylinder를 820℃水中에서 하고 300℃에 燒戻한 것의 運轉結果를 表 6¹⁷⁾에 表示한다.



<사진 4> 齒部 表面焼入을 한 齒車



<사진 5> 齒車 焼入部の 組織写真 (5% 硝酸 알콜 腐蝕)

100

<表 6> Cylinder 의 焼入品의 使用結果

陸用 Diesel	摩耗側方向	摩耗量 깊이 (mm)		
		第1回 800h 運轉	第2回 800h 運轉	計 1,600h 運轉
第1 Cylinder (焼入하기 前)	Crank 軸直角方向	0.36	0.06	0.42
	Crank 軸方向	0.16	0.05	0.21
第2 Cylinder (焼入·焼戻한後)	Crank 軸直角方向	0.15	0.02	0.17
	Crank 軸方向	0.12	0.02	0.14

5. 結 言

지금까지 灰鑄鐵의 熱處理 種類와 方法에 對해서 기술하였다.

또한 이들 灰鑄鐵의 熱處理에 있어서, 特히 주의해야할 事項들을 列挙하면 다음과 같다.

① 龜裂防止

加熱, 冷却速度를 될 수 있는한 서서히 하며 鑄物各部分이 均一히 昇溫, 冷却해야 한다.

② 機械的 性質의 變化

強度的으로 重要한 鑄物의 熱處理에 있어서는 matrix組織이 ferrite化 하지 않는 熱處理 條件으로 하는 것이 必要하다.

③ 變形防止

加熱溫度의 過剩 上昇, 不均一 加熱, 充填方法 不良등이 原因이 되므로 充分히 注意해야 한다.

④ 成 長

遊離 cementite, 或은 共析 cementite의 黑鉛化가 原因이 되어 길이가 긴 物件에 對해서는 問題가 된다.

灰鑄鐵의 熱處理에 있어서는 鑄物에 要求된 性質을 考慮한 후, 鑄物의 化學成分 및 形狀에 따라서 熱處理 條件을 決定하는 것이 가장 重要하다.

이상과 같이 灰鑄鐵의 熱處理에 對해서 기술하였으나 부족한 점이 많을 줄 믿으나 다소나마 도움이 되기를 바라는 마음 간절하다.

參考文獻

- 1) 石川登喜治: 鑄造學, 上卷(1948), 16.
- 2) J.H. Schaum: Tr. of A.F.S 56 (1947) 177.
- 3) H. Poetter: Grauguss(1954) 310, VEB Verldg Tech.
- 4) Metals Handbook Vol. 2 Heattreatment of Cast Iron
- 5) C.O. Bourges: Cast Metals Handbook(1957) 146.
- 6) M.M. Hallett and P.D. Wing: Foundry. Tr.J., 11 (1949)

- 7) Metals Handbook, Vol.2 Heattreatment of Cast Iron
 - 8) G. Atimmons : Foundry 69, OCT (1941) 64, NOV (1941)
 - 9) A.W. Sylvesteter : Tr. of A.F.S 57(1949) 51
 - 10) J.W. Donaldson : Foundry Tr. J. 91 Aug.(21951) 117
 - 11) 鑄鐵의 性質과 加工 (日本鉄鋼協會編)
 - 12) Metals Handbook, Vol.2 Heattreatment of cast Iron
 - 13) Metals Handbook, Vol. 2 Heattreatment of Cast Iron
 - 14) G.A. Timmons : Tr. of A.F.A.47 (1939) 413
 - 15) H. Kiling, Jr. : Tr. of A.F.A.42 (1934) 129
 - 16) 日本鉄鋼協會 : 鋼의 熱處理 (1957) 104
 - 17) 清水二良 : 日本鑄物協會 研究委員會 (1951)
-