

鑄鐵의 熱處理條件에 의한 組織 및 機械的 性質에 관한 研究(1)

金泓範* 崔昌鈺**

Influence of Heat Treatment on the Structures and Mechanical Properties of Cast Irons.

Chang Ock CHOI** Hong Beom KIM*
College of Engineering, Dong-A University
Busan, Korea.

ABSTRACT

This study has been carried out to determine the change of mechanical properties and microstructures by the heat treatment to relieve the residual stresses for gray cast irons.

The results have been obtained from the experiment as follows;

- 1) The annealing above 600 C for the stress relieving of gray cast iron decrease the tensile strength and hardness
- 2) The decrease rates of tensile strength and hardness of gray cast iron after annealing above 600 C are increased with increasing the holding time.
- 3) The gray cast iron containing the elements of Mn, Cr has increased the heating temperature for the decrease of tensile strength and hardness.
- 4) The decrease of mechanical properties by annealing are assumed that the formation of ferrite takes place from the decomposition of eutectoid cementite in the matrix.

I. 序 論

鑄鐵은 使用目的에 따라서 熱處理를 實施하고 있는 바, 이는 鑄造應力除去熱處理, 白銹化된 部分이나 硬化된 部分의 軟化熱處理 및 硬度和 強度

를 增加시키고 耐摩耗성을 주기 위한 熱處理 等으로 大別하고 있다. 1)~7), 25)~26)

一般的으로 灰鑄鐵은 熔融金屬으로 鑄型에 鑄込된 後 常溫으로 冷却되는 동안 約 1%程度 收縮을 하게 된다. 따라서 鑄鐵品은 形狀이 複雜하며

** 東亞大學校 工科大學 教授

* 釜山工業高等學校 教師

두께차가 있는 것이 많아 냉각속도가 서로 다르기 때문에凝固時에鑄物内部에殘留應力이發生하기 쉽게 된다. 또한鑄物의形狀과鑄型材料 및鑄型製造法에 따라서鑄型의收縮率과鑄物의收縮率 사이에差異가 나타나게 되므로鑄物이自由로收縮할 수 없어鑄物内部에殘留應力이 생긴다.

이러한鑄造應力은引張과壓縮이平衡을 이루고 있어 칫수적으로安定된狀態를 이루고 있는 것처럼 보이지만切削加工하면 뒤틀리거나 시간이經過함에 따라 칫수적으로誤差가 생기게 된다.

따라서工作機械와 같이高精密度를要求하는製品에는鑄造應力을除去하여 뒤틀림의量을 적게 할 필요가 있다.

鑄鐵品의鑄造應力을除去하기 위한方法으로서 seasoning 과 같이常溫에서數個月放置하면内部應力除去比率이最高 10%程度가 되지만^{1), 8)} 高溫加熱에 의한内部應力除去方法은常溫에서數個月放置한 것 보다 우수한 것으로 530 ~ 570°C에서 75 ~ 85%의應力이除去되는 것으로發表되었다.^{2), 3), 7), 25)}

그러므로灰鑄鐵品의鑄造應力을除去하기 위한熱處理는通常 500 ~ 600°C에서 몇時間동안加熱하여實施하고 있는 것으로應力除去에影響을 미치는因子는鑄物의두께, 形狀·外에加熱溫度와一定溫度에서保持하는時間의 두 가지로 되어 있다.^{1)~11)} 한편鑄鐵은熱處理過程에서 Pearlite 中の共析 Cementite가分解하기 쉬운 것^{12)~25)} 으로 알려지고 있으므로實際灰鑄鐵品의鑄造應力除去를 위한熱處理는機械的性質이나組織의變化가 없는溫度 및時間範圍에서 실시함이 필요하다. 따라서本研究에서는灰鑄鐵品의鑄造應力을除去하기 위한熱處理條件에 있어서機械的性質 및組織의變化를檢討하고자 하였다.

II. 實驗方法

1. 使用材料

本實驗에使用한材料는KS D 4301에規定한GC20, GC30과GC20에Fe-Cr으로0.3%의Cr을接種한3種의灰鑄鐵品으로서, 이들材料의化學成分의分析結果는Table 1과 같다.

Table 1. Chemical composition of specimen

(unit : wt %)

specimen	C	Si	Mn	P	S	Cr	CE
GC 20	3.46	2.61	0.74	0.10	0.06	-	4.35
GC 30	3.01	2.56	1.29	0.05	0.07	-	3.89
GC 20 + 0.3% Cr	3.43	1.63	0.93	0.06	0.06	0.23	3.99

2. 實驗方法

使用한材料의製造는鑄造工場에서 실제 사용하는熔銑爐(容量: 0.5 t/hr)로熔解하여平均鑄込溫度 1,350°C에서生型으로 만든試驗片用鑄型에下注法으로鑄込하였다. 熔融金屬은鑄込前에目的의材質로 만들기 위하여Fe-Si系接種劑로接種하였으며 또한Chill試驗 및CE meter로爐前試驗을 하였다. 鑄放試驗片의크기는, KS D 4301의直徑 30 mm로 길이는 300 mm인灰鑄鐵品의標準試驗片 칫수로鑄造하였다.

주조 Vol.2, No.2(1982)

熱處理는 W 200 mm × L 350 mm × H 200 mm의 크기를 가진電氣muffle 爐(東光社製)를 사용하여熱處理條件에 따라鑄放狀態의試驗片을裝入하여大氣中에서實施하였다. 熱處理條件으로서加熱은 100°C/hr로 하고冷却은 40°C/hr로常溫까지爐冷하였으며, 加熱溫度는 450°C에서 650°C까지 50°C간격으로 하여各溫度別維持時間을 1時間에서 3時間까지 30分간격으로 하였다. 또한GC20에0.3% Cr을接種한材料에 대하여 700°C까지를加熱溫度로 하였다.

熱處理를 完了한 材料는 KS B 0801의 規定에 따라 引張試驗片을 加工하여 萬能材料試驗機(日本 Shimazu RH-50)를 使用하여 $3\text{ kg/mm}^2/\text{sec}$ 의 速度로 引張試驗 하였으며, 또한 Rockwell 硬度機의 B scale을 使用하여 内部 및 外部의 硬度를 各各 3回 測定하여 平均하였다. 한편 熱處理條件에 의한 組織의 變化를 검토하기 위하여 2% Nital로 etching하여 光学顯微鏡(Olimpus社製)으로 組織檢査 하였다.

III. 實驗結果 및 考察

1. 熱處理 溫度에 의한 機械的 性質의 變化

Fig 1에서 Fig 5까지는 灰鑄鐵의 加熱溫度에 따른 引張強度 및 硬度의 測定結果를 維持時間別로 나타내었다. Fig 1는 維持期間 1時間 Fig 2는 1.5時間, Fig 3은 2時間, Fig 4은 2.5時間 및 Fig 5은 3時間인 경우이다.

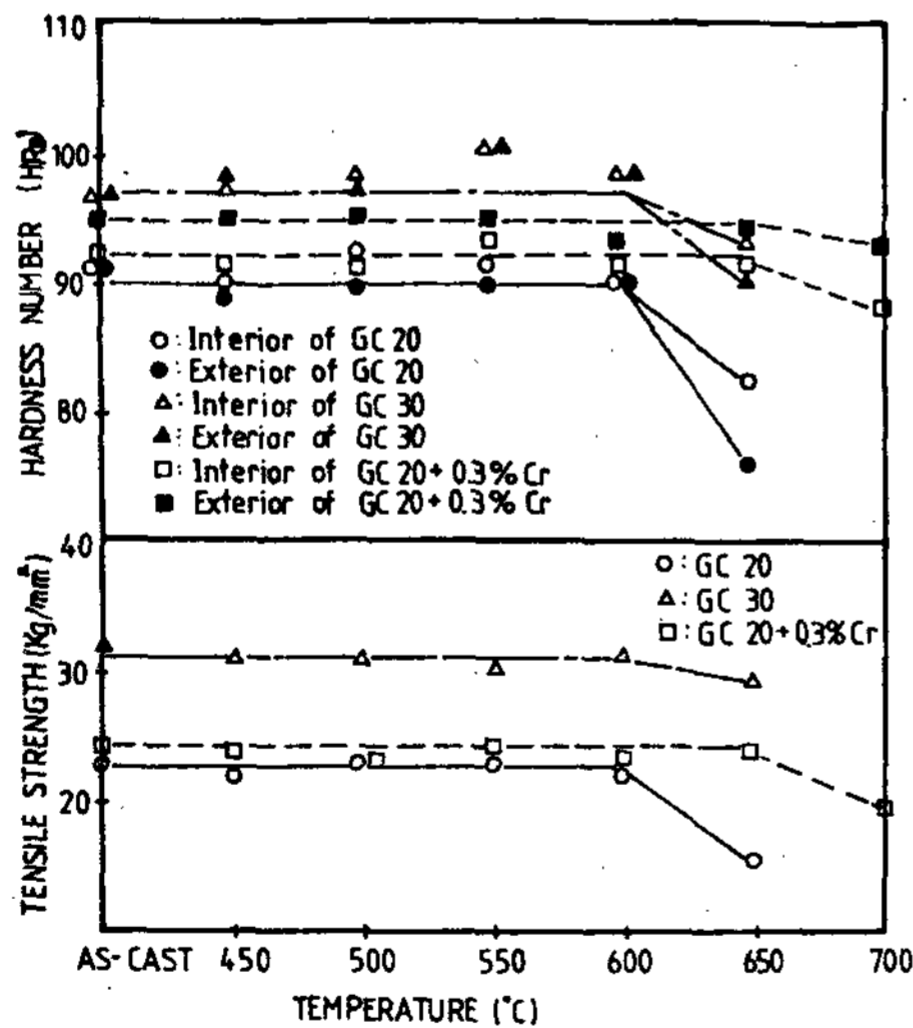


Fig.1 Effect of annealing temperature on mechanical properties of gray cast irons(holding 1 hour)

熱處理溫度에 의한 引張強度의 變化를 검토하면 GC 20의 材料인 경우 加熱溫度가 550°C까지는 維持時間의 경과에 따라 變化하지 않았으나 550°C以上の 溫度에서는 維持時間이 2時間

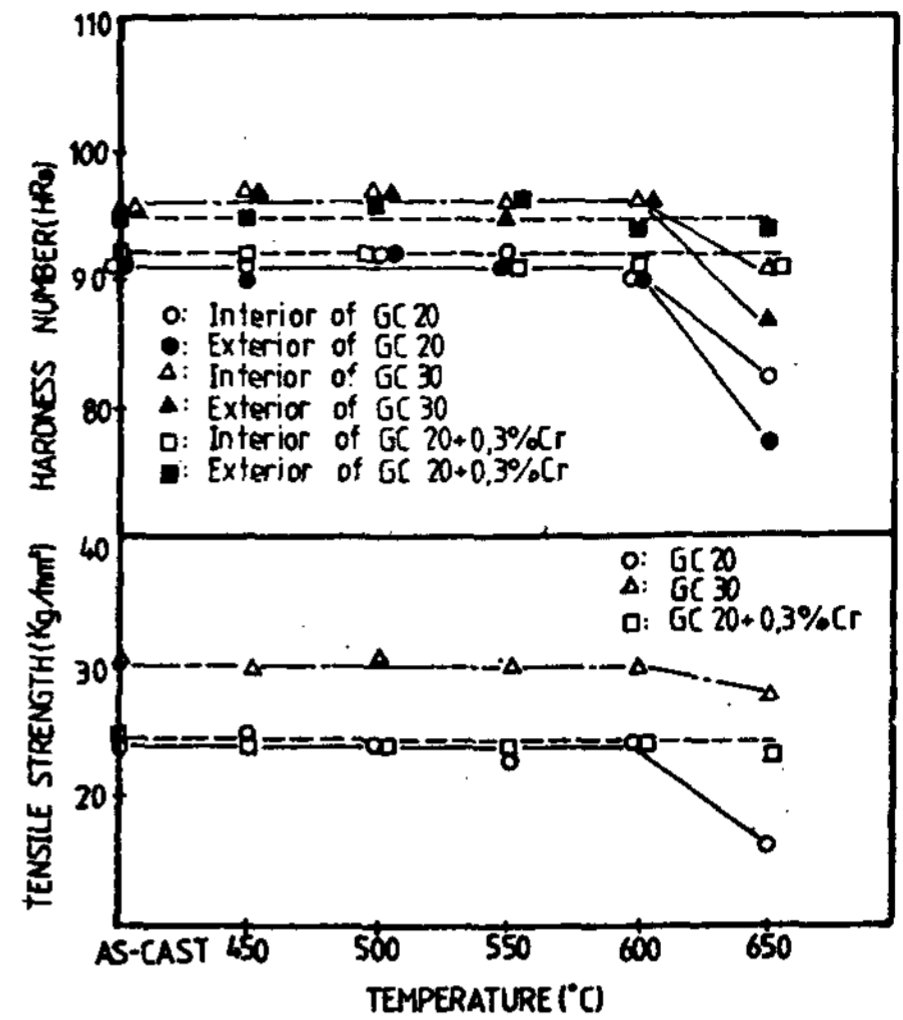


Fig.2 Effect of annealing temperature on mechanical properties of gray cast irons(holding 1.5 hours)

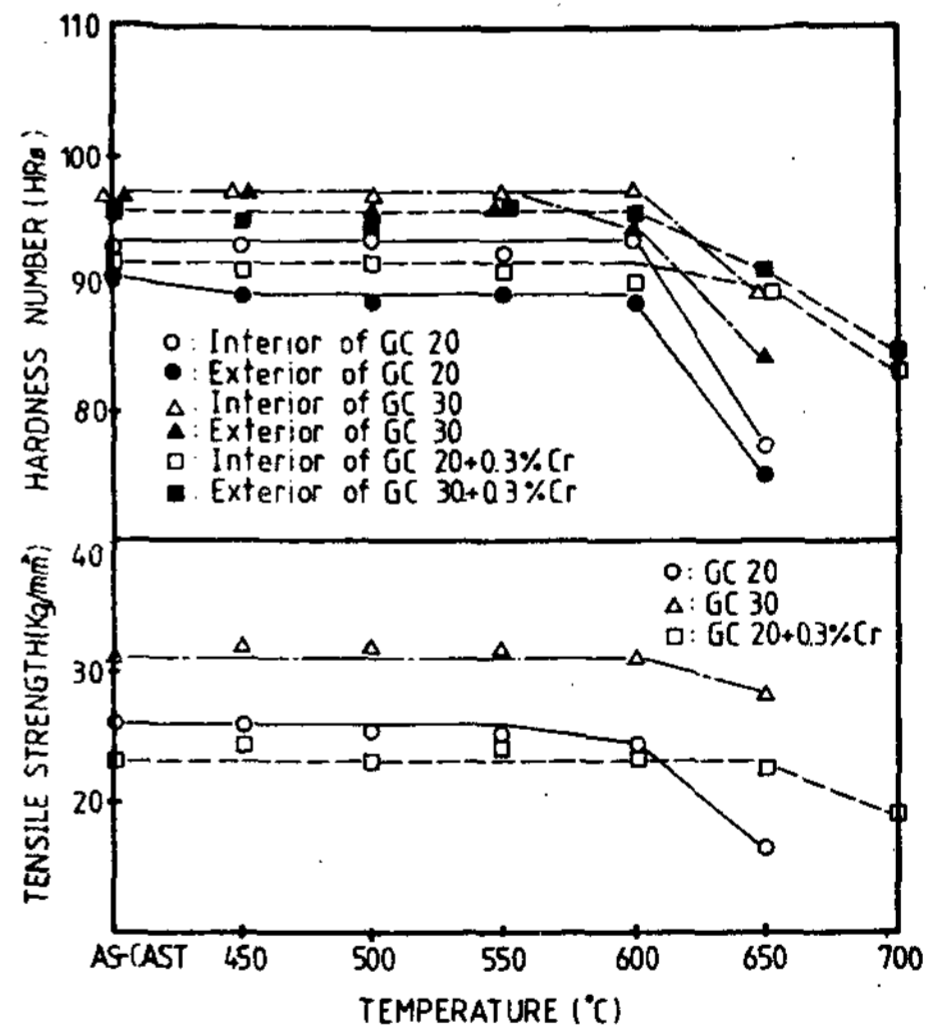


Fig.3 Effect of annealing temperature on mechanical properties of gray cast irons(holding 2 hours).

以上부터는 점차 低下하기 시작하였으며 600°C以上の 溫度에서는 維持時間 1時間으로 低下함을 나타내었다.

GC 30의 경우는 加熱溫度가 550°C까지는 維
주조 Vol.2, No.2(1982)

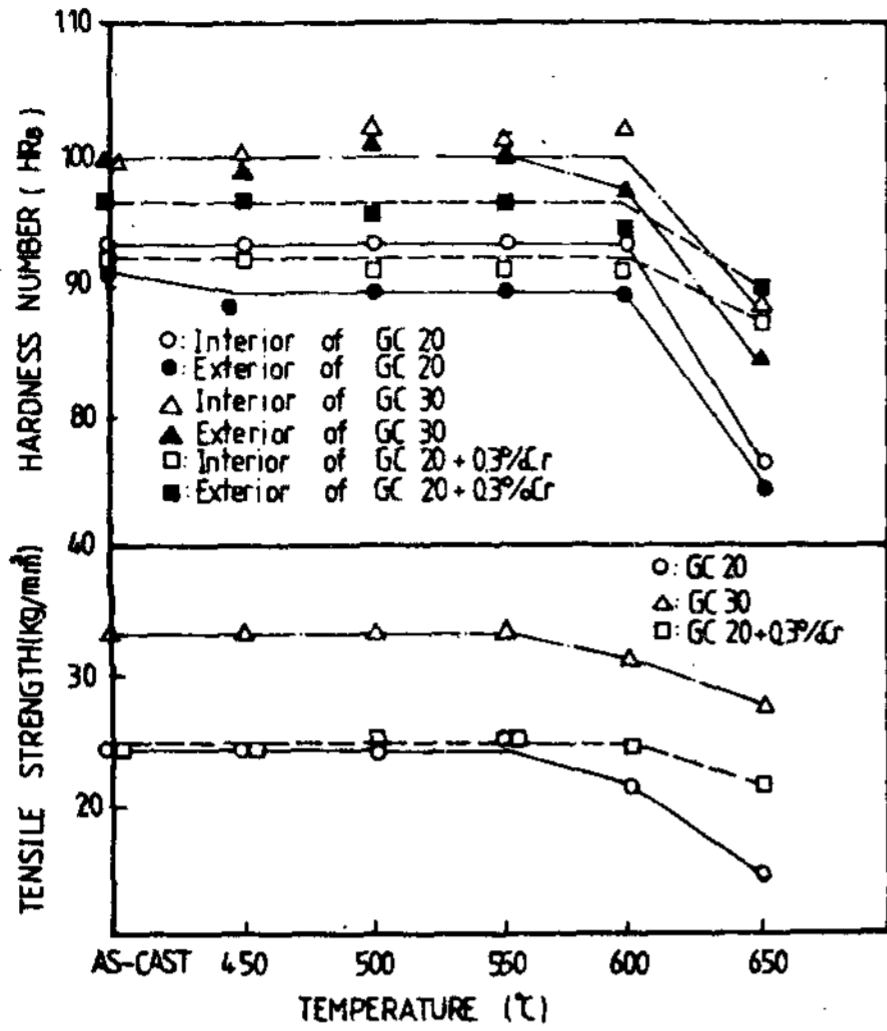


Fig. 4 Effect of annealing temperature on mechanical properties of gray cast irons (holding 2.5 hours)

持 시간이 經過하여도 引張強度는 低下하지 않았으나 이보다 높은 溫度인 600℃에서는 維持 시간이 2.5 시간이 되면 다소 低下하여 650℃에서는 1 시간부터 점차 低下하기 시작하였다.

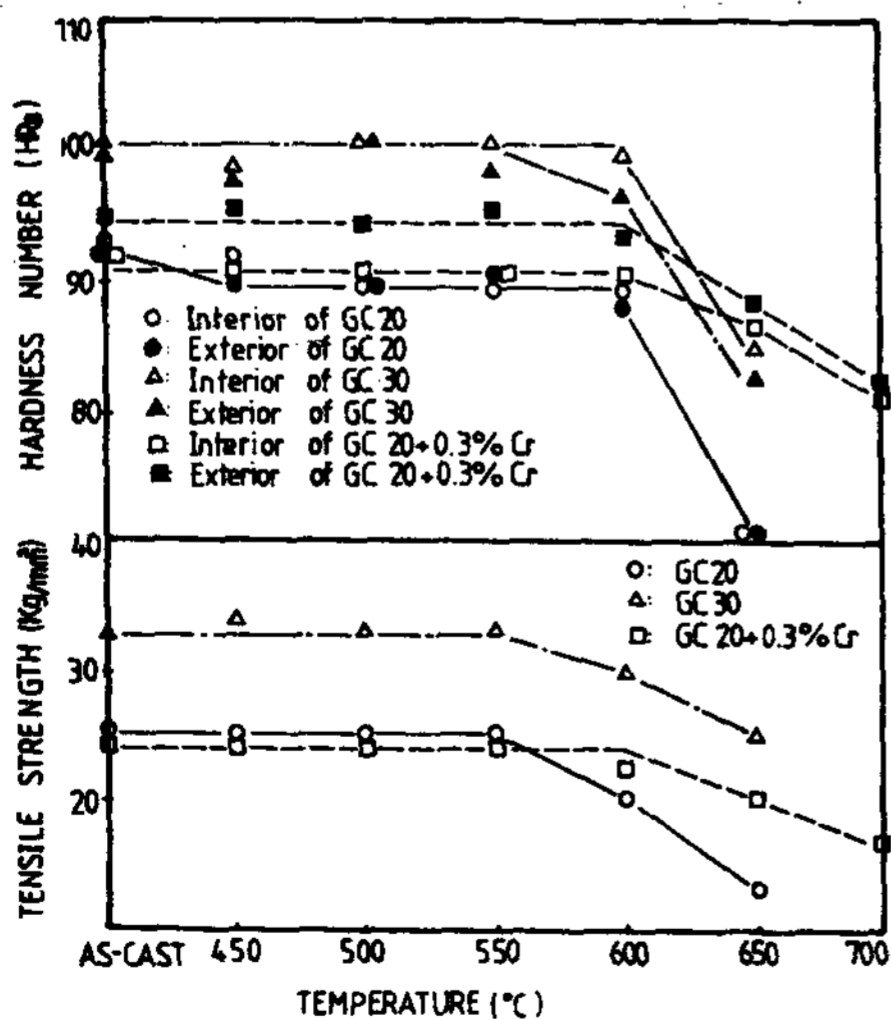


Fig. 5 Effect of annealing temperature on mechanical properties of gray cast irons (holding 3 hours)

한편 GC 20에 0.3% Cr을 接種한 材料에 대하여는 600℃까지는 維持時間의 經과에 따라 變化하지 않았으나 650℃에서는 維持 시간이 2.5 시간이 되면 다소 低下하였고 加熱溫度 700℃에서는 維持 시간이 1 시간에서도 低下함을 나타내었다.

따라서 C 및 Si의 含有量이 많고 Mn이 적은 材料인 GC 20과 같은 경우 引張強度가 低下하는 溫度는 C 및 Si의 含有量이 적고 Mn이 많은 材料인 GC 30보다 낮은 값을 보였다.

그러므로 灰鑄鐵의 材質에 따라 熱處理로 인한 引張強度의 低下는 材料의 化學成分에 關聯하는 것으로 加熱溫度 및 維持時間에 따라 다소 差異가 있음을 알 수 있었다. 이는 熱處理로 인한 組織의 變化로 생각된다.

GC 20의 경우, 硬度的 測定結果는 加熱溫度 550℃까지는 維持時間에 따라 거의 變化하지 않았으나 加熱溫度 600℃에서, 維持 시간이 2 시간 이상이 되면 加熱溫度에 따라 外部의 硬度가 低下하여 3 시간이 經過하면 内外部硬度가 모두 低下한 傾向을 나타내었다. 그러나 維持 시간이 經過함에 따라 内外部の 硬度差는 거의 나타나지 않았다.

GC 30의 경우도 GC 20과 비슷한 傾向을 나타내는 것으로, 内外部の 硬度變化는 加熱溫度 550℃까지는 維持時間에 따라 거의 變化하지 않았으나 600℃의 溫度에서는 維持 시간이 2 시간이 되면 外部硬度가 低下하고 650℃에서는 維持 시간이 1 시간으로도 低下하여 外部가 内部보다 다소 크게 低下하지만 維持 시간이 經過함에 따라 内外部の 硬度差가 거의 없이 同一하게 低下하였다.

GC 20 + 0.3% Cr의 硬度는 鑄放狀態에서는 外部가 内部보다 다소 높은 것으로, 600℃까지는 維持時間의 經과에 따라 低下하지 않았으나 650℃에서는 維持 시간이 2.5 시간이 되면 内外部 硬度가 低下하여 700℃에서는 維持時間 1 시간으로서 低下하는 傾向을 보였다.

GC 20 및 GC 30과 같이 鑄放狀態에서 内外部の 硬度에 있어서 差異가 없는 것은 鑄込時 Fe-Si 接種에 의하여 質量效果가 감소하였으며,

熱處理에 의하여 初期 外部의 硬度가 낮은 값을 나타내는 것은 時間의 經過로 外部組織의 變化에 의한 것으로 생각된다.

2. 熱處理 時間에 의한 機械的 性質의 變化

Fig 6는 加熱溫度를 550 ~ 700 C에서 維持時間의 經過에 따라 低下된 鑄鐵試驗片의 引張強度를 鑄放狀態의 引張 強度와 비교하여 나타내었다.

加熱溫度를 550 C로 한 경우, 維持時間이 經過하여도 灰鑄鐵의 引張強度는 低下하지 않았으나 加熱溫度가 600 C일 때 GC 20의 引張強度는 維持期間 1.5 時間後부터 점차 低下하여 3 時間 維持시키면 약 20 % 정도 低下하였다. 또한 GC 30의 경우는 維持時間 2 時間 以上에서 서서히 低下하였다. 그러나 GC 20 + 0.3 % Cr의 경우는 維持時間에 따라 引張強度가 低下하지 않음을 나타내었다.

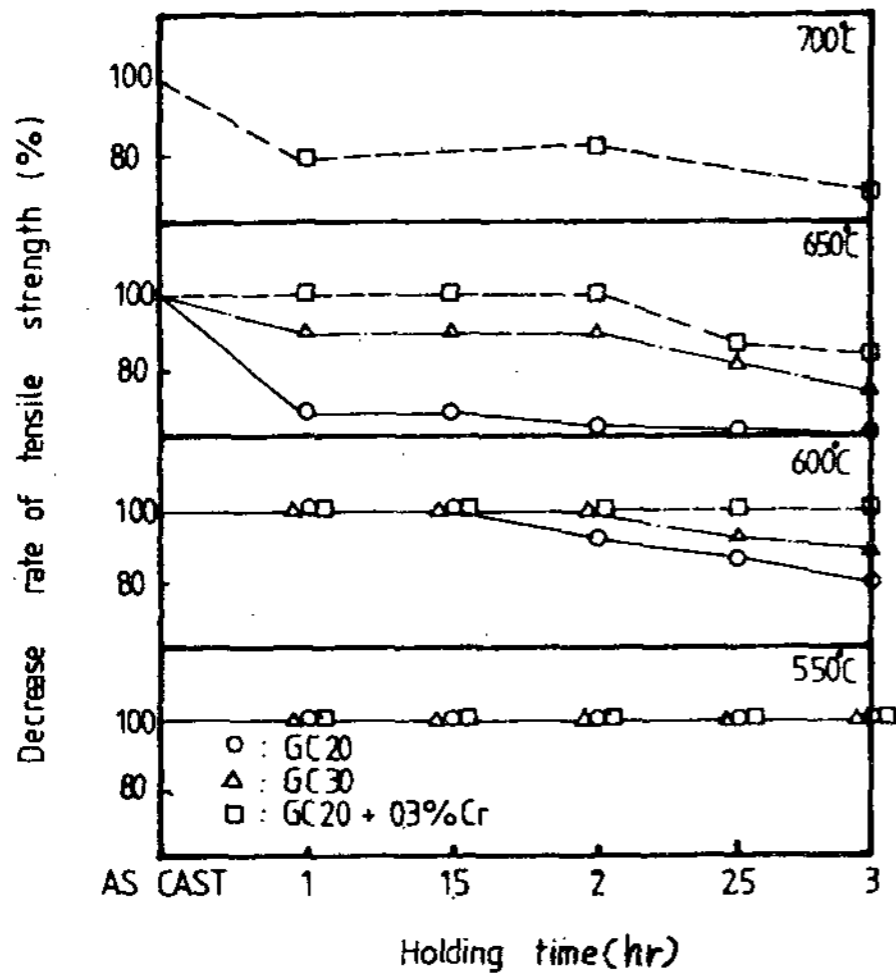


Fig.6 Effect of holding time on tensile strength of gray cast irons at various annealing temperature

加熱溫度 650 C에서, GC 20의 引張強度 變化는 維持時間 1 時間부터 약 35 % 정도로 低下하였으며 3 時間인 경우 약 45 %까지 低下하여 GC 15 程度에 불과하였다. 또한 加熱溫度 650 C에서 加熱한 GC 30의 경우, 維持時間 1 時間부터 2 時間까지 9 % 程度로 低下하였으며 2.5 時間에서는

18 %, 3 時間에서는 24 % 程度 低下하여 GC 20과 같은 引張強度값을 나타내었다. 그러나 GC 20 + 0.3 % Cr의 試驗片은 維持時間 2.5 時間부터 低下하기 시작하여 3 時間에서는 17%의 低下를 나타내었다.

한편 加熱溫度 700 C에서, GC 20 + 0.3%Cr의 試驗片 維持時間 1 時間부터 低下하여 3 時間까지는 平均 24 % 程度로 低下함을 나타내었다.

또한 Fig 7은 加熱溫度를 550 ~ 700 C에서 維持時間의 經過에 따라 試驗片의 外部硬度的 低下량을 鑄放狀態의 硬도를 基準으로 나타내었다.

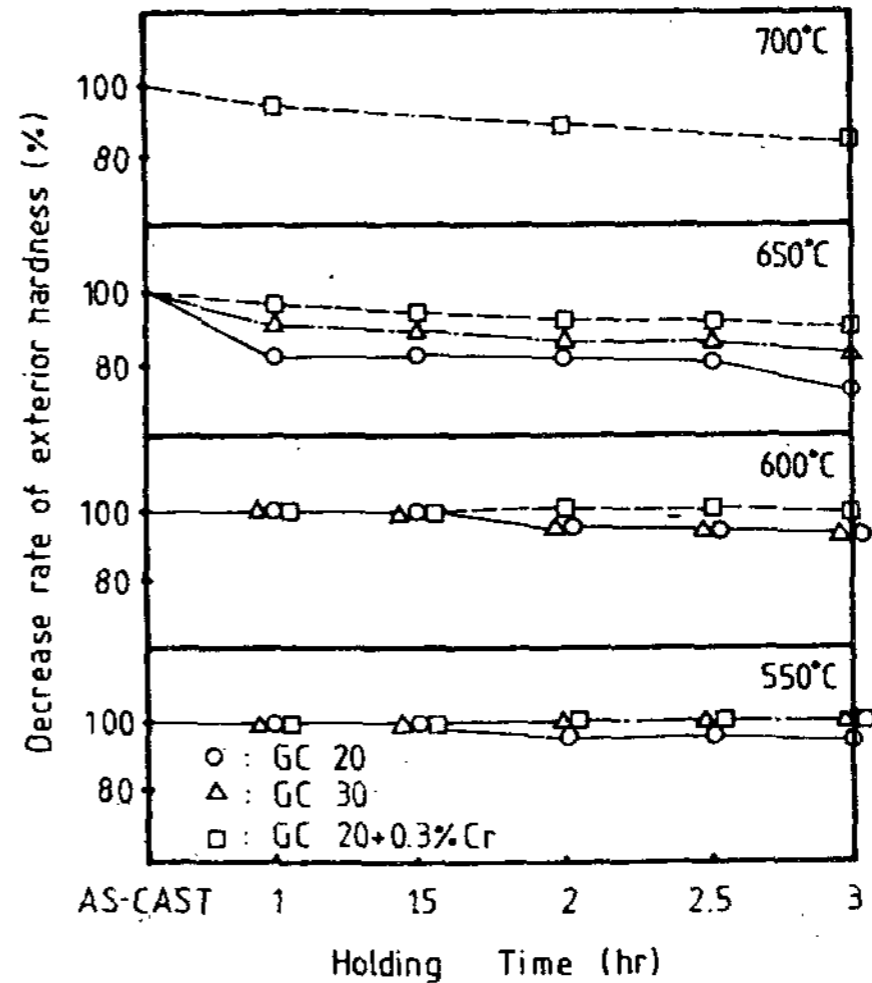


Fig.7 Effect of holding time on hardness of gray cast irons at various annealing temperature.

加熱溫度 550 C에서, 試驗片의 硬도는 維持時間이 經過함에 따라 거의 低下하지 않았으나 GC 20의 경우는 2 時間부터 2 % 程度 극히 작은량으로 低下하고 있었다.

加熱溫度 600 C에서, GC 20 및 GC 30의 硬도는 維持時間 2 時間부터 3 ~ 4 % 程度 低下하지만 GC 20 + 0.3 % Cr은 維持時間에 따라 低下하지 않는 것을 볼 수 있었다.

650 C에서, GC 20의 硬도는 維持時間 1 時間부터 2 時間까지 平均 16 % 程度로 低下하고 2.5 時間이 되면 19 %, 3 時間이 되면 24 % 程度로 低

下하였다. GC 30의 硬度는 維持時間 1時間에서 7%程度 低下하였고 2時間이 되면 13%, 3時間이 되면 18%程度로 低下하였다. GC 20+0.3% Cr의 硬度는 維持時間의 經過에 따른 低下量도 적어 3時間 동안 熱處理한 경우, 6%程度 低下하였다.

加熱溫度 700℃에서 GC 20+0.3% Cr의 硬度는 維持時間 1時間에서는 2%, 2時間에서는 7%, 3時間에서는 9%程度로 低下함을 나타내었다.

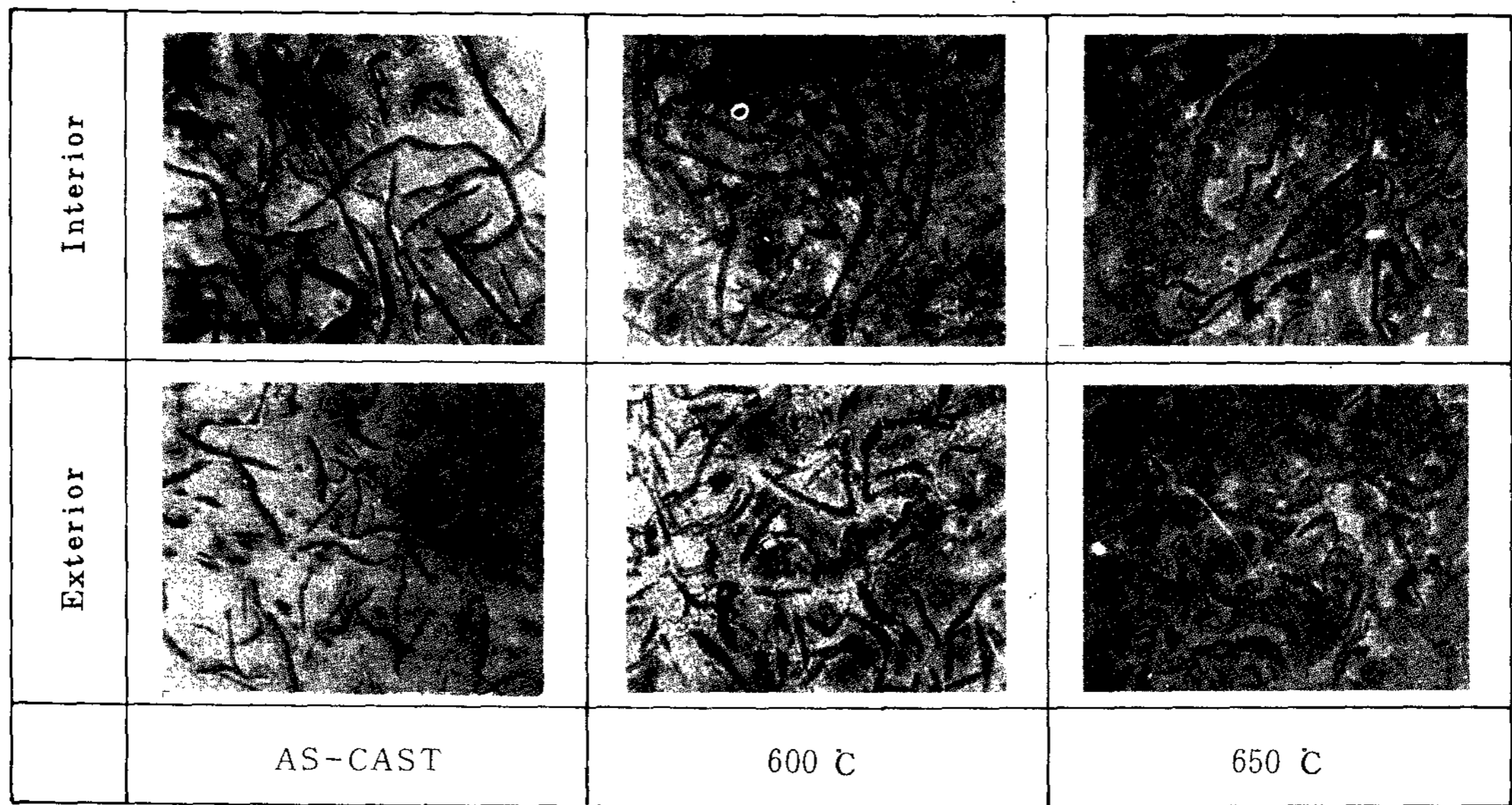
따라서, 加熱溫度가 600℃以下에서는 引張強度 및 硬度는 維持時間에 따라 變化하지 않았으나 600℃以上の 溫度에서는 溫度가 上昇함에 따라 低下率이 增加하였으며 또한 加熱溫度가 上昇함에 따라 짧은 維持時間으로 機械的性質을 低下하는

傾向을 나타내었다.

3. 熱處理 條件에 의한 組織의 變化

GC20, GC30의 鑄鐵試驗片을 鑄放狀態, 加熱溫度 600℃ 및 650℃에서 各各 2.5時間 동안 維持시킨 경우 內外部의 顯微鏡 組織을 比較하여 Fig 8 및 Fig 9에 나타내었다.

Fig 8 과 Fig 9에서 보인 바와 같이 鑄放狀態의 組織은 Pearlite로 되어 있었으나 加熱溫度 600℃에서 2.5時間 동안 熱處理한 경우는 Pearlite 中の 共析 Cementite가 分解하기 시작하였고 650℃에서는 그 分解가 더욱 활발하게 일어나 다소 많은 Ferrite가 生成되어 있음을 볼 수 있다. 따라서 熱處理로 인한 機械的 性質의 低下는 Ferrite 生成에 基因되고 있음을 알 수 있었다.

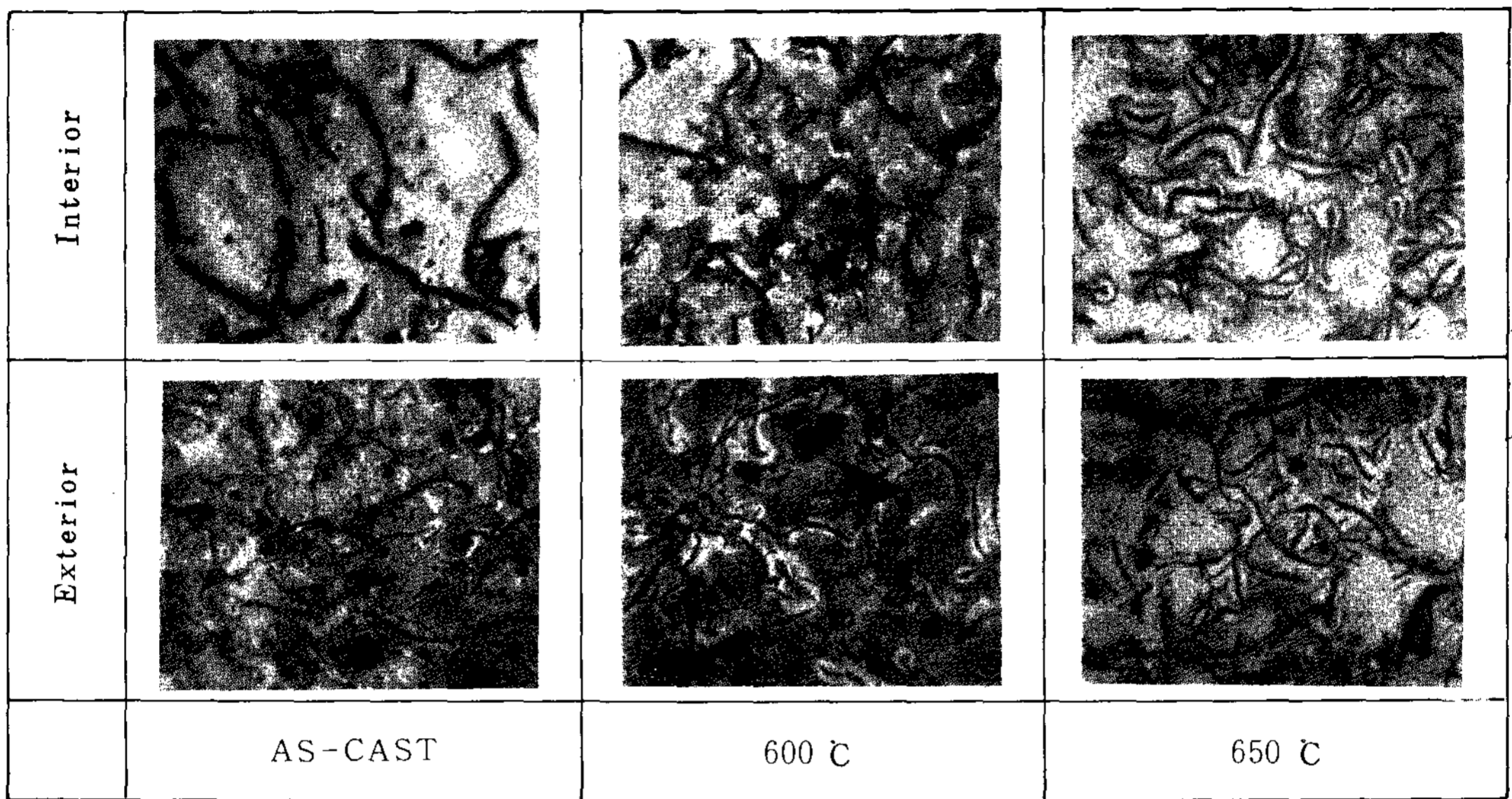


x 150

Figure 8. Interior and exterior microstructures of GC20 and annealed specimen for 2.5 hours

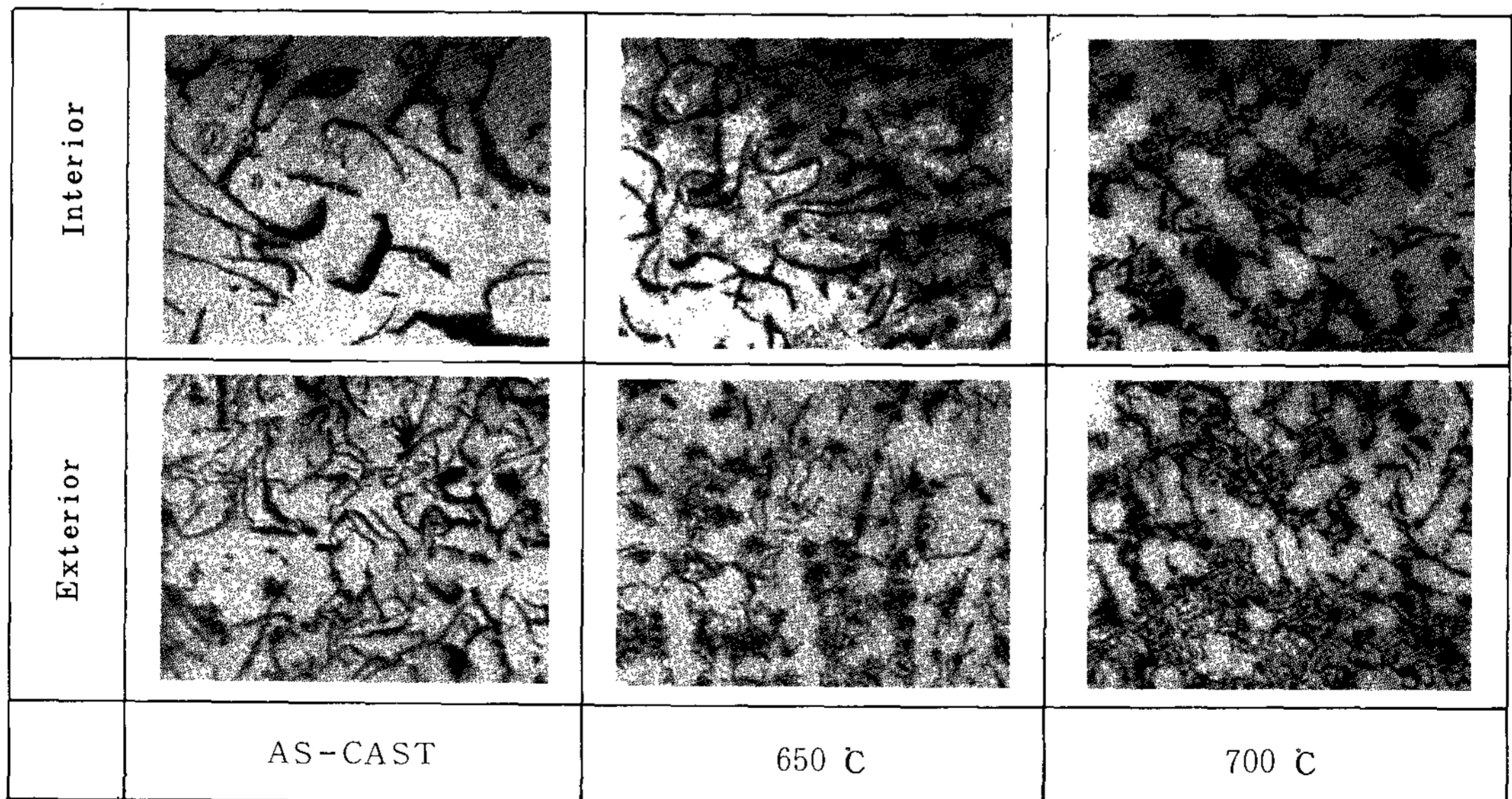
Fig 10은 GC 20+0.3% Cr 試驗片의 內外部의 顯微鏡組織으로서 鑄放狀態와 加熱溫度 650℃ 및 700℃에서 各各 3時間 동안 維持後 炉冷시킨 것을 나타낸 것이다. GC 20에 0.3% Cr

을 接種한 경우는 比較的 加熱溫度가 높은 650℃에서 3時間 동안 維持시키면 Pearlite의 分解가 시작하였으며 700℃에서는 Pearlite의 分解가 다소 많아 Ferrite 生成量이 많은 것을 알



x150

Figure 9. Interior and exterior microstructures of GC30 and annealed specimen for 2.5 hours.



x150

Figure 10. Interior and exterior microstructures of GC20 + 0.3% Cr and annealed specimen for 3 hours.

수 있었다.

따라서 Pearlite의 分解溫度는 鑄鐵의 化學成分에 따라서 다른 것으로 GC 20 과 같이 C 및 Si 含有量이 많고 Mn 量이 적은 경우는 Pearlite의 分解溫度가 낮고 GC 30 과 같이 C 및 Si 含有量이 적고 Mn 量이 많은 경우는 分解溫度가 높게 되었다. 더욱이 Cr 과 같이 黑鉛化 沮害元素는 Pearlite를 安定化合物으로서 Pearlite의 分解溫度가 높게 나타난 것을 알 수 있었다.

그러므로 灰鑄鐵品의 應力除去熱處理은 材質에 따라 加熱溫度 및 時間을 고려함이 要求되었다.

IV. 結 論

本 實驗을 통하여 다음과 같은 結果를 얻었다.

- (1) 灰鑄鐵의 應力除去를 위해 熱處理溫度 600 ℃以上 加熱하면 引張強度 및 硬度가 低下하였다.
- (2) 灰鑄鐵을 600 ℃以上의 溫度로 加熱하면 維持時間의 經過에 따라 引張強度 및 硬度的 低下率이 增加하였다.
- (3) 灰鑄鐵에 Mn 및 Cr 과 같이 黑鉛化 沮害元素를 많이 含有한 경우는 熱處理에 의한 引張強度 및 硬도를 低下하는 加熱溫度는 上昇하였다.
- (4) 灰鑄鐵의 熱處理에 의한 機械的性質의 低下는 Pearlite 中の 共析 Cementite가 分解되어 Ferrit의 生成에 基因되었다.

後 記

本 研究는 1981 年度 文敎部 學術研究助成費 支援에 의해서 이루어졌으며, 研究費 支援에 感謝드리며 研究進行過程에 있어서 많이 協助해 주신 (株)金星社 鑄造工場과 大同工業株式會社 鑄造課 여러분께 感謝를 드립니다.

參 考 文 獻

- 1) 黃鍾夏, 鑄物기술 Vol. 2, No. 2 (1978) p. 34 ~ 47.
- 2) 井川克 鑄物 Vol. 53, No. 7, (1981) p. 383 ~ 389
- 3) 井川克, 第 7 回 日本鑄物協會 Simpo. (1979) p. 1 ~ 8

- 4) 小沢敏男, “灰鑄鐵의 熱處理에 대하여” 技術資料 13. (1972)
- 5) Charles F. Walton, “Gray and Ductile Iron Casting Handbook.” (1971)
- 6) 日本鑄物協會, 鑄物便覽, (1973), p. 880 ~ 883
- 7) A. S. M, Metal Handbook, Vol. 2, (1964) p. 203 ~ 220
- 8) M. M. Hallett, P. D. Wing, Foundry Tr. J., Simpo, Vol. 11. (1949)
- 9) 大和田野利郎, 第 7 回 日本鑄物協會 Simpo. (1979) p. 9 ~ 17
- 10) 和出昇, 上田, 第 1 回 日本鑄物協會 Simpo. (1977) p. 18 ~ 26
- 11) 崔在烈, 金屬熱處理, (1977) p. 726 ~ 751
- 12) 大和田野利郎, 西村正之, 宮田秀夫, 鑄物 44, No. 8. (1972) p. 666
- 13) 大和田野利郎, 西村正之, 宮田秀夫, 鑄物 46, No. 1. (1974) p. 44
- 14) 大和田野利郎, 西村正之, 鑄物 46, No. 2 (1974) p. 110
- 15) 大和田野利郎, 宮田秀夫, 久保義美, 鑄物 46, No. 9. (1974) p. 834
- 16) 大和田野利郎, 鑄物 45, No. 3 (1973) p. 193
- 17) 大和田野利郎, 鑄物 46, No. 6 (1974) p. 537
- 18) 大和田野利郎, 山田恒二, 原其久, 鑄物 47, No. 5. (1975) p. 313
- 19) 大和田野利郎, 鳥越清, 神崎郁美, 鑄物 48, No. 9. (1976) p. 563
- 20) 和出昇, 上田倅完, 鐵과 鋼 63, No. 9. (1977) p. 1572
- 21) 和出昇, 上田倅完, 鐵과 鋼 63, No. 14 (1977) p. 2355
- 22) 和出昇, 上田倅完, 鑄物 49, No. 1 (1977) p. 25
- 23) 和出昇, 上田倅完, 鑄物 50, No. 1 (1978) p. 26
- 24) 和出昇, 上田倅完, 鑄物 50, No. 5 (1978) p. 350
- 25) 日刊工業新聞社 金屬熱處理技術便覽, (1971) p. 622 ~ 648
- 26) Foundry Vol. 108, No. 10, (1980) p. 28 ~ 36