

ION 窒化에 있어 添加 炭素量이 殘留應力에 미치는 영향 (The Added Carbon Effect on Residual Stress in Ion-Nitriding)

金熙松* · 康明順**
H. S. Kim, M. S. Kang

Abstract

This paper deals with residual stress characteristics of ion-nitrided metal which is primarily concerned with the effects of added carbon content in gas atmosphere.

A small optimal amount of carbon content in gas atmosphere increase compound layer thickness, as well as to increase diffusion layer thickness and hardness.

The residual stress and deflection of the specimens was measured in various elevated temperature at the surface of ion-nitrided metal and the internal stress distribution was calculated.

It is found that compressive residual stress at the compound layer is largest at the compound layer, and decreases as the depth from the surface increases.

記號解說

- a ; 힘을 가한 位置까지의 距離.
- b ; 試片의 幅.
- E_1 ; core 層의 young's modulus.
- E_2 ; 窒化層의 young's modulus. (여기서 窒化層은 合成層과 擴散層을 意味함.)
- E_{ion} ; Ion 에너지.
- E_{kzt} ; 運動에너지.
- h ; 試片의 두께.
- h_1 ; core 層의 깊이.
- h_2 ; 窒化層의 깊이.
- k_1 ; z 軸에서 窒化層까지의 두께.
- p ; beam 에 加한 힘.
- Q ; 熱量.
- R_y ; y 軸 方向의 曲率.
- T' ; 基準溫度와의 溫度差.
- u ; 軸方向의 變位.
- V ; y 軸方向의 처짐變位.
- W ; 일률.

- x ; 처짐測定 位置.
- α_1 ; core 層의 熱膨脹係數.
- α_2 ; 窒化層의 熱膨脹係數.

1. 序 論

金屬의 機械的 性質을 改善하는 수단으로서 古代로부터 熱處理라고 부르는 여러가지 方法이 工業的으로 施行되고 있지만, 이들 個個의 處理法에는 各己 固有의 長短點을 갖고 있으며, 要求되는 機械的 性質을 모두 만족시켜 줄수 있는 萬能의 것은 없다. 一般的으로 金屬表面處理는 擴散處理, 火成처리 및 피복처리의 3 가지로 分類된다. 擴散處理는 金屬表面에 母體와는 다른 物質을 吸着擴散시키는 方法이며 이 경우 擴散이 용이하게 일어나게 하기 위해서는 擴散되는 物質은 母體金屬原子에 比하여 原子直徑이 작은 것이 바람직하다. 浸炭이나 窒化 그리고 세멘터이론은 擴散處理에 속한 것이다. 火成처리는 金屬

表面에 母体와는 다른 化合物, 혹은 非金屬層을 형성시키는 方法이다. 이 方法의 處理는 境界層이 擴散處理로 형성되는 것과 달라 명료한 단층이 되고, 이른바 擴散層이 없는 것이 특징이다. 수증기 호모처리, 침유처리 및 인산피막처리 등이 이에 속한다. 피복처리는 金屬表面에 母体金屬과 다른金屬 혹은 化合物을 첨가하는 方法으로서 경질 크롬 맥기가 이것이며 다른 方法에 비하여 극부적 처리가 용이하다는 것이 특징이다.

材料의 機械的 性質을 改善하는 수단으로 熱表面處理를 分類하면 表面을 硬化하는 方法, 硬도와 同時에 韌性を 부여하는 方法 그리고 表面處理로 형성된 被膜層에 殘留應力을 생기게 하는 方法으로 나누어 질 수 있다. 殘留應力을 생성시킬 경우 硬도와 韌性を 겸비하게 되므로 一般의 說明되는 機械的 性質인 硬도와 耐磨耗性 및 衝擊性を 改善시킬 수 있다. 窒化시에 殘留應力이 생성되고 이때 생성되는 殘留應力은 壓縮殘留應力으로서 窒化깊이와 깊은 關係가 있고 窒化時 분위기 가스에 炭素를 添加하면 合成層 및 擴散層두께가 증가되며 따라서 壓縮殘留應力이 생성되는 領域도 넓어지게 된다.

本 研究에서는 上述한 여러가지 方法중 擴散處理범주에 속하는 窒化處理方法중에서 最近 개발된 이온窒化處理에 있어 분위기 가스중에 炭素를 첨가하였을 때의 殘留應力 特性을 理論 및 實驗的으로 규명하였다. 얇은 박판 鋼의 試片을 한쪽면만 이온窒化하였을 때 試片이 휘게된다. 이는 窒化層의 機械的性質(young's modulus, coeff. of thermal expansion)이 變하여 그렇게 된 것으로 생각된다. 한편 이런 문제에 對한 研究보고는 거의 없는 상태이다. 本 研究의 目的은 窒化層의 機械的性質을 求하고 窒化層에 分布하는 軸方向의 殘留應力을 求하는 것이다.

B. K Jones & J. W. Martin⁽¹⁾ 은 이온窒化 試片의 깊이에 따른 殘留應力 分布를 sacho bearing tegchnique를 이용하여 求하였는데 窒化層에서 殘留壓縮應力은 軸方向이 가장 크고 radial 이나 tangential 方向은 軸方向 殘留壓縮應力의 60% 정도라고 보고하였다. 窒化層과 core 層, 두 部分으로 laminate 되었다는 가정 및 窒

化後 core 部分의 性質은 變하지 않는다고 가정하여 한쪽면만 窒化處理된 試片의 溫度에 따른 曲率을 理論的으로 解析하여 殘留應力을 求하였고, 實驗的으로는 處理時間 및 溫度變化에 따른 硬度, 曲率 그리고 殘留應力을 求하였다.

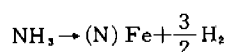
2. 理論展開

2.1 窒化法の 理論 및 이온窒化法の 特性

窒素를 含有하는 媒体중에서 鋼을 加熱하면, 그 表面에 窒化物이 형성되어 鋼을 소입하지 않고도 表面을 硬化시킬 수 있다. 硬化層의 硬도는 H_v1000 이상까지에 도달하지만, 그것을 위하여는 Al, Cr, Mo, Ti, V 등과 같은 窒素와 높은 친화력을 갖고, 硬한 化合物을 만드는 元素를 포함하는 소재를 사용하여야 한다. 물론 이와같은 元素를 포함하지 않는 炭素鋼으로도 窒化는 可能하지만, 이러한 경우에는 前述한 바와 같은 높은 경도는 기대할 수 없고, 이러한 경우 특별히 연질화라고 한다. 큰 長點은 浸炭硬化에 비하여 소입 필요가 없다는 점이고, 그 때문에 치수변화가 적다. 또한 窒化層은 硬할 뿐 아니라 耐熱性 및 耐蝕性에도 우수하다. 短點으로는 浸炭과 같이 깊은 硬化層이 얻어지지 않는 점과 硬化層 그 자체에 韌성이 낮은 점이다.

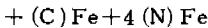
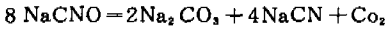
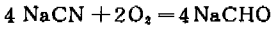
窒化法은 가스窒化法, 염욕질화법, 타투라이트(Tartride) 질화법 및 최근에 研究된 이온窒化法이 있다. 窒化 效果를 좋게 하기 위하여 窒化處理 전에 窒化處理物→폴링→加工→담금질→뜨임→窒化過程으로 處理되며 뜨임溫度는 窒化溫度보다 30℃ 이상 높게하여 窒化處理중 組織變化가 일어나지 않도록 추천되고 있다.

가스 窒化法은 암모니아 가스중에서 窒化鋼을 500~570℃로 加熱하여 50~100時間 유지함으로써 완성화된 窒素를 金屬内部에 침투시키는 窒化法이다. 가스窒化法은 處理方法이 비교의 간단하나 窒化速度가 대단히 느리고 가스 소모량이 많다. 가스窒化法の 反應式은 다음과 같다.



염욕窒化法은 시안 나트륨(NaCl) 60~70% 및

시안칼륨(KCN) 30~40%의 혼합열을 500℃~570℃로 용융시킨 후 피처리試片을 10分 내지 2時間 정도 용액속에 넣는다. 이때 중성염이나 탄산염등을 첨가하여 불안정염을 안정화 시킴으로써 分解速度를 조절하면 窒化 效果를 증진시킬 수 있다. 염욕窒化法은 발생기 질소가 풍부하여 질화효과가 크고 질화속도가 빠르나 시안물이 맹독성을 가지고 있어 공해문제가 크게 대두된다. 염욕질화법에 사용되는 化學反應式은 다음과 같다.



타후라이트 窒化法은 염욕질화법과 비슷한 窒化方法이며 시안염을 500℃~570℃로 용융시킨 염욕에 넣어 처리한다. 염욕질화법과 다른점은 염욕의 밀도로부터 공기를 불어 넣어 시안염의 分解率을 調整한다는 점이다. 타후라이트질화법도 염욕질화법과 마찬가지로 공해가 문제가 된다.

최근에 주목을 받고 있는 이온 질화법은 질소와 수소의 混合가스가 채워진 1~10 torr의 眞空속에서 피처리물을 넣고, 피처리물에 陰極, 眞空炉 벽에는 陽極을 연결하여 高電壓을 걸어주고 발생하는 글로우 放電을 이용한 질화법이다.

이온질화법은 다음과 같이 종래의 질화법에 비하여 많은 長點을 갖고 있다.

(1) 無公害 窒化處理

가스질화법에서는 이온질화법에서 보다 부피로 250~300배 정도의 암모니아 가스가 배출되고, 염욕질화 및 타후라이트 질화법에서는 맹독성의 시안물이 배출된다. 이온질화법에서는 처리매체가 1~10 torr의 질소와 수소의 混合가스로 되어 있어 공해상의 문제가 없다.

(2) 窒化의 신속화

混合가스중에 포함된 수소이온으로 인한 피처리물 表面에 존재하는 酸化物 및 炭化物의 還元作用과 이온의 sputtering 效果로 피처리물 表面을 활성화하여 질화속도를 신속하게 한다.

(3) 처리과정이 간단

이온의 sputtering에 의해서 피처리물의 clearing 및 加熱이 이루어지므로 다른 질화법과 비교하면 질화처리과정이 간단하다.

(4) 窒化處理 原價의 減少

이온 질화는 약 1/100氣壓이하의 混合가스를 furnace에 넣어 질화처리 하므로 가스 소모량이 극히 적고, 外部加熱式이 아니기 때문에 에너지 損失이 적으며, 공해방지 장치 및 clearing 과정이 필요하지 않으므로 비용이 적게 된다.

(5) 合成層 및 擴散層 調節이 容易

混合가스의 조성 처리온도 및 가스壓力의 조절등에 의해서도 ε相(Fe₂₋₃N)과 γ相(Fe₄N)의 單相 또는 複合相의 질화층 조성이 용이하며, 合成層 두께와 擴散層 깊이의 조절이 용이하다.

(6) 部分窒化處理의 可能

低炭素鋼을 使用하여 마스크함으로써 부분질화가 용이하며 마스크와 피처리물간의 간격은 1/8" 정도 추천되고 있다.

(7) 機械的 性質의 向上

이온窒化는 350℃의 저온에서도 질화처리가 가능하며 피처리물 전면에 글로우放電이 均一하게 일어나므로 질화층 깊이가 균일하게 일어나고 따라서 치수 변화가 적고, 내마모성 및 내피로성이 종래 질화법 보다 개선된다. 또한 sputtering으로 인한 수소이온의 金屬表面 활성화 작용으로 내식성이 증가 된다.

2.2 이온窒化法의 原理

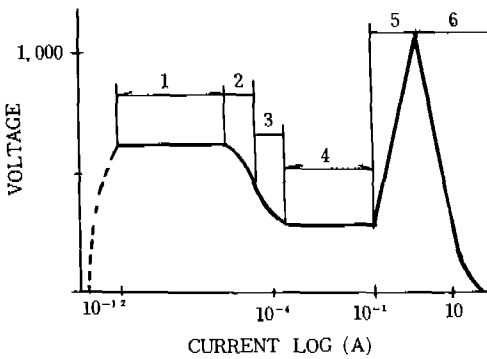
窒化處理할 試片을 眞空炉속에 올려 놓고 10⁻³ torr 정도로 진공시킨 후 질소가스 또는 窒素 + 水素 混合가스를 넣고 1~10 torr의 眞空이 되게 한다. 1500 volt의 용량을 갖고 있는 D. C. power supply로 부터 피처리물에 陰極을, 眞空炉에 陽極을 連結하여 電壓을 上昇시키면 그림 1과 같은 放電 特性曲線이 얻어진다.

이온질화에 사용되는 방전영역은 글로우 방전 영역이며 이 영역에 도달하지 못한 상태에서는 溫度上昇이 되지 않고 이 영역을 넘어 서면 Arc가 發生한다. 글로우 放電영역에서 진공로 속에

있는 가스가 이온화 되고 활성화된 plasma상태가 되어 이온들은 피처리물의 표면을 향하여 가속된다.

이온이 피처리물의 표면에 충돌 됨으로써 溫度를 上昇시킨다. 赤外線 溫度測定器로 測定하여 질화처리온도에 달하면 電流를 제어함으로써 온도를 제어하며 온도 제어 장치를 작동시켜 온도를 一定하게 유지 시킨다.

實驗에서 이온질화온도를 430~560℃로 하였고, 처리時間은 1~16시간의 범위이다. 질소이온이 금속표면을 때리면 금속은 분리되기 때문에 금속표면은 탄소나 산소들이 없는 상태로 된다. 질소이온이 가지고 있는 이온 에너지(E_{ion})는 이들 原子를 금속표면으로 부터 분리시키는 데 필요한 일(W)과 운동에너지(E_{kin}) 그리고 금속을 가열하는 熱(Q)로 분리 된다. ($E_{ion} = W + E_{kin} + Q$)



1. TOWNSEND DISCHARGE
2. CORONA DISCHARGE
3. SUBNORMAL GLOW DISCHARGE
4. NORMAL GLOW DISCHARGE
5. ABNORMAL GLOW DISCHARGE
6. ARC DISCHARGE

그림 1. 放電 特性 曲線

활성화된 질소 이온은 시표면에 FeN을 생성시키고, 생성된 FeN은 불안정하기 때문에 Fe₂N, Fe₃N 및 Fe₄N으로 바꾸어 지면서 질소를 발생시킨다. 발생한 질소의 일부는 금속 내부로 확산되고 일부는 표면으로 되돌아 간다.

또 Fe₃C → Fe₃CFe₂N → Fe₃CFe₂N → Fe₂₋₃N의 반응식에 의하여 합성층 형성에 기여한다. 이때 가스壓力이 높으면 이온의 수가 많게 되어

주어진 에너지 중 각 이온이 갖는 에너지가 적게 되어 금속 내부로 침투하지 못하고 진공중으로 튀어 나오는 이온이 많아 지게 된다. 따라서 電流가 많이 흐르고 試片의 온도가 높아진다. 가스壓力이 낮으면 이온의 수가 적게 되어 주어진 에너지 중 각 이온이 갖는 에너지가 많게 되며 따라서 이온이 금속내부로 침투하는 확률이 크고 진공중으로 튀어나오는 이온 수가 적기 때문에 시편의 온도가 떨어지게 된다. 이와 같은 현상 때문에 처리온도를 동일하게 유지하기 위하여는 가스壓力이 낮을 때가 가스壓力이 높을 때보다 더 높은 電壓을 공급하여야 하며, 결과적으로 같은 처리 조건에서는 합성층의 두께가 증가되는 경향을 가지나, 가스壓力이 너무 낮으면 이온 수가 적어 오히려 합성층의 두께가 감소된다. 이온질화에 있어 영향을 주는 요소는 처리온도, 처리시간, 처리壓力, 가스조정으로서 이들 변수를 변화시킴으로써 합성층 및 확산층 깊이를 조절하여 요구하는 기계적 성질을 얻을 수가 있다.

2.3 窒化層의 調節

이온 질화한 금속 표면은 다른 질화법에 의하여 질화처리된 금속표면과 같으며 최외각 표면인 합성층은 Alcoholic nitric acid etch에 의하여 영향을 받지 않고 희게 나타나므로 white layer라고 불리운다. 합성층 아래의 확산층은 혼합조직으로 되어 있다. 이온 질화법은 다른 질화법보다 합성층 및 확산층을 쉽게 조절할 수 있어 요구되는 기계적 성질을 얻도록 질화처리를 조절할 수가 있다. 延性, 마모 및 피로등은 합성층의 homogeneity와 합성층 깊이에 관계되고 생성된 질화층이 單一相의 合成層이 되면 기계적 성질이 많이 改善되고 heterogeneous 조직은 취성을 갖게되며 延性は 합성층의 두께가 증가하면 감소하는 경향을 갖는다.

따라서 필요로하는 기계적 성질에 부합되도록 合成層을 조절하여야 한다. 合成層의 조직은 혼합가스 속에 있는 탄소량에 따라서 달라지며 탄소량이 많아지면 γ'+Fe₃C 조직이 되어 합성층 두께가 감소하여 기계적 성질을 저하시킨다.

질화처리한 금속의 硬度는 피처리물의 成分, 합성층의 깊이 및 粒子 (grain) 의 크기에 영향을 받는다. 동일한 피처리물에 있어서 충분한 합성층 깊이가 생성되었을 때 grain 의 크기를 작게 하는 저온에서 경도가 크게 된다. 한편 이온질화는 비교적 저온에서 처리가 가능하므로 질화 후의 재료의 변형이 적은 장점이 있다.

2.4 이온 질화層內的 殘留應力

窒化處理함으로써 金屬内部에 生成되는 殘留壓縮應力은 Almen⁽²⁾ 에 依하면 合成層에서 160,000psi 정도로서 最大가 되고 金屬内部로 감에 따라 減少하며 Mailander⁽³⁾ 은 窒化處理 金屬의 最外 表面에서 71,000psi로 가장 크다고 하였으며 Genter⁽⁴⁾ 는 最外表面에서 27,000psi 가 된다고 보고 하였다.

本 研究에서는 窒化處理 金屬의 殘留應力을 測定하기 위하여 100×10×2 mm의 SCM3 試片으로 분위기 가스중에 炭素를 添加하여 이온窒化한 結果 約 75,000psi 정도의 殘留壓縮應力이 生成되며 이는 合成層에서 이루어 졌다.

이온 窒化鋼의 最外表面 硬化層에서 가장 큰 殘留壓縮應力이 生成되며 이 殘留壓縮應力은 合成層의 體積을 增加시킨다. 그림 2와 같은 試片 모델에 대하여 Beley 와 Weiner⁽⁵⁾ 는 다음과 같은 曲率 方程式을 주고 있다.

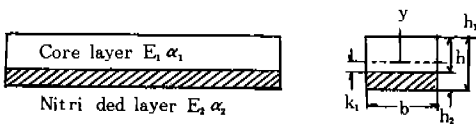


그림 2. 試片의 모형

$$\frac{1}{R_y} = \frac{1}{2} E_1 E_2 (\alpha_2 - \alpha_1) h T' / \Delta \dots (1)$$

여기서

$$\Delta = \frac{1}{3} (E_2 h_2 + E_1 h_1) \left[E_2 \left(\frac{h^2}{8} - k_1^2 \right) + E_1 \left(\frac{h^2}{8} + k_1^2 \right) \right] - \frac{1}{4} \left(\frac{h^2}{4} - k_1^2 \right) (E_2 - E_1)^2$$

基準溫度를 T_0 라고 할 때 $T' = T - T_0$ 로 表示되며 따라서 曲率半徑 R_y 는 다음과 같이 간단하게 表示된다.

$$\frac{1}{R_y} = AT + B \dots (2)$$

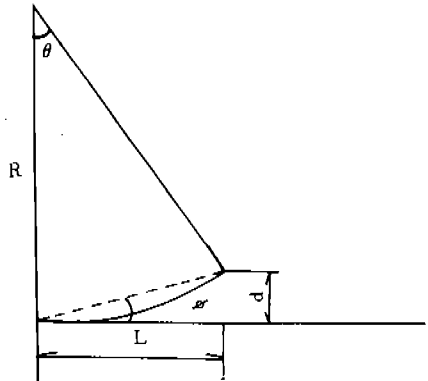


그림 3.

式(2)에서 A는 溫度函數로 表示되는 曲率半徑의 기울기를 나타내고 B는 $-AT_0$ 가 된다. 溫度變化에 따른 曲率을 測定함으로써 A와 B를 求할 수 있다. 따라서 基準溫度 T_0 도 求할 수 있다. 이때 curvature 그림 3은 幾何學的 現象에 의하여 다음과 같이 구하여진다.

$$\phi = \tan^{-1} \frac{d}{l}$$

$$\theta = 2\phi = 2 \tan^{-1} \frac{d}{l}$$

$$\frac{1}{R_y} = \frac{2 \left[1 - \cos \left(2 \tan^{-1} \frac{d}{l} \right) \right]}{\sqrt{l^2 + d^2}}$$

基準溫度 T_0 가 A와 B로서 計算되면 殘留應力 分布는 다음 式에 의하여 求한다.

$$\sigma_{x(y)} = E_{(y)} (\epsilon_x - \alpha_{(y)} T') \dots (3)$$

(3)式에서 $E_{(y)}$ 는 測定位置 y에 따른 E_1 또는 E_2 를 나타내고 $\alpha_{(y)}$ 는 α_1 과 α_2 를 表示하며 ϵ_x 다음과 같다.

$$\epsilon_x = \epsilon_0 - \frac{y}{R_y} \dots (4)$$

여기서

$$\epsilon_0 = \frac{1}{3} (E_2 h_2 \alpha_2 + E_1 h_1 \alpha_1) \left[E_2 \left(\frac{h^3}{8} + k_1^3 \right) \right] T / \Delta$$

$$- \frac{1}{4} \left(\frac{h^2}{4} - k_1^2 \right)^2 (E_2 - E_1) (E_2 \alpha_2 - E_1 \alpha_1) T / \Delta$$

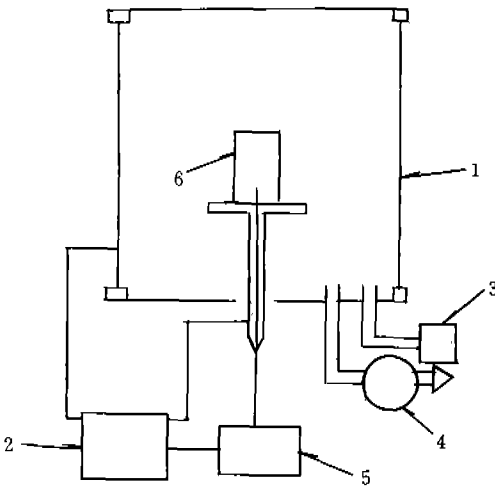
3. 實驗方法

3.1 實驗裝置

이온窒化를 위한 實驗裝置의 重要 요소는 眞空爐, 가스供給裝置 및 電氣供給源으로 되어 있다(그림 4).

實驗에 使用된 實驗器械는 다음과 같다.

- 1) Vacuum chamber (dia 300mm, height 400mm)
- 2) D. C power supply (3KV, 2Amp)



- | | |
|----------------------|---------------------|
| 1. VACUUM CHAMBER | 4. VACUUM PUMP |
| 2. ELECTRIC UNIT | 5. GAS DISTRIBUTION |
| 3. REGULATING DEVICE | 6. WORKPIECE |

그림 4. 이온窒化裝置

- 3) Vacuum pump (welch 402 B)
- 4) Vacuum Gage (MKS Martatron Type 170M-4IC)
- 5) Termo spot sensor (Kywa Model Tss 4P)

3.2 試片 準備

溫度, 時間 및 炭素量의 效果를 규명하기 위한 試片은 SCM22와 SCM3로 준비하였다. 製作된 表準 試片은 窒化處理하기 前 1500mech로 表面을 최종 finishing한 後 비눗물로 깨끗이 닦고 알콜로 세척하여 건조시켰다.

4. 實驗結果 및 分析

4.1 合成層 및 擴散層

混合 가스중에 존재하는 炭素量에 따른 合成層 및 擴散層 두께를 그림 5에 圖示하였다. 合成層 두께는 가스 중에 炭素量이 0.5atom%까지는 增加하며 擴散層은 0.7atom%때 가장 깊게 나타났고 1.4atom%까지 增加한다. 이러한 結果는 K. S. Cho & C. O. Lee⁶⁾와 같았다. 合成層은 $Fe_3C \rightarrow Fe_3CFe_3N \rightarrow Fe_3CFe_3N \rightarrow Fe_{2-3}N$ 의 反應^(7,8,9)에 의하여 형성되기 때문에 가스중에 炭素量 增加가 合成層 두께를 增加시키고 炭素量이 너무 많으면 窒素가 浸入할 공간을 주지 않아 $\gamma' + Fe_3C$ 의 混合 組織이 되어 合成層이 減少한다. 金屬内部에 비하여 金屬表面의 窒素量이 많을 경우 窒素粒子의 擴散으로 擴散層이 增加된다. 炭素添加量이 너무 많으면 炭素 및 窒素粒子가 상호 交섭을 일으킬 뿐 아니라 窒素가 浸入할 site를 주지 않아 擴散層 두께가 오히려 減少한다. 그림 6은 가스중의 탄소 0.5atom% 添加하였을 때의 時間에 따른

Table 1. The chemical composition of specimens

Composition Specimens	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Ni (%)	Cr (%)	Mo (%)
SCM 22	0.18-0.23	0.15-0.35	0.60-0.85	0.03	0.03	0.25	0.90-1.20	0.15-0.30
SCM 3	0.33-0.38	0.15-0.35	0.60-0.85	0.03	0.03	0.25	0.90-1.20	0.15-0.30

合成層 및 擴散層 두께의 增加를 表示한 것으로서 時間에 따라 合成層 및 擴散層이 指數的으로 變化함을 볼 수 있다.

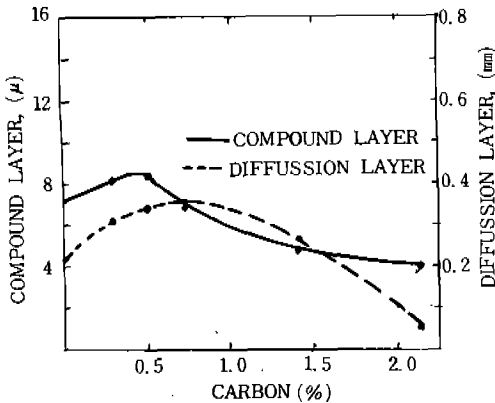


그림 5. 炭素 添加量에 따른 擴散層 및 合成層의 두께

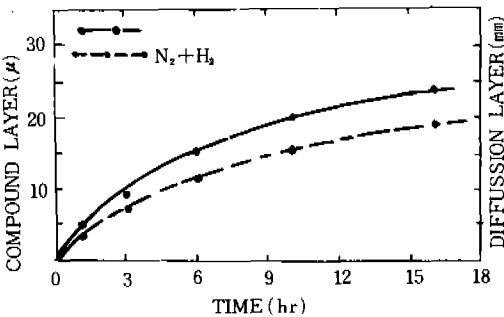


그림 6. 가스중 탄소 0.5atom% 첨가시와 첨가하지 않았을 때의 時間에 따른 合成層 두께

4.2 硬 度

그림 7은 가스중 添加 炭素量에 따른 硬도를 나타낸 것으로서 炭素量 添加가 0.5atom%까지는 硬도가 增加되나 그 以上에서는 減少하고 있음을 보여주고 있다. 이러한 傾向은 앞에서 說明한 바와같이 가스중 添加 炭素量에 따른 合成層 두께를 表示한 그림 5와 비슷한 傾向을 갖는다.

따라서 硬도는 合成層 生成이 용이한 添加 炭素量에서 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

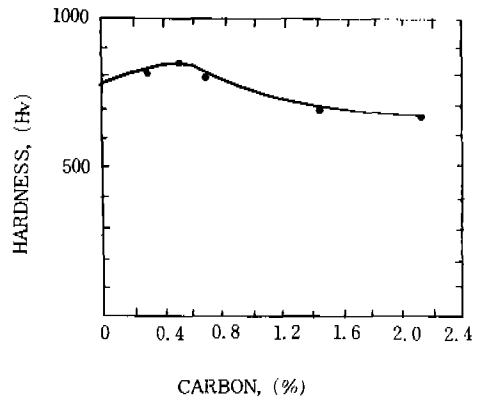


그림 7. 가스중 添加 炭素量에 따른 硬도

4.3 殘留 應力

窒化鋼의 殘留應力 分布는 窒化處理로 인하여 생긴 힘을 常溫에서 弛지게 하는 데 必要한 弛應力을 計算한 것으로서 求할 수 있다. 試片이 常溫에서 弛지게하는 弛應力은 다음 式에서 求할 수 있다.

$$E_x = E_{(x)} \frac{y}{l}$$

그림 8은 炭素量 0.5atom% 添加時 窒化時間에 따른 曲率半徑을 表示하고 있다. 그림 9는 窒化溫度에 따른 曲率半徑을 나타낸다. 曲率半徑은 窒化時間 및 窒化溫度에 따라 增加됨을 알 수 있으며 이러한 傾向은 合成層 및 擴散層 增加의 傾向과 비슷하다. 그림 10은 炭素量 0.5atom% 添加시 窒化處理 時間에 따른 殘留應力의 分布를 表示한 것이며 그림 11은 炭素量 0.5atom% 添加시 窒化處理 溫度에 따른 殘留應力의 分布를 表示한다. 生成된 殘留壓縮應力은 合成層內에서는 一定한 것으로 生覺되며 窒化溫度 및 時間에 따라 合成層이 增加하고 따라서 殘留壓縮應力이 존재하는 영역이 增加되는 것으로 分析된다. 擴散層內에서는 窒素의 濃度 增加에 比例하여 殘留壓縮應力의 크기가 決定될 것이다. 그림 12는 展開된 理論式에 依하여 計算된 殘留壓縮應力을 表示한다.

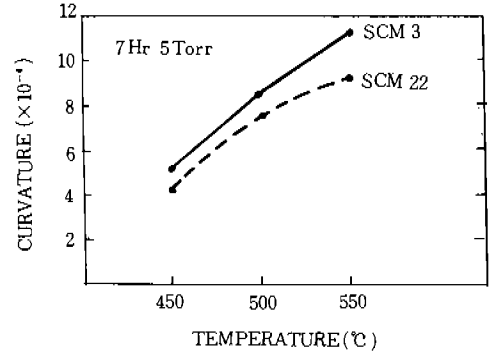
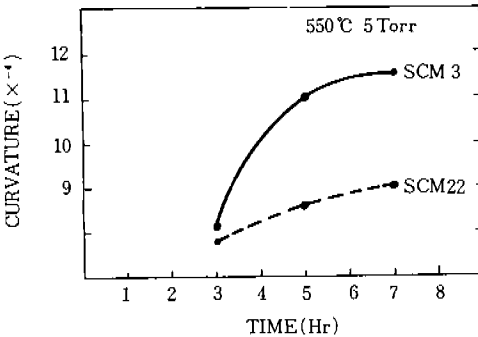
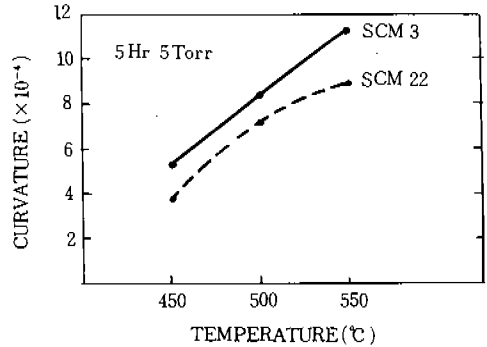
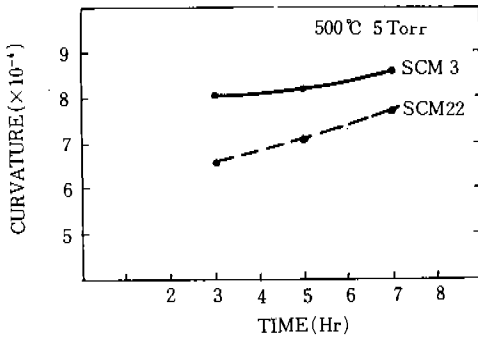
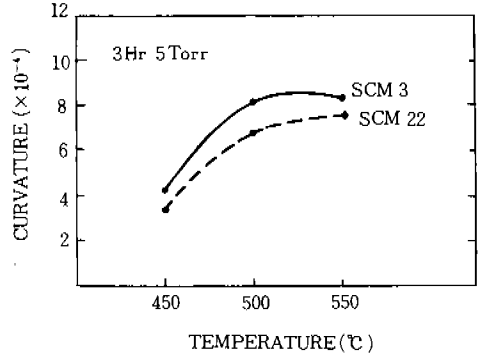
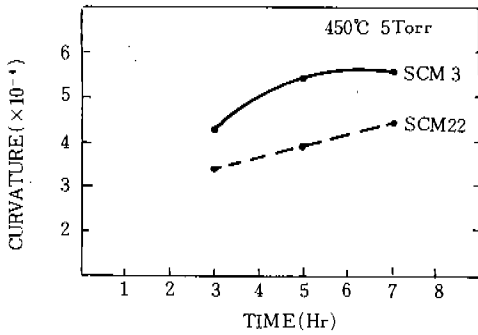


그림 8. 炭素量 0.5 atm % 添加時 窒化時間에 따른 曲率

그림 9. 炭素量 0.5 atm % 添加時 窒化溫度에 따른 曲率

5. 結 論

1. 이온 窒化에 있어 가스중에 炭素를 0.5atom % 添加하면 合成層 및 擴散層 두께를 증가시키고 硬度를 크게 할 수 있다.
2. 가스중에 炭素를 0.5 atom% 添加하여 窒化하였을 경우 合成層內的 殘留壓縮應力은 窒化條件에 따라 $3 \times 10^4 \sim 6.5 \times 10^4$ psi 정도이다.

3. 實驗範圍內에서 관찰하면 窒化時間 보다는 窒化溫度에 따라 殘留壓縮應力이 크게 증가하였으며 이는 窒化層의 두께가 溫度에 따라 더 크게 變化하기 때문으로 判斷된다.
4. 가스중에 炭素를 添加하면 合成層 및 擴散層을 증가시킬 수 있고 아울러 殘留壓縮應력을 증가시키며 따라서 材料의 機械的 性質을 向上시킬 수 있을 것으로 判斷된다.

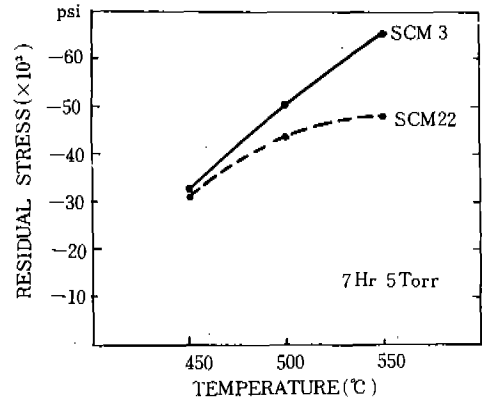
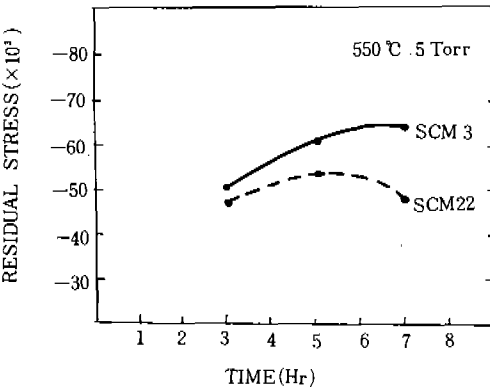
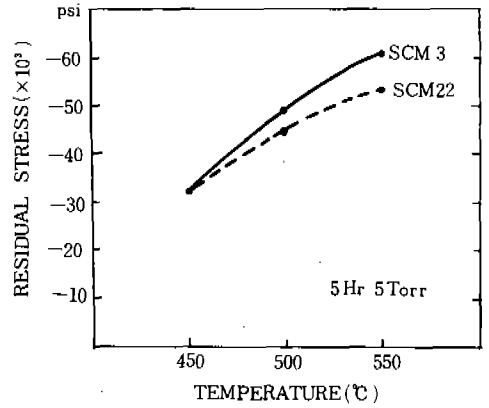
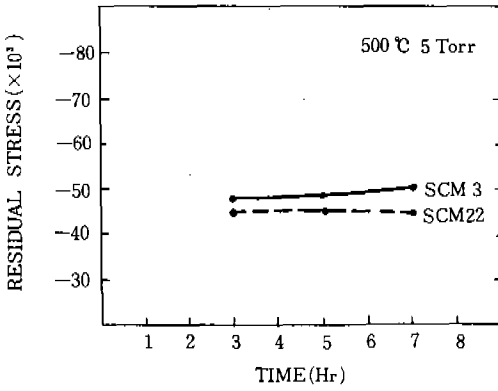
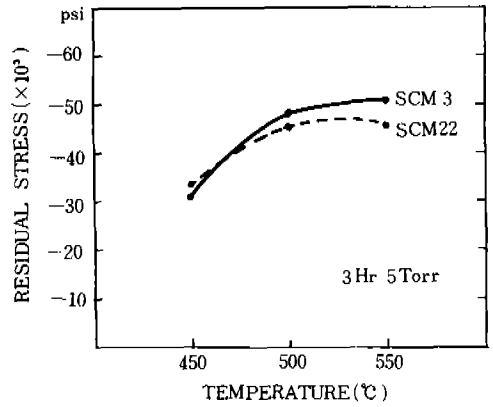
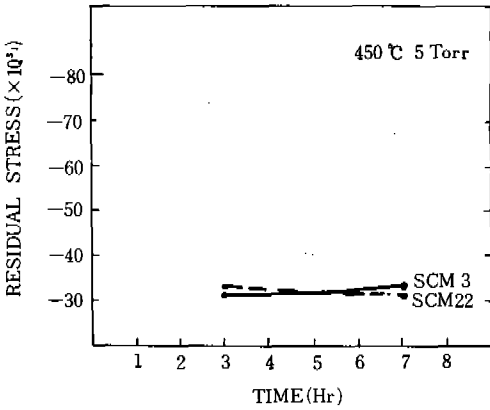


그림10. 炭素量이 0.5atm % 添加時 窒化時間에 따른 殘留應力の 分布

그림11. 炭素量 0.5atm % 첨가시 窒化溫度에 따른 殘留應力 分布

6. 參 考 文 獻

1. B.K. Jones & J.W. Martin; "Residual Stress Distribution in Nitrided En 418 Steel as Function of Case Depth," Metals Tech. Nov. pp.520-523, 1977.
2. J.O. Almen; "Peened Surface Improve Endurance of Machined Parts", 43(1943), pp. 209-215, 270.
3. Q. Mailander; "Residual Stress and the

Alternating Bending Strength of Nitrided Steel Specimens" Archiv far das Eisenhütten Wesen, 6 (1936), pp. 257-61.

4. F. Genter ; Fararable Residual Stress in Nitrided Layers" Technische Mitteilungen Krupp, 1 (1937), pp. 19-21.

5. B. A. Beley & J. H. Weiner ; "Theory of

Thermal Stress" John Wiley & Sons, Inc. pp. 307-317, 1960.

6. K. S. Cho & C. O. Lee ; "The Effects of Carbon on Ion-Nitriding." Transactions of the ASME, JEMT, April 1980, Vol. 102, pp. 229-233.

3 HOUR

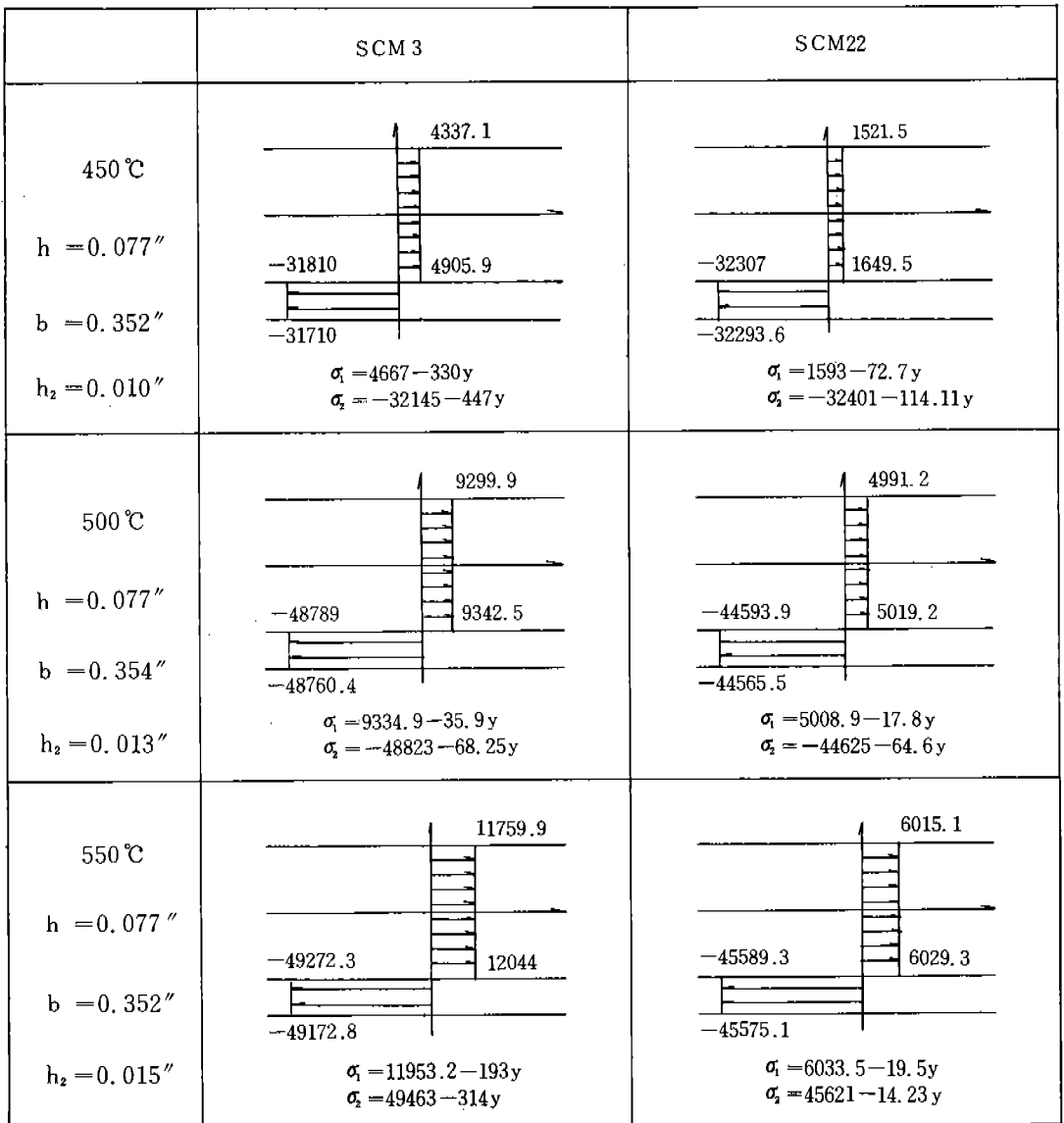


그림 12-a. 殘留應力 分布 (3hr)

5 HOUR

	SCM 3	SCM22
<p>400 °C</p> <p>$h = 0.08''$</p> <p>$b = 0.357''$</p> <p>$h_2 = 0.013''$</p>	<p>$\sigma_1 = 8532 - 37y$</p> <p>$\sigma_2 = -32094 - 425.4y$</p>	<p>$\sigma_1 = 3961.6 - 14.6y$</p> <p>$\sigma_2 = -32332 - 5.68y$</p>
<p>500 °C</p> <p>$h = 0.076''$</p> <p>$b = 0.354''$</p> <p>$h_2 = 0.015''$</p>	<p>$\sigma_1 = 8532 - 199y$</p> <p>$\sigma_2 = -49016.3 - 28.3y$</p>	<p>$\sigma_1 = 6370.6 - 469.3y$</p> <p>$\sigma_2 = -45589.3 - 411.7y$</p>
<p>550 °C</p> <p>$h = 0.076''$</p> <p>$b = 0.356''$</p> <p>$h_2 = 0.016''$</p>	<p>$\sigma_1 = 14333.8 - 312.96y$</p> <p>$\sigma_2 = -60278.6 - 465.42y$</p>	<p>$\sigma_1 = 8532 - 270.2y$</p> <p>$\sigma_2 = -32963 - 369.7y$</p>

그림 12-b. 残留應力 分布 (5 hr)

7 HOUR

	SCM3	SCM22
<p>450 °C</p> <p>$h = 0.075''$</p> <p>$b = 0.356''$</p> <p>$h_2 = 0.015''$</p>	<p>$\sigma_1 = 3412.8 - 184.86 y$ $\sigma_2 = -33587 - 270.8 y$</p>	<p>$\sigma_1 = 3981.6 - 71.1 y$ $\sigma_2 = -32023 - 85.4 y$</p>
<p>500 °C</p> <p>$h = 0.075''$</p> <p>$b = 0.357''$</p> <p>$h_2 = 0.016''$</p>	<p>$\sigma_1 = 7735 - 184.9 y$ $\sigma_2 = -50907 - 270 y$</p>	<p>$\sigma_1 = 8076.9 - 14.26 y$ $\sigma_2 = -43486 - 90 y$</p>
<p>550 °C</p> <p>$h = 0.078''$</p> <p>$b = 0.354''$</p> <p>$h_2 = 0.017''$</p>	<p>$\sigma_1 = 1156 - 221 y$ $\sigma_2 = -63494 - 216 y$</p>	<p>$\sigma_1 = 12522 - 66.4 y$ $\sigma_2 = -48296 - 203.6 y$</p>

그림12-c. 残留應力 分布 (7 hr)