

技術解説

金屬材料의 眞空熱處理

한국열처리 부사장

李 正 植

1. 머릿말

眞空雰圍氣가 갖는 여러가지 特性을 利用한 熱處理 process는 生産設備의 開發에 따라 近年 金屬材料 非金屬材料를 不分하고 여러곳에서 工業界에 적용되고 있다. 初期의 金屬材料의 眞空熱處理爐로서는 冷却裝置를 갖지 않은 外熱式 眞空熱處理爐였으므로 急冷의 必要가 없는 眞空燒鈍에 主로 使用되었다. 其後 眞空容器內에 取付한 冷却FAN에 依한 爐內에 導入된 窒素 GAS Ar GAS 등의 不活性 GAS를 強利攪拌하고 急冷이 可能한 GAS冷却式眞空熱處理爐가 開發되어 거의 空冷工具鋼의 燒入이 可能하게 되었다. 또 새로이 油槽付 眞空熱處理爐의 開發에 의해 油冷鋼까지 鋼種이 넓게 또 두꺼운 部品の 熱處理도 可能하게 되었다.

近年 500 Kpa~600 Kpa의 加壓狀態에 GAS FAN 冷却이 되는 加壓型 眞空熱處理爐도 開發되어 高康度工具鋼의 切朔工具의 燒入 및 STAINLESS 鋼의 固溶體化 處理도 可能하게 되었다. 또 冷却GAS에 對하여도 종래부터 使用되고 있는 窒素 GAS, Ar GAS에서 Helium GAS+Ar GAS, Helium GAS+窒素 GAS의 混合을 使用함으로써 冷却速度는 새로 改善되어 理論의 으로는 油冷却에 限하여 가까워지고 있는 것을 알 수 있다.

現在 金屬材料의 眞空熱處理는 一般化되었으나 여기서 한번 돌이켜보았으면 한다.

2. 雰圍氣로 하였을때의 眞空

眞空技術이라 하는 眞空은 氣體가 전혀 없다는 狀態 (絶對眞空)을 말하는 것이 아니고 大氣壓보다 낮은 壓

표 1. 眞空과 相當不純物量 및 露點

壓力 torr	100	10	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>
相當不純物量%	1.34	1.34	0.134	0.0134				
相當不純物量 ppm					13.4	1.34	0.134	0.0134
相當露點 C		+11	-18	-40	-59	-74	-88	-101

으로 되어 있는 容器內의 形態를 말하고 있다. 眞空熱處理에서 一般的으로 使用되는 壓力은 650 Torr(87 Kpa) ~ 1×10<sup>-6</sup>Torr(1.3×10<sup>-4</sup>Pa) 범위이다. 그의 目的 및 熱處理溫度에서 여러 壓力을 使用한다. 例를 들면 Ti 및 Ti 合金의 光輝處理의 경우 5×10<sup>-5</sup>Torr(6.7×10<sup>-3</sup>Pa) 보다 高眞空이 必要하고 工具鋼의 光輝熱處理에서는 Cr Si Mn 등의 脫元素를 防止하는 目的으로 5×10<sup>-1</sup>Torr(67 Pa)~1 Torr(133 Pa)의 壓力이 쓰여진다.

또 Zn Cd等 飛散하기 쉬운 元素 卽 蒸氣壓이 높은 元素를 포함한 Brazing 材 (銀 Braging 材)의 Brazing 에서는 650 Torr(87 Kpa)의 壓力이 쓰여진다. 그러나 低眞空領域이 쓰여지는 경우에서도 爐內를 일단 1×10<sup>-2</sup> Torr (1.3 Pa)보다 高眞空에 排氣 酸素鱗壓을 낮추어 N<sub>2</sub> Ar 등의 不活性 GAS에 의해 復壓한다.

眞空熱處理가 現在와 같이 發展해 온 主要因은 光輝熱處理가 壓力이라 하는 物理量은 比較的 용이하게 control 되는 것으로 추측된다. 眞空壓力과 相當하는 不純物量 및 不純物量이 전부 水鱗으로 하면 표 1의 값이 된다.

3. 眞空熱處理의 特徵 및 利點

3.1. 光輝熱處理

金屬表面의 酸化를 막고 金屬光澤을 잃지 않도록 保護분위기 GAS 또는 眞空中에서 하는 熱處理를 말한다.

金屬은 空氣中에서 加熱하면  $M + 1/2 O_2 \rightleftharpoons MO$  (M은 金屬)의 反應에서 酸化되어 scale을 生成하여 光輝性을 잃는다. 一般의 霧圍氣熱處理에 쓰이는 保護霧圍氣 gas로서는 水素 gas 암모니아 鮚解 gas 및 窒素 gas Ar gas 등의 中性 gas를 使用하나 露點으로도  $-30^{\circ}C \sim -50^{\circ}C$ 가 限度로 그것도 所要의 露點을 얻는 데는 長

時間의 Seasonning이 必要하게 된다. 한편 眞空의 경우 표 1에서 同一露占을 나타내는 眞空度는 10 Torr 程度로 容易하게 到達하는 壓力이다. 따라서 眞空中에서는 一般의 保護霧圍氣 gas에서는 光輝熱處理가 不可能한 Ti 및 Ti 合金도 光輝熱處理가 可能하다.

3.2. 脫炭 浸炭現象이 없다.

鋼의 熱處理에 있어서 脫炭層은 燒入하여도 充鮚硬化되지 않고 또 燒割의 原因이 되는 것으로 脫炭防止에 充鮚히 유의해야 한다.

霧圍氣熱處理에서는 鋼中の 炭素量과 霧圍氣의 炭素濃度를 같게 霧圍氣調整하는데 많은 시간이 걸린다.

한편 眞空中에는 金屬의 蒸氣壓은 표 2에 나타낸대로 高溫까지 安定되어 있고 眞空熱處理의 경우 脫炭 浸炭의 걱정은 전혀 할 필요가 없다. 이것은 研磨여유가 거의 없는 工具의 長 壽命에 역할을 한다.

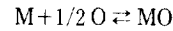
3.3. 脫脂作用

金屬의 表面에는 切削油 윤활제 등의 가지가지의 油脂類가 부착되어 있다. 이것은 比較的 蒸氣壓이 높은 것으로 眞空下에서 加熱하면 鮚解하기 前에 低溫에서 容易하게 蒸發하여 眞空容器의 水冷壁에 응축되다가 排氣系에서 除去된다.

따라서 眞空熱處理의 경우 특수한 被熱處理材를 除하고 處理前에 脫脂洗淨을 必要치 않다고도 한다. 그러나 一般的으로 眞空爐의 油脂類에 의한 오염을 防止하기 위하여는 有機質 溶劑 또는 酸洗等에 依한 脫脂가 이루어진다. 이러한 眞空中에서의 脫脂效果를 利用한 處理에 Stainless 線의 光輝燒鈍 Al foil의 脫脂燒鈍 燒結工程의 脫 wax 處理 등이 있다.

3.4. 脫 scale 作用

金屬의 酸化反應에는 다음 平衡의 成立된다.



이 平衡에서 溫度가 정해지면 酸素의 鮚壓은 一定하게 된다. 이 平衡壓을 해리압이라 한다.

熱處理霧圍氣中の 酸素鮚壓이 解離壓보다 클때 反應은 右로 進行하고 酸化가 적은때는 左로 進行 酸化物은 還元된다. 그림 1을 보면 鐵의 酸化物의 解離壓은 低壓測에 있고 一般的으로 熱處理爐로서 얻어지는 眞空度 ( $1.3 \times 10 Pa, 1 \times 10 Torr$ )에서는 鋼을 熱處理溫度에서 酸化가 通行하는 것을 나타낸다. 그러나 實際는 解離壓보다 높은 壓力으로 無酸化光輝熱處理가 되어 酸化

표 2. 金屬의 蒸氣壓

金屬名	記號	一定蒸氣壓對平衡溫度(°C)			(1.38)式係數		融點 [°C]
		10 m Torr	1 m Torr	1000 m Torr	A	10·B	
동	Cu	946	1141	1628	11.72	16.58	1083
은	Ag	767	936	1353	11.66	14.09	961
금	Au	1083	1316	1867	11.65	18.52	1063
베리울	Be	942	1130	1582	11.95	16.59	1284
마구네시움	Mg	287	383	605	11.82(s)	7.741	651
바리움	Ba	418	546	858	10.88	8.908	717
아연	Zn	211	292	—	11.94(s)	6.744	419
알루미늄	Al	843	1030	1465	11.99	15.63	660
인듐	In	667	840	1260	10.93	12.15	157
탄소	C	2129	2471	3214	14.06	38.57	—
규소	Si	1024	1223	1670	13.20(s)	19.72	1410
티타늄	Ti	1134	1384	1965	{ 11.25(s) 11.98	{ 18.64 20.11	{ 1727
질코늄	Zr	1527	1816	2459	{ 12.38(s) 13.04	{ 25.87 27.43	{ 2127
토리움	Th	1686	1999	2715	12.52	28.44	1827
게르마늄	Ge	897	1112	1635	10.94	15.15	959
주석	Sn	823	1042	1609	9.97	13.11	232
연	Pb	483	625	975	10.69	9.60	328
탄타럼	Ta	2407	2820	—	13.00(s)	40.21	2996
크롬	Cr	907	1090	1504	12.88(s)	17.56	1900
모리부덴	Mo	1923	2295	—	11.80(s)	30.31	2622
텅스텐	W	2554	3016	—	12.24(s)	40.26	3382
우라늄	U	1461	1730	2338	12.88	25.80	1132
망간	Mn	717	878	1251	12.25(s)	14.10	1244
철	Fe	1094	1310	1783	{ 12.63(s) 13.41	{ 20.00 21.40	{ 1535
코발트	Co	1249	1494	2056	12.43	21.96	1478
니켈	Ni	1157	1371	1884	{ 13.28(s) 12.55	{ 21.84 20.60	{ 1455
로듐	Rh	1681	1971	2607	13.55	30.40	1967
팔라듐	Pd	1156	1405	2000	11.46	19.23	1555
이리듐	Ir	1993	2340	3118	13.06	34.11	2454
백금	Pt	1606	1904	2580	12.633	27.50	1774

[註] A 列에 (s)이 표시되어 있는 것은 固體의 蒸氣壓이고 印이 없는 것은 液體時의 것이다.

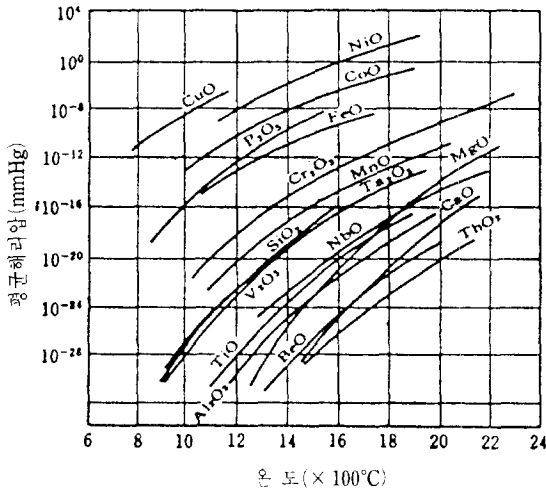


그림 1. 金屬酸化物の 解離壓

scale 이 붙은 部品에서도 逆으로 還元되는 것이 現状이다. 眞空中에서 加熱하면 表面의 酸化물이 低級酸化物로 變化하고 그 過程에서 일어나는 酸化物(suboxide)가 熱적으로 不安定하고 昇華를 일으킨다는 說이 有力하다.

眞空中에서 炭素와 酸化物を 접촉시켜 高温에 加熱하면 酸化물이 炭素에 의해 還元되는 現象이 있다. 따라서 scale 이 存在하는 部品를 眞空熱處理하면 scale 直下에서는 脫炭이 일어나는 것을 注意해야 한다. 一方 本現象을 利用하여 아도마이즈粉的 脫炭 脫酸處理 및 金屬酸化物の 환원처리가 眞空爐에서 일어난다.

### 3.5. 脫 GAS 作用

眞空下에서 脫 GAS 效果는 以前부터 眞空溶解의 鮚野가 크다. 一般的으로 金屬은 高温일수록 gas 의 용해도가 크다.

따라서 溶解狀態에서 急冷되면 金屬中の gas는 放出되지 않고 多量의 gas가 金屬中에 남아 Pin Hole Blow Hole 등의 결함이되고 또 機械的 性質을 老化한다.

金屬中の gas 의 溶解度는

$$C=KP(\text{Henry의 式})$$

C : gas 의 溶解量

K : 温度에 관하는 定數

P : 雰圍氣中の gas 의 鮚壓으로 나타낸다.

P 의 鮚壓을 낮추면 眞空中의 熱處理에서는  $P=O$ 에

가깝게 되고 金屬中에 GAS 量은 表面에서 擴散 → 表面에서 放出 → 排氣의 過程을 따라 減少해 간다.

眞空脫 GAS 熱處理로서는 Ti 材의 脫水素處理 鍍金後의 脫水素處理 및 眞空機器에 使用되는 部品의 脫 gas 處理 등이 있다.

### 3.6. 熱處理變形이 적다.

熱處理後의 變形은 後工程의 機械加工工數를 大幅으로 올리는 것으로 變形防止對策은 熱處理에서 重要的 課題이다.

眞空熱處理는 다른 熱處理方法에 比해 變形이 적다고 하는 報告가 많이 되고 있다.

變形에는 應力에 依한 變形과 物質自體의 組織變化에 依한 膨脹收縮이 있어 變形을 생각하는 경우 兩者를 區別하여 생각하여야 한다. 應力에 依한 變形은

- (1) 熱處理 前工程에서 建留應力에 依한 變形
- (2) 自重에 依한 變形
- (3) 加熱冷却時에 받는 熱應力에 依한 變形
- (4) 金屬組織의 變化(變態)에 依한 變形이 있다.

따라서 變形이 적은 熱處理를 하면 熱處理前에 鍛造 荒加工等의 建留應力을 미리 除去할 것 및 自動力에 依한 變形의 發生이 없는 均一加熱 均一冷却이 되도록 準備가 必要하다. 眞空熱處理가 變形이 적은 原因은 加熱이 放射加熱만으로 다른 加熱方式에 比해 완만한 加熱方式이므로 加熱時의 熱應力도 적어지기 때문이라고 推定한다.

그러나 一室型의 gas 冷却式 眞空熱處理爐의 경우는 爐溫이 常溫에서의 加熱이므로 加熱開始에서 冷却完了까지 被處理物이 移動하지 않으므로 移動時의 應力도 걸리지 않고 變形은 보다 적어지는 傾向이 있다.

표 3 표 4는 SKD 11 및 SKH 51을 一室型高速高壓,

표 3. SKD 11 變形 data

T/P 村法	保持方法	처리	A 점	B 점	C 점
φ 15×170 mm	달아냄	처리전	0.010	0.010	0.010
		소입후	0.008	0.003	0.005
	수평유지	처리전	0.010	0.010	0.005
		소입후	0.010	0.040	0.017
φ 30×300 mm	달아냄	처리전	0.010	0.010	0.010
		소입후	0.005	0.080	0.010
	수평유지	처리전	0.010	0.010	0.005
		소입후	0.010	0.080	0.010

표 4. SKH 51 變形 data

T/P 村法	保持方法	처리	A 점	B 점	C 점
φ 15×170 mm	달아냄	처리전	0.015	0.010	0.002
		소입후	0.020	0.025	0.001
	수평유지	처리전	0.010	0.008	0.005
		소입후	0.010	0.060	0.006
φ 30×300 mm	달아냄	처리전	0.010	0.008	0.008
		소입후	0.020	0.085	0.015
	수평유지	처리전	0.010	0.008	0.008
		소입후	0.010	0.150	0.010

## 1) 保持方法

針金を 垂直으로 달아냄 것과 basket 上에 水平으로 保持

## 2) 熱處理 cycle

· SKD 11

550°C × 40 min - 800°C × 30 min - 1020°C × 25 min

5 bar N G.F.C

· SKH-51

550°C × 40 min - 880°C × 30 min - 1180°C × 15 min

5 bar N G.F.C

## 3) 寸法測定

向 CENTER 에 의한 兩端(A,C) 및 中央(B)

gas 冷却方式眞空熱處理炉에서 實施한 丸棒의 變形 data 이다.

## 3.7. 品質의 安定性向上

眞空熱處理는 從來의 霧圍氣 gas 및 salt bath 熱處理의 것과 脫炭防止로 인한 霧圍氣 및 salt 의 번잡한 調整의 必要가 없고 또 열속熱鍊度도 必要로 하지 않는다. 其他 脫元素도 鉋壓 control(自動)에 의해 容易하게 防止되어 高度의 熱鍊度 및 經驗을 必要로 한다.

따라서 熱處理 lot 內 및 lot 間의 品質의 鉋布가 없어진다.

## 3.8. 品質 (耐久性)의 向上

眞空加熱에서는 脫炭 浸炭 및 脫元素에 의한 變質層의 發生이 없이 耐磨耗性을 向上시킨다. 또 脫 gas 作用에 의한 機械的性質의 向上도 종래의 熱處理에 비해 우수함을 報告되고 있다. 特히 熱處理后의 연마를 하지 않는 工具에서는 그 경향이 현저하게 나타난다.

## 3.9. 作業環境이 좋다.

現在의 眞空熱處理炉는 冷壁型이 거의이고 炉 外각은 常溫이다. 또 gas 도 窒素 gas Ar GAS 등의 不活性 gas 를 使用하는 것으로 安全하고 無公害로 作業環境이 매우 良好하다. 鉋壓 gas 로서 水素 gas 등의 可燃性 gas 를

使用하는 case 가 있으나 炉가 眞空容器로 되어 있음으로 폭발을 일으키는 걱정은 없고 또 排氣되는 可燃性 gas 가 油回轉 pump 排氣口부근에 空氣와의 接觸을 防止하므로 窒素 gas 에 의한 自動 Purge Line 이 되어있는 것도 있다.

## 3.10. 自動化가 容易(省力化)

眞空熱處理炉의 제어對象을 壓力 溫度 및 機械的 움직임만으로 自動化가 容易하다. 최근에는 炉內搬送를 포함 computer 를 設置하여 無人操業에 의한 省力化도 도모한다.

## 3.11. 炉 省 ENERGY

眞空熱處理炉의 경우 斷熱材로서, 熱容量이 적지만 斷熱效果가 높은 알루미늄(Alumina wool) 또는 Graphit wool 이 使用된다. 또 眞空이므로 放熱에 의한 熱損失은 종래 炉에 비해 매우 작다.

## 4. 眞空熱處理上的 注意事項

## 4.1. 脫元素 作用

金屬材料的 眞空熱處理에 있어서 眞空壓力를 낮게 하면 할수록 좋은 것은 아니다. 被處理材의 合金元素의 各各의 蒸氣壓에 의한 眞空壓力를 決定해야 한다. 即 熱處理溫度에 있어서 合金元素의 갖는 蒸氣壓보다 낮은 壓力에서 熱處理하면 金屬表面이 脫元素現象을 일으켜 變質層을 만들고 光輝性도 나쁘게 되고 표면이 거칠게 되는 原因이 된다.

工具鋼類의 合金元素는 때로는 脫元素를 일으키기 쉬운 蒸氣壓이 높은 元素는 표 2의 金屬의 蒸氣壓表에서도 알 수 있듯이 Mn Cr Si 등이다.

그림 2는 SKD 11의 操業의 例로서 이 熱處理 cycle 를 보면 脫元素의 發生하지 않는 溫度까지는 眞空加熱 (0.013 pa,  $1 \times 10^{-4}$  Torr)로 그后 窒素 gas Ar gas 등의 高純度不活性 gas 를 導入하여 一定鉋壓 (67 pa :  $5 \times 10^{-1}$  Torr)로 鉋壓 control 加熱하므로써 脫元素를 막는 것이 된다. 一般의으로 眞空熱處理炉는 全自動으로 gas 鉋壓調整이 되도록 되어 있다.

## 4.2. 窒化現象

眞空熱處理에 쓰이는 鉋壓調整 및 冷却用 gas 는 一般性으로 COST 面에서 窒素 gas 가 使用되고 있다. 그러나 窒素 gas 는 準不活性 gas 이므로 高溫에서 窒化物을 만들기 쉬운 金屬과 反應하여 窒化物을 만드는 예가 있

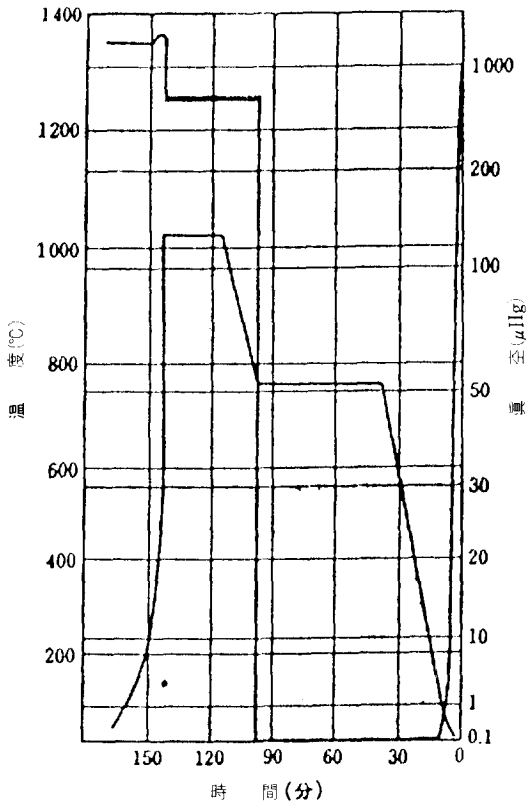


그림 2. SKD-11 操華例

다. 眞空熱處理 경우 金屬表面이 脫脂作用 脫 SCALE 作用 脫元素作用등이 보다 活性化되어 있으므로 이러한 窒化現象이 일어난다고 推測한다. stainless 鋼等を 1000°C 以上의 高溫에서 處理하면 窒化現象을 일으키므로 注意를 要한다. 例를 들면 SUS 304의 deep drawing 제품을 제작하는 中間燒鈍處理(1050°C 窒素 鮎壓 1 Torr, 窒素(gas 冷却)의 반복으로 微量인 表面窒化層때문에 deep drawing 時 crack 發生한 경험인 있다.

航空機關係의 眞空熱處理에 使用하는 gas 로서 나타나는 現象을 防止하기 때문에 窒素 gas 대신 Ar gas 가 一般的으로 使用되고 있다.

그러나 사진 1을 13Cr 系의 stainless 部品에 硬化目的으로 眞空爐로 窒化處理를 일으킨 斷面組織이다.

#### 4.3. 炭素粉末에 의한 局部的 浸炭現象

眞空熱處理爐의 加熱室의 斷熱材 Heater 加床等에 Graphite 材가 쓰여지는 例가 많다. 이 Graphite 材에서

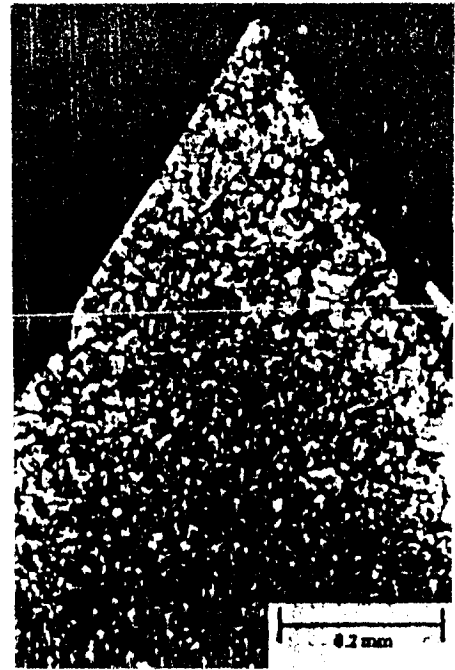


사진 1. stainless 鋼의 窒化現象

粉末이 高溫에 被處理物에 附着하면 局部的 過剩浸炭現象이 일어나 部品을 脆化시킨다. 特히, stainless 鋼이 極導物 小物나사 部品等の 熱處理에는 注意를 要한다. 따라서 이러한 部品을 熱處理하는 時는 加熱室에는 Graphite 斷熱材를 使用하지 않는 爐를 使用할 뿐이다.

#### 4.4. 鐵과 炭素와의 反應

鐵과 炭素와를 接觸시켜서 眞空中에서 加熱하면 4.3 項에서 말한 바와 같이 浸炭現象이 시작되고 그림 3의 鐵-炭素系의 狀態圖에서 共晶溫度 以上에 加熱하면 炭素의 浸入이 進行함에 따라 녹기 시작한다. 따라서 斷熱材에 Graphite 를 使用하고 있는 爐는 被處理物을 떨어뜨리지 않도록 주의해야 한다.

#### 4.5. 融着現象

高速度鋼의 燒入 파마로이等の 磁性燒鈍等の 高溫에서 熱處理時 被處理物끼리 또는 被處理物과 basket 와의 接觸部에 融着現象을 일으킨다. 이現象은 眞空中에서 脫脂作用 脫scale 作用 및 Cr Si Mn 等の 蒸氣壓이 높은 元素가 蒸發하고 金屬의 表面이 活性化되어 確散接合되는 것으로 推定된다.

融着防止對策으로는 高溫度處理時的 窒素 gas 鮎壓을

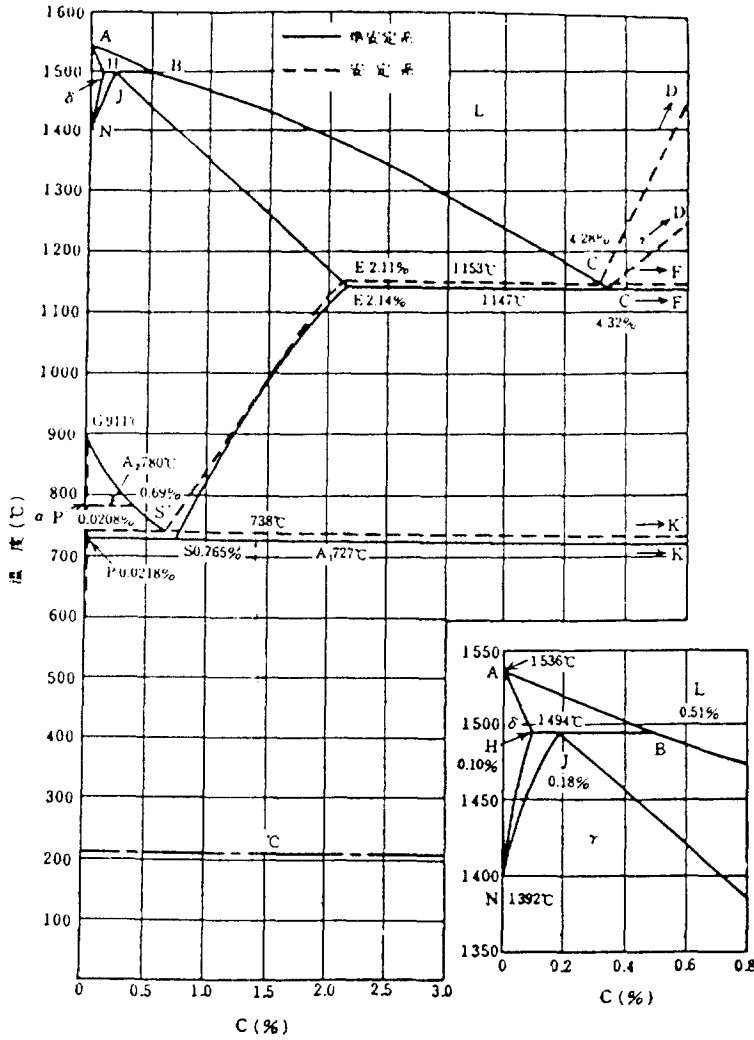


그림 3. 鐵-炭素系狀態圖

올리면 효과가 있다. 그러나 4.2 項에서 말한 바와 같이 窒化가 문제로 되는 部品에서 使用할 수 없다. 그외는 一般的으로 쓰여지는 方法으로는 Ti를 數% 포함한 耐熱鋼製의 保持具를 使用하든가 保持具에 離形劑의 塗布를 한다. 離形劑로서는 boronitride는 粉末  $Al_2O_3$  粉末 등이 있다. 한편 이 融着現象을 利用하여 stainless wool을 成形融着시킨 filter 部品이 있다. 그外 擴散接合處理에 眞空이 利用되어 있다.

4.6. 油冷時의 浸炭現象

高速度鋼을 眞空에 油燒入하면 蒸氣膜段階에서 解離하여 冷却劑에 의해 浸炭現象이 일어나 鋼의 表面에 炭

素가 附着하여 表層에 白層이 發生하는 것은 잘 알려져 있다. 이 浸炭現象防止策으로는 油槽上에서 100°C以下까지 窒素 gas에 의해 gas 冷却한후 油冷却을 하므로서 防止한다.

4.7. 550°C 以下の 低溫에서의 熱處理 眞空中에서의 加熱은 放射加熱이므로 다른 加熱方式에 비해 加熱이 完滿하여 熱應力에 依한 變形이 작은 利點이 있다. 그러나 全放射 energy  $w$ 는 stephan bontzmann의 法則에 의해 絶對溫度  $T$ 의 4 華에 比例하여 增加한다.

$$W = \sigma T^4$$

$\sigma$  : 比例定數

따라서 眞空加熱의 경우 低溫域에서 放射 energy 가 적으므로 가려진 部品の 昇溫이 極端으로 늦어지므로 準備 heat cycle 決定에 주의하여야 한다.

炉의 크기 裝入方法에서 多少 다르나 炉의 中心部에 놓여진 部品の 昇溫이 外周部에 비해 1~2時間 늦어지는 例도 있다. 이러한 理由에서 眞空中에서 燒戻處理는 原則적으로 피해야 한다.

또 航空機 業界의 熱處理規格中에서 550°C 以下の 眞空熱處理炉의 使用은 禁止하고 있는 것도 있다. 이들의 欠點을 除外하기 때문에 低溫處理는 일단 眞空排氣 中에 窒素 gas Argon gas 等の 不活性 gas 에 의해 復壓 (90 Kpa, 650 Torr) 되어 流氣加熱하는 低溫處理(燒戻) 用的 光輝熱處理炉를 쓰는 것이 바람직하다.

### 5. 眞空 熱處理 方案

#### 5.1. 洗淨

眞空中에서 加熱은 3.3項에서 말한 바와 같이 脫脂使用이 있고 油脂類가 附着해 있어도 耐解溫度에 達하기 前에 蒸發하는 것으로 一般鋼의 熱處理에서는 光輝性도 얻어진다. 그러나 이것의 油脂類는 眞空中에서 急激히 蒸發하기 때문에 眞空壓을 높여서 壓力回復에 作業時間이 길어져서 惡影響을 미친다. 또 蒸發한 油脂類는 一部는 排氣系에도 휩쓸어 油回轉 pump의 性能을 省소화시켜 一部는 水冷壁에 응축하여 炉內를 더럽히고 다른 高眞空을 필요로 하는 熱處理를 할때 문제가 있다. 따라서 眞空熱處理前에 충분히 脫脂洗淨할 必要가 있다.

一般的으로 쓰여지는 洗淨으로는 tricro ethylene 또는 tricro ethane 等の 有機溶劑에 의한 冷劑에 의한 冷液洗淨 및 蒸氣洗淨이 쓰여진다.

#### 5.2. 作業準備

熱處理에 있어서 如何히 變形을 적게 하느냐 하는 것은 매우 重要한 課題이다. 眞空熱處理는 다른 熱處理方法에 비해 變形이 적으나 準備方法이 不適合하면 失敗하는 例가 있다. 卽 作業準備는 變形防止의 重要한 key를 갖고 있다. 準備에는, 法則은 없으나 어떻게 놓으면 均一加熱 均一冷却이 되고 또 自重에 의해 變形이 없겠느냐를 생각할 必要가 있다.

#### 5.3. 熱處理 cycle 의 決定

眞空熱處理의 熱處理 cycle 을 만드는데는 昇溫速度 予熱溫度 維持時間 冷却方法 등 어떻게 定하면 좋을까 特

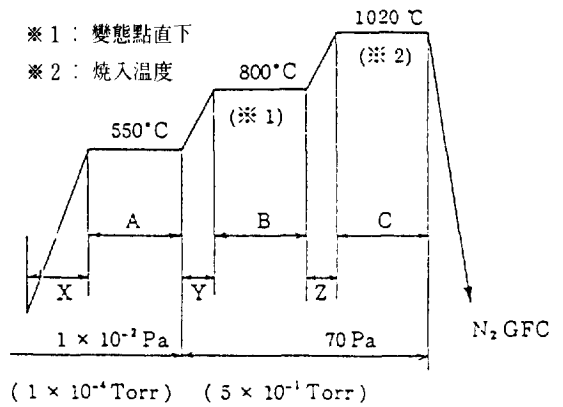
히 放射加熱의 昇溫速度 維持時間에 對하여는 適當하는 일이 있을 것으로 생각된다. 그림 5는 熱處理 cycle 의 決定法을 實驗 data 를 근거로 作成한 것으로 予熱의 維持時間은 處理物의 中心溫度가 目標溫度 -10°C에 到達할때 까지의 時間 燒入溫度 維持時間은 同一하게 -5°C에 到達해서 dies鋼의 경우 20~30 耐의 維持時間을 갖게 한 것이다.

### 6. 眞空熱處理의 實際

#### 6.1. 眞空燒鈍

##### 1. 冷間 및 熱間 dies 鋼의 燒入

(例) SKD-11, SKD-61



注: 1 Pa = 7.5 x 10^-3 Torr

##### 2. 高速度工具鋼의 燒入

(例) SKH-51

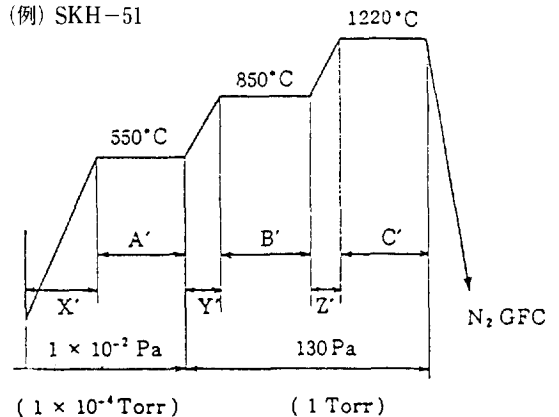
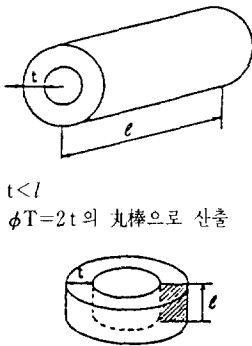


그림 5. 眞空熱處理 CYCLE 決定方法(1)

斷面形狀	(丸)	(正方形)	(長方形)
保持時間			
A=A'	40 鮚/ $\phi$ 25	$\phi \times 1.2$	$\phi \times 1.4$
B=B'	30 鮚/ $\phi$ 25	$\phi \times 1.2$	$\phi \times 1.4$
C	25 鮚/ $\phi$ 25	$\phi \times 1.2$	$\phi \times 1.4$
C'	12.5 鮚/ $\phi$ 25	$\phi \times 1.2$	$\phi \times 1.4$

- 注 1)  $\phi$  100 以下는 上表  
 $\phi$  100 를 초과하는 경우  
 C : 20 鮚/ $\phi$  25 C' : 10 鮚/ $\phi$  25  
 2) C, C'의 最小保持時間  
 C : 20 鮚 C' : 10 鮚  
 3) 中空丸棒의 保持時間



$t \geq l$   
 斷面形狀에서 正方形, 또 長方形의 算出基準에서,  
 $T=l$ 로 산출한다.

그림 5. 眞空熱處理 cycle 決定方法(2)

6.1.1. Ti 및 Ti合金의 光輝燒鈍

Ti의 熱處理에는 酸素(水鮚) 窒素 水素의 混入을 極力防止하는 것이 必要하다. 이러한 淸淨된 雰圍氣條件을 얻는 데는 眞空이 最適이다. 또 熱處理前의 洗淨도 完全 脫脂가 必要하다.

Ti의 光輝熱處理는 眞空中이라 하면  $5 \times 10^{-5}$  Torr ( $6.7 \times 10^{-3}$  Pa) 以下의 壓力이 必要하게 된다. 또 熱處理 爐로서도 放出 gas가 적은 한편 吸着 gas가 적은 構造 卽 金屬 heater 金屬라세이션 SEALED 構造의 爐가 필요하다.

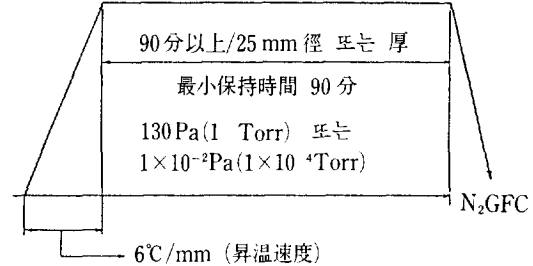
爐型式도 熱處理마다 大氣에 싸이므로 水鮚의 吸着이 있는 單室爐보다 2室型, 3室型의 쪽이 바람직하다.

昇溫速度

昇溫	X=X'	=Y'	Z	Z'
昇溫速度	10°C/mm	10°C/mm	10°C/mm	15°C/mm 以上*

3. 熱間 dies 鋼, 高速度工具鋼의 燒戻

燒戻의 溫度



4. 冷間, 熱間 dies 鋼 및 高速度工具鋼의 燒鈍

燒鈍溫度

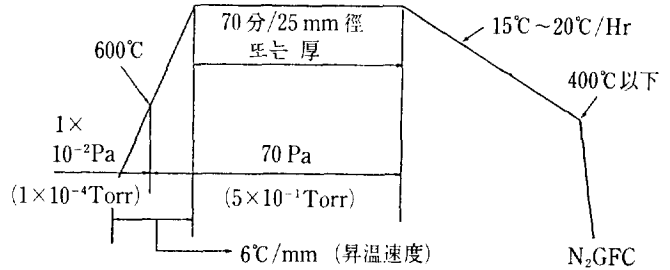


그림 5. 眞空熱處理 cycle 決定方法(3)

單空型에서는 吸着水鮚除去로 오랜시간 眞空排氣를 하면서 加熱하면 좋은 靛果를 얻을 수 있다.

그러나 간편한 것으로는 Ti 나 Ta의 箔에 싸서 多少 眞空壓力이 높아도 光輝燒鈍이 可能하다.

6.1.2. 磁性燒鈍

電磁軟鐵 添素鋼板 Permalloy 等的 眞空磁性 燒鈍이 많이 이루어지고 있으나 眞空中에서 處理하면 종래의 水素雰圍氣의 경우보다 더 磁性特性이 改善된다. 그것은 結晶粒界의 不純物이 빠져나가고 結晶粒의 成長을 容易하게 하고 있기 때문이다. 또 眞空爐에서는 從來爐에 비해 處理溫度를 올리는 것도 磁性特性의 改善에 역할을 하고 있다. 따라서 處理溫度를 올리면 被處理物과 같이 融着이 促進되는 것으로 준비에 주의할 必要가 있다.

6.1.3. stainless 線의 燒鈍

stainless 線의 光輝燒鈍時 壓力이 지나치게 낮으면 脫



Cr가 일어나 銀白色化하여 金屬光澤을 잃게 됨으로 주의할 必要가 있다. 1 Torr(133 Pa)程度의 耐壓으로 作業하면 해결된다.

6.2. 眞空(固)溶体化 處理

중래부터 眞空炉에서 溶体化處理는 해왔으나, 冷却速度的으로 두꺼운 部品 및 裝入量이 많아지면 不滿足스러워 졌다. 近年에는 冷却 gas 壓을 4~5 kg/cm<sup>2</sup>G로 하여 加壓gas 冷型 眞空炉의 開發이 되어 半冷 까지 約 2 耐의 冷却速도를 必要로 하는 SUS 304 및 waspaloy 等の 耐熱鋼의 溶体化處理等도 되는 冷却速度가 얻게

되어 航空機業界 他多方面에 採用되고 있다.

6.3. 眞空焼入

6.3.1. 眞空 gas 焼入

gas 冷却式眞空熱處理炉는 光輝熱處理가 된다. 脫炭浸炭이 없고 變形이 적은 作業環境이 좋은것 等 여러가지 利點에서 急速한 發展을 하였다.

初期의 gas 冷却式 眞空 熱處理炉는 650~700 Torr (87 KPa~93 KPa)의 減壓冷却式으로 큰金型 高速度鋼의 切削工具 等の 焼入에는 冷却速度가 不充耐하였다.

一般的으로 gas fan 冷却速度를 빨리 하는 手段으로는

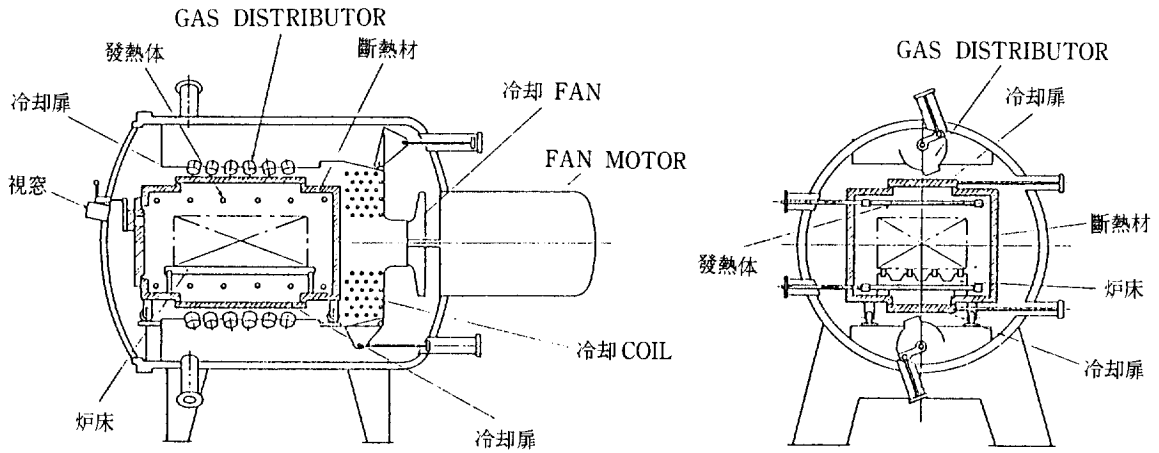


그림 6. 高速 gas 冷却式眞空炉. VTTC 構造圖

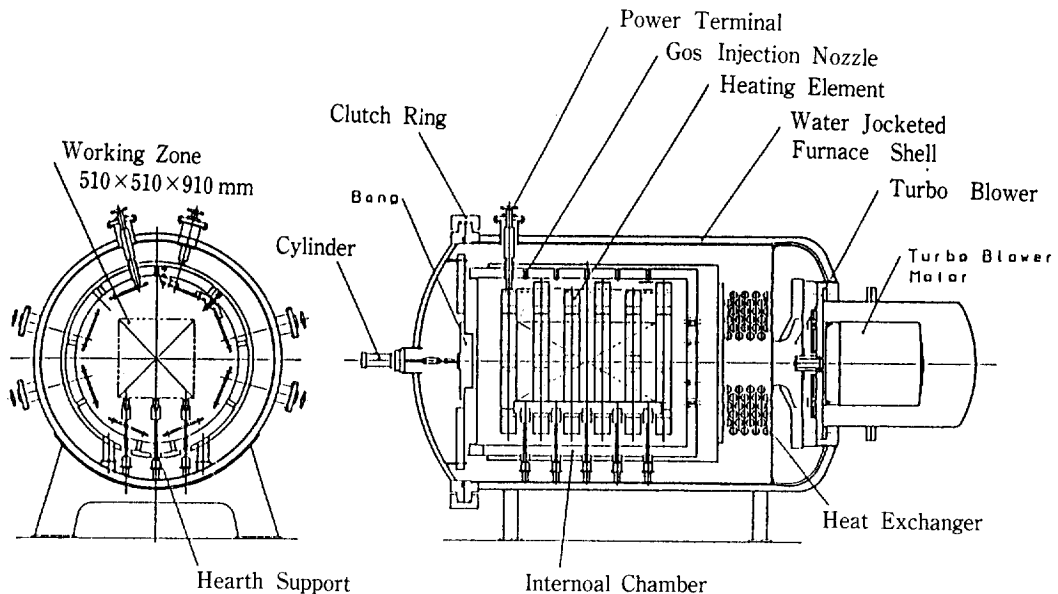


그림 7. 高速 gas 冷却式眞空炉, NTT 構造圖

- a) 熱傳導의 良好한 gas의 利用
- b) 冷却 gas 壓力의 增加
- c) 冷却 gas 循環量의 增加
- d) 순환 gas 溫度를 낮춘다 등이 있다. 眞空熱處理의 冷却 gas 体로서 水素 gas He gas, 窒素 gas Ar gas 等を 使用할 수 있다. 이것의 gas의 冷却能의 比는 窒素를 1로 하였을 때  
 $H_2 : He : N_2 : Ar \approx 2.2 \approx 1.7 \approx 1.0 \approx 0.9$ 이다. 水素 또

는 He을 使用하는 것은 冷却速度面에서 有利하나 安全面 및 價格面에서 一般의 窒素 gas가 使用된다.

$N_2$  gas의 被處理物과의 反應이 문제가 되는 경우는 Ar gas를 使用한다.

熱傳達係數( $\alpha$ )는 gas의 壓力(P) 및 gas의 風量(W)에 對하여 約 0.65乘에 比例한다.

$$\alpha = (W \cdot P)^{0.65}$$

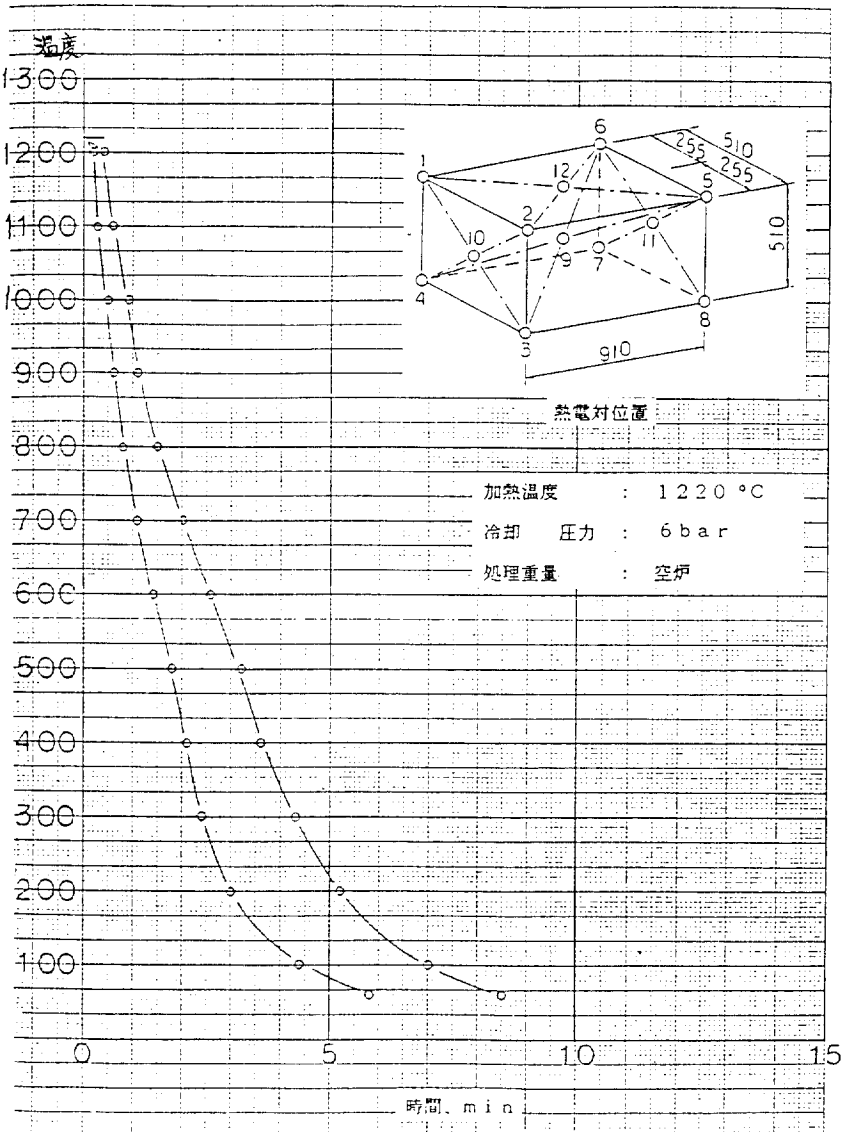


그림 8. NTT-450 PT 炉의 有效作業城의 冷却對布曲

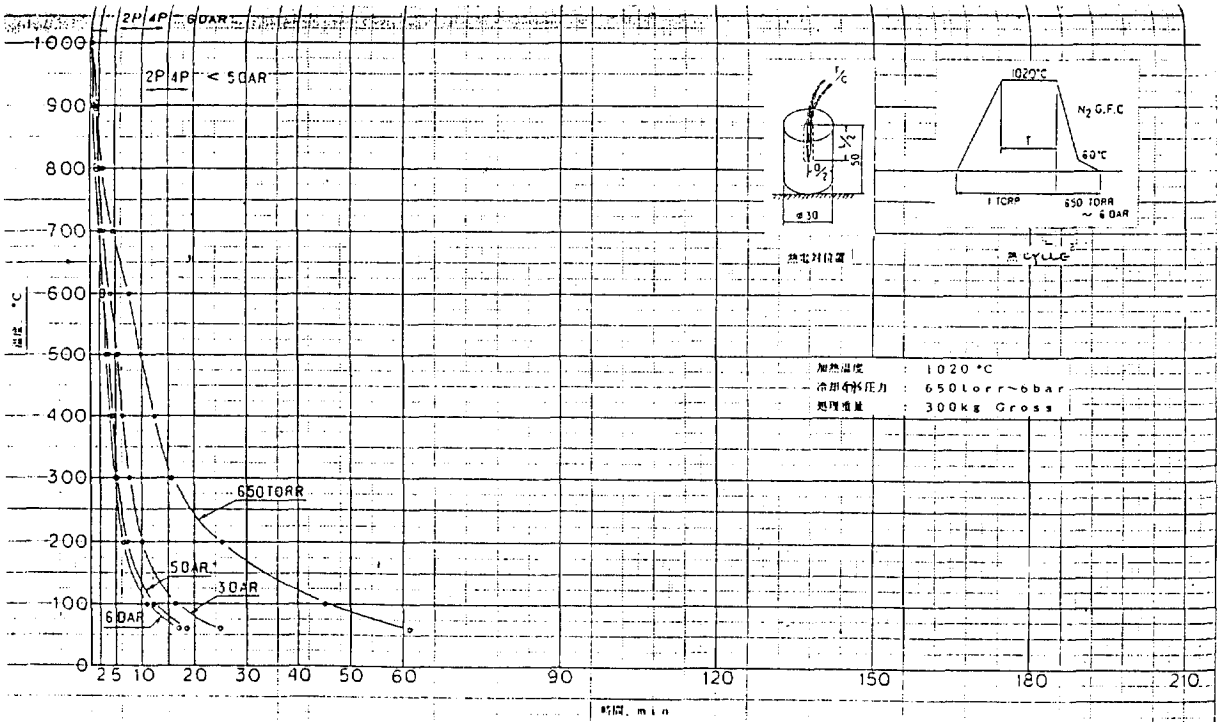


그림 9. NTT-450 PT 炉의 φ30 供試材中心部 冷却曲線

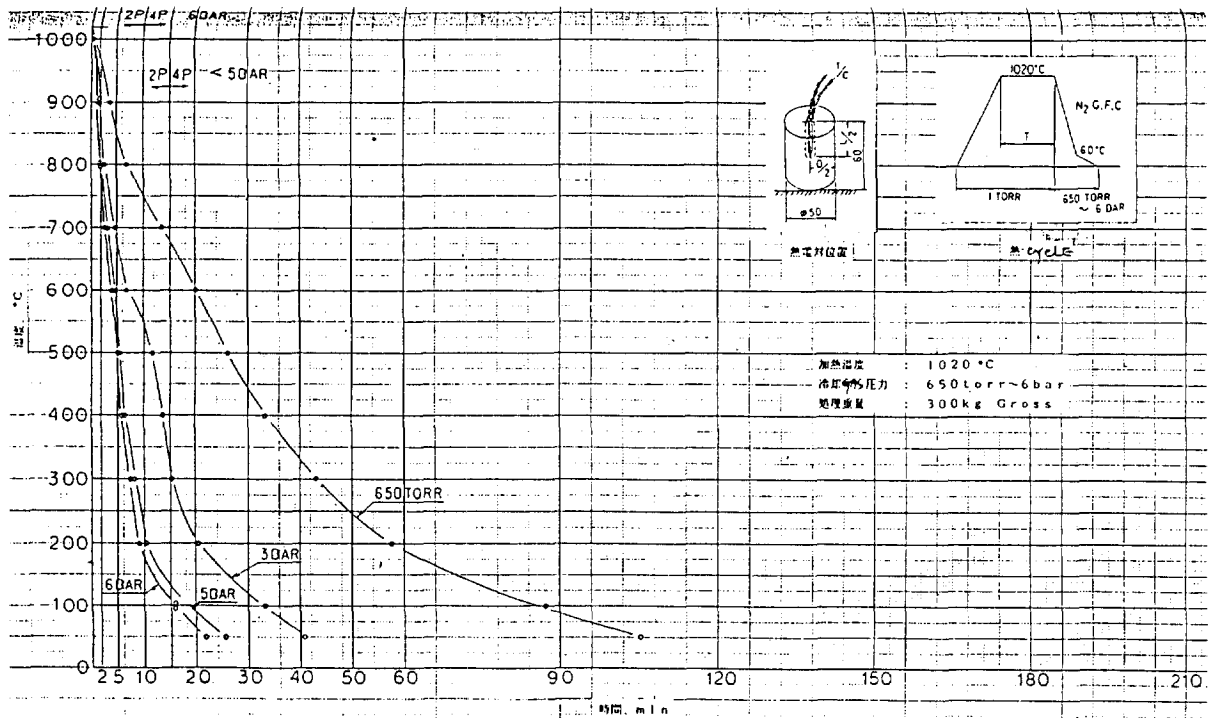


그림 10. NTT-450 PT 炉의 φ50 供試材中心部 冷却曲線

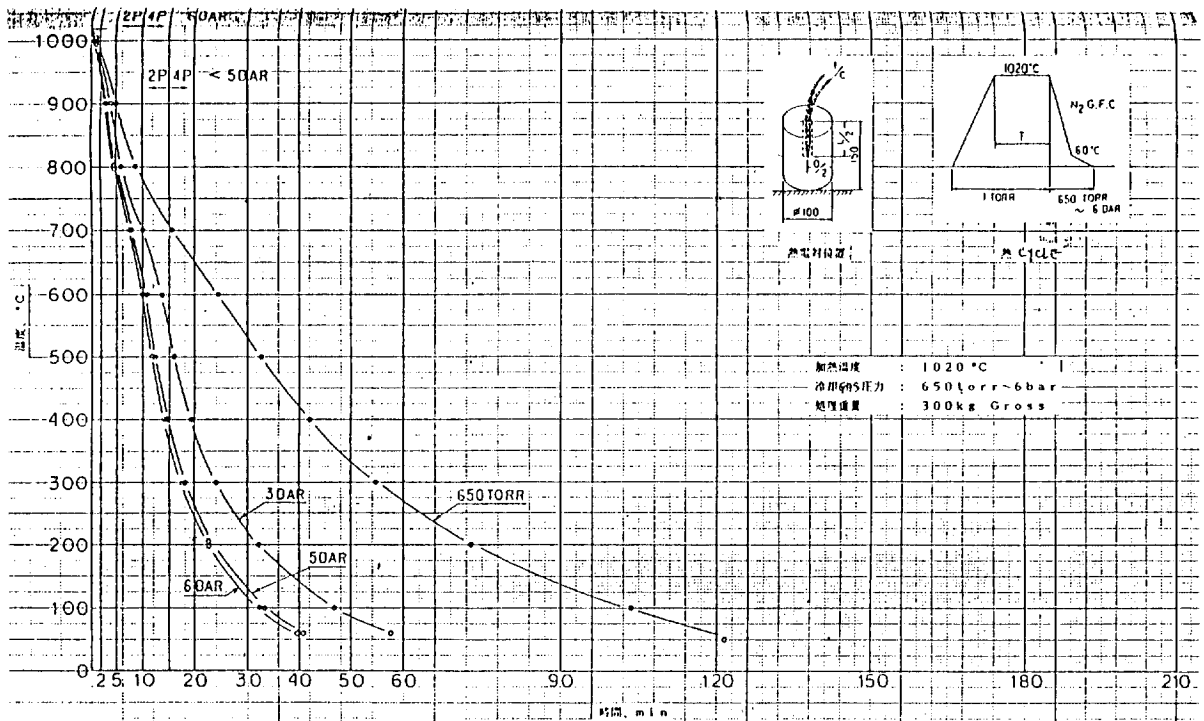


그림 11. NTT-450 PT 炉의 φ 100 供試材中心部 冷却曲線

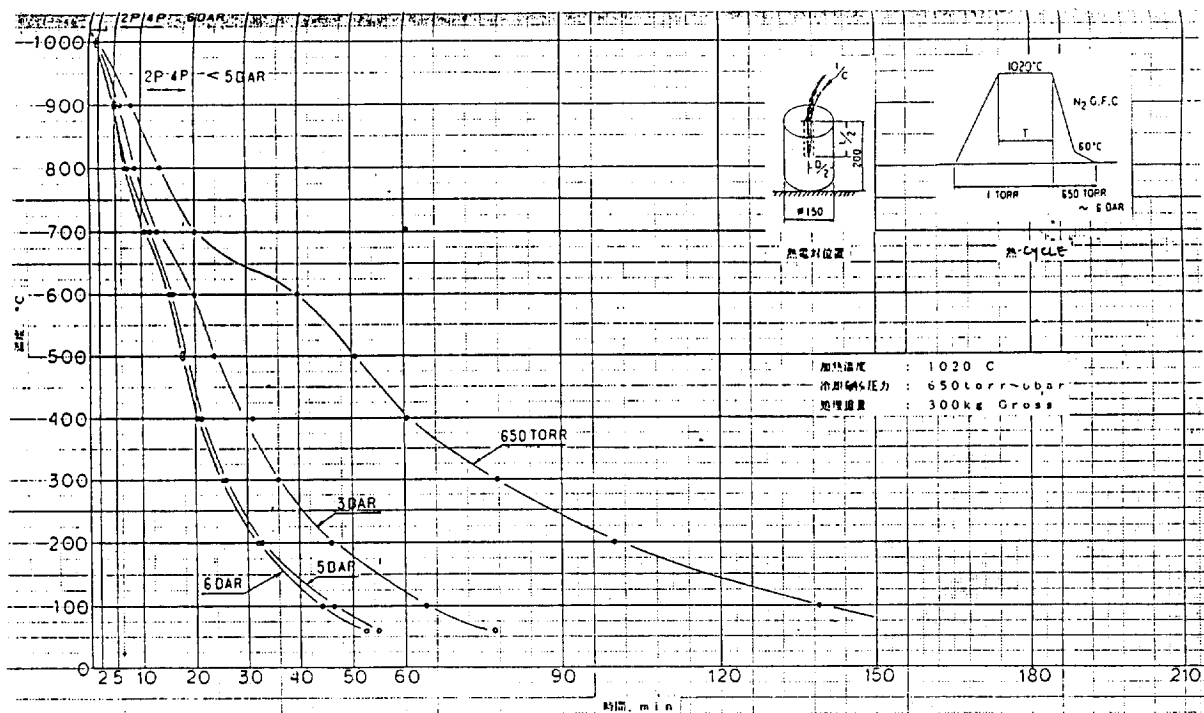


그림 12. NTT-450 PT 炉의 φ 150 供試材中心部 冷却曲線

即, 壓力를 倍로 하여도 風量을 倍로 하여도 冷却效果는 같다. 따라서 風量의 增加의 경우 風量이 風速에 比例하여 壓力損失이 風速의 自乘에 比例하므로 風量의 增加는 매우 큰 動力이 必要하게 되어 利得이 없다. 한편 壓力損失은 gas 壓에 比例하므로 gas 壓 增加에 比例하여 冷却 fan motor 를 크게하면 된다. 따라서 gas 壓 增加가 效率이 좋은 冷却速度의 改良法이다.

冷却 gas 의 溫度를 낮추는에는 冷却水를 使用하여 熱交換器에서는 限度가 있어 冷凍機를 使用하는 것은 cost up 이 된다.

그림 6.7은 IHI-ABAR IPSEN 의 高壓 高速 gas 冷却式 眞空熱處理爐 VTTC 型 및 NTT 型的 斷面圖이다. NTT-450 PT 에 依한 冷却鉋布測定結果를 그림 8 및 冷却速度測定結果를 그림 9~12 에 表示하였다. 即 冷却鉋布測定은 40×80 mm 및 冷却速度測定은 30φ×50 mm 50φ×60 mm 100φ×200 mm 150φ×200 mm 의 試驗片을 使用하여 冷却 gas 壓力 87 KPa (650 Torr) ~600 KPa 로 冷却한 各試驗片의 中心部에 있어서 測定值이다.

표-5,6 은 SKD 11 및 SKH 51 의 20φ×20 mm, 40φ×40 mm 60φ×60 mm 100φ×100 mm (SKH 51 은 實施하지 않았음)의 試驗片을 使用하여 冷却 gas 壓力 87 KPa~500 KPa 로 바꾼 경우의 燒入 燒灰后의 經度測定結果를 나타낸 것이다.

### 6.3.2. 眞空油 燒入

眞空中에서 熱處理는 비틀림이 적다고 말하지만 油燒入의 경우는 油冷時에 發生하는 熱應力 變態應力の 發生은 종래의 霧圍氣熱處理와 큰 차이가 없고 따라서 變形量도 달라지지 않는다.

最近은 眞空用 hot quench 油도 開發되어 Su<sub>2</sub> bearing 의 casing 의 燒入에 적용되어 좋은 結果를 얻고 있다.

一般的으로 油面壓이 낮은 蒸氣膜段階가 길게 되고 特性溫度가 저하하여 高溫域에서 冷却은 늦어지고 있다.

이것은 油面壓의 저하에 따라 沸占이 내려가기 때문이다. 따라서 一般的으로 眞空油燒入의 경우 油冷時에 大氣壓直下 (650 Torr, 87 KPa)까지 復壓한다. 그러나 이性質을 利用하여 油面壓을 調整하여 材質 形狀에 적합한 油冷速度를 얻고 變形量을 減少시키는 것이 可能하다.

### 6.3.3. 水燒入

水燒入의 경우 光輝性을 잃으므로 眞空爐를 使用할 必要性은 매우 적다.

Ti 合金 等은 溶体化處理로 眞空 purge 後 Ar 霧圍氣 加熱하여 水冷하는 것도 있다.

### 6.4. 眞空燒灰 및 時効處理

一般的으로 眞空中에서 光輝燒入한 部品을 燒灰時 酸化 着色시켜서는 光輝燒入의 意味가 없다. 眞空中에서 加熱은 放射加熱이고 低溫에의 加熱은 極端으로 放射 energy 가 적은 것으로 뒷面部鉋의 昇溫이 늦어져 處理時間이 길어지는 欠占이 있다. 그러나 低溫에서도 均熱安定時의 溫度鉋布는 더 나빠지지 않는다. 即 480°C ± 5°C는 충분히 可能하다.

眞空熱處理爐의 경우 燒入에서 燒灰까지 간단히 自動 cycle 로 잘 이루어지고 있으나 燒灰를 하는 경우 다음의 것을 注意할 必要가 있다.

- a) 放射가 充鉋히 되도록 준비
- b) 處理量을 줄인다.
- c) 保持溫度 -20°C ~ -30°C에서 予熱할 것
- d) 保持時間을 길게 잡을 것

그러나 이와같이 注意하여 作業하여도 高速度鋼의 燒灰組織을 보면 燒灰不足의 組織을 나타내는 때도 있다. 따라서 切削工具等의 燒灰는 眞空霧圍氣는 피하는 쪽이 좋다. 이러한 欠占을 除外한 光輝燒灰爐로서 一旦 眞空排氣한 후에 窒素 Ar 等の 不活性 gas 로 大氣壓直下까지 復壓하여 強性對流加熱 하는 것이 있다.

## 7. 眞空燒結

從來부터 使用되어온 燒結爐는 水素 gas 나 암모니아分解 gas 를 使用한 連續爐가 主体였다. 이러한 爐로서는 使用되고 있는 爐材 및 壽命의 面에서 高溫에서 使用하기 어렵고 1100°C 以下의 使用 밖에 되지 못하였다.

燒結品도 強度를 必要로 하지 않는 部品이 主였다. 眞空燒結爐에서도 爐材의 酸化에 의한 損失이 없으므로 炭素系의 爐材의 使用이 可能하게 되고 容易하게 高溫을 얻게 되었다.

眞空燒結에서는 脫 gas 效果와 高溫燒結이 되므로 機械의 性質이 改善된다. 따라서 最近에는 強度가 높은 部品에도 燒結品이 使用되게 되었다.

WC 의 燒結에는 以前부터 이루어지고 있으나

Tungsten 과 같이 酸素와의 親和力이 強한 元素를 含有한 燒結品은 眞空燒結이 매우 有利하다.

近年 希土類 磁石 (Sm-Co)의 燒結에 眞空燒結이 採用되고 있다. 其他 粉末 高速度鋼의 燒結에도 적용되고 있다.

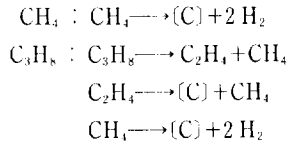
## 8. 眞空浸炭

從來의 GAS 浸炭法의 欠占은

- 1) 炉氣의 調整에 時間이 걸림
- 2) 作業 環境이 나쁘다
- 3) 高温浸炭이 되지 못하고 깊은 浸炭깊이를 얻는데는 長時間을 要한다.
- 4) 表面異狀層이 나타난다(Cr, Si, Mn 등의 粒界酸化).

眞空浸炭은 眞空中에서 被處理物을 加熱하여 表面을 淸淨케하여 活性化하여  $CH_4$ ,  $C_3H_8$  등의 炭化水素系의 gas 를 送入하여 減壓下에서 浸炭하는 方法이다.

炉内に 送入된 이들 gas 는 다음과 같이 高温에서 解離하여 浸炭이 이루어진다.



위의식에서 알수 있듯이 反應은 解離만의 一方通行이다. 解離에 의해 體積이 팽창한다. 解離는 被處理物의 触媒作用에 의해 解離된 原子狀 炭素 [C]가 浸炭에 關여한다. 따라서 裝入量이 많으면 당연히 解離量도 增加하여 炭化水素炉의 gas 의 消費量도 많게 된다.

위의 같은 條件下에서 항상 同一한 浸炭條件을 얻는 것은 壓力을 一定히 調節하는 것과 霧圍氣의 C 濃度 ( $CH_4$ 濃度)를 一定하게 할 必要가 있다. 炭素濃度 調節에는 一般의으로 赤外線에 依한 霧圍氣中の \*留  $CH_4$ 量을 제어하므로서 이루어진다.

霧圍氣 gas 로서는  $CH_4$ 를 使用하는 경우 眞空脫 gas 工程后 炉内를 浸炭霧圍氣壓에 復壓할 때  $CH_4$ 만으로 이루어진다. 그러나  $C_3H_8$ ,  $C_4H_8$  gas 를 使用하는 경우 炭素量이 많아서 窒素 gas 및 炭化水素 gas 를 所要比率로 送入하여 初期의 霧圍氣 炭素濃度を 一定히 한后 赤外線 제어로 炭化水素 gas 를 EN-RICH 하여  $CH_4$ 濃度を 一定히 제어한다.

眞空浸炭의 利點은

- (1) 光輝浸炭
- (2) 高温浸炭(浸炭時間의 短縮)
- (3) 均一浸炭(脫 gas, 活性化 處理后 浸炭 gas 送入)
- (4) 表面異狀層이 發生하지 않음(酸素의 存在가 거의 없다.)
- (5) stainless 鋼의 浸炭可能
- (6) brazing 과 浸炭이 同一 工程에서 된다.
- (7) 霧圍氣의 條件이 不要
- (8) 作業環境이 좋다
- (9) 浸炭 gas 의 消費量이 적다. 等이 있고 唯一한 欠占으로는 反應이 解離反應의 一方通行이므로 赤外線제어에 의하나 必要이상 充耐하게  $CH_4$  濃度を 제어해도 多少의 shooting 의 發生을 防止하는 것은 不可能하다. 그러나 最近의 眞空浸炭炉는 heater 및 斷熱材를 종래의 graphite 에서 SIC 및 Alumina 등 斷熱材로 變更하므로서 Burn out 가 可能하게 되어 shooting 도 解決하였다.