

目 録

6) 鍛錬及び熱處理並に各種仕上法

窒化法の研究 (V. O. Homerberg and J. P. Walsted, Trans. Am. Soc. for Steel Treat., Vol. XVI, October, 1929, pp. 67~103.) 著者等は第1表に示す組成を有する3種の鋼に就きアンモニア瓦斯に依る鋼の窒化法に關する諸問題を研究しその結果を報告してゐる。本報告は第1報であつて第2報は大體實驗済みであるから近く發表の豫定であると云ふてゐる。

第 1 表

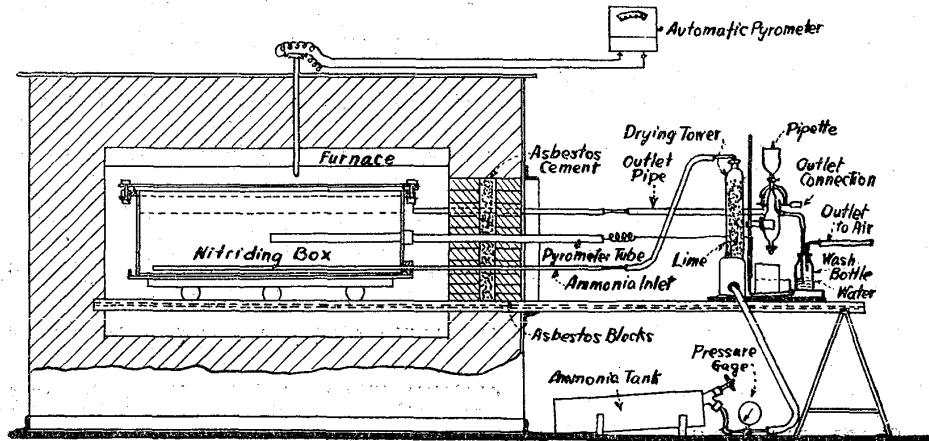
記 號	C %	Al%	Cr%	Ni%	Mo%
G 鋼	0.36	1.23	1.49	0.48	0.18
H 鋼	0.23	1.24	1.58	0.57	0.20
I 鋼	0.16	0.88	1.70	0.53	0.21

第1圖は本研究に用ひた窒化の装置で(説明略) 第2圖はアンモニアの解離度を測定する爲め特別に考案されたピペットである。

第2圖に示すピペットでアンモニアの解離度を測るには初めGに水を充たし次に 3 way

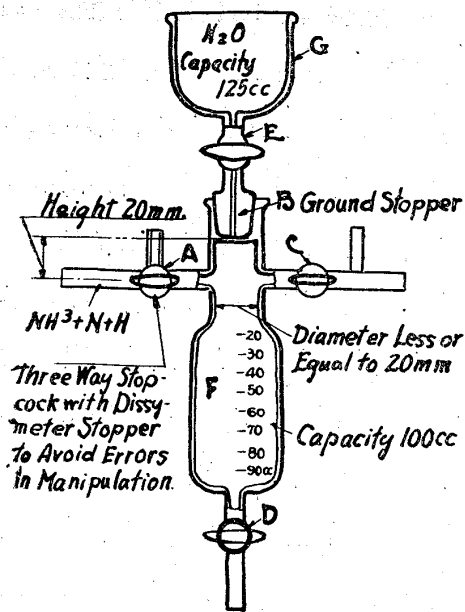
cock A より爐を通過せる瓦斯を導入せしめF中に充満させる。然る後Aを閉ぢEを開いて水をF中へ落下せしめる。F中に充満せる排出瓦斯はアンモニアの解離に由て生じた窒素及水素瓦斯及解離せず殘存せるアンモニア等の混合瓦斯で此等の瓦斯の中獨りアンモニアのみ水に吸収されるから殘存せるアンモニアの容積だけ水がF中に浸入し窒素及水素は溶けずに残る。故に浸入した水の容積からその解離度を知る事が出来る。

アンモニアの解離度は窒化鋼の表面硬度及窒化層の深さに及ぼす影響が大であるから瓦斯流速度を調製して恒に適當の解離度を保持せしめる事が必要である。著者等の實驗に依れば解離度 30% の時最良の結果を得たと稱してゐる。



第 1 圖

第1の實驗とし第1表に示す3種の鋼を 900°C 或は 955°C から油焼入し次に 425°C、480°C、



第 2 圖

540°C、590°C、650°C、705°C 及 760°C 等の温度に於て焼戻したものに就き牽引、衝撃及硬度試験をなしその結果を表示してゐる。そして此等の鋼を 500°~600 C で焼戻した物は極めて優秀な機械的性質を有し殊に靱性が大であると云ふ結論に到達してゐる。此實驗の目的は鋼材に如上の熱処理を施し粗粒組織とした後窒化する時最も強力な内心 (core) を得るから窒化した後の内心の機械的性質を知らんが爲めに行つたのである。そして最高硬度を得るには 510°C で窒化するを要するから上述の結果から見れば熱処理を施した後窒化を施すと内心の機械的性質は極めて良いものである事が解る。然し窒化作業中には約 510°C 邊で非常に長時間保持される故その性質も上述の結果より多少變つて来る。

次に鋼の機械的性質が窒化を施すとどう變るかを (G) 鋼に就いて研究してゐる。即ち (G) 鋼を 900°C で油焼入し 540°C~700°C で1時間焼戻した後 480°C で 90 時間窒化しその機械的試験を行つてゐる。其結果は第2表の示す通りである。

第 2 表 (G鋼)

焼戻温度	降伏點 lb/in ²	牽引の強 さ lb/in ²	延伸率 %	断面收 縮 率 %	シャルピ イ ft/lb
510	139,000	171,300	6.0	13.0	13.5
590	128,500	158,800	5.0	16.0	18.2
650	110,000	137,800	4.0	17.0	20.7
705	97,500	122,800	8.0	20.5	23.5
760	82,500	109,500	7.5	17.0	23.9
焼 鈍	63,500	101,800	8.5	14.0	11.4

衝撃に對する抵抗は窒化に依り甚しく減少される様に豫期してゐたが實驗の結果は第2表に見る如く衝撃値は相當に満足な結果を與へたと著者等は云ふてゐる。

又 Ni-Cr 鋼は 400°C~650°C 邊を徐冷すると所謂焼戻脆性を生ずる事は周知の事實であつて窒化法を施すには此邊の温度に長時間

保持した後徐冷せねばならないから内心が此焼戻脆性を生じないかの心配ある爲め次の如き實驗をした。Cr-Al 鋼に Ni 或は Mo を含有せるもの又は含有せぬ物に就き油焼入れの後 540°C で 2 時間焼戻し焼戻温度より 1 つは徐冷、他はその温度から焼入し、若しくは焼戻した物を 510°C で種々の時間窒化せる試料を作り此等の試料のシャルピイ衝撃値及ロツクウェル硬度數を測定し表示してゐる。その結果此等の鋼は何れも焼戻脆性を受けないと云ふ結論に到達した。但し窒化時間の増す程衝撃値が減少するが此れは窒化層の深さが増し内心の横斷面積が減少する爲めであつて内心固有の衝撃に對する抵抗には何等變化はないと云ふてゐる。殊に Mo を含有するものは充分長時間窒化して相當深い窒化層を作つても高い衝撃値を有する故窒化用鋼材として Mo を含有せしめると最も良好な結果が

得られる。

次に窒化に及ぼす温度と時間の影響を調べてゐる。先づ窒化温度の影響を調べる爲め(G)鋼及(I)鋼に就き 425°C~760°C の種々の温度で一定時間(48 時間)窒化し窒化層の深さ及表面硬度を測定

第 3 表

窒化温度 °C	窒化層の深さ(時)		ブリネル硬度數	
	“H”	“I”	“H”	“I”
425	痕 跡	痕 跡	700	800
480	0.010	0.012	1,140	1,160
540	0.020	0.025	990	960
590	0.028	0.030	905	840
650	0.040	0.045	780	765
705	0.051	0.057	685	670
760	0.047	0.050	670	670

した。其結果は第3表の示す通りである。第3表に見る如く 425°C 以上で窒化すると一定の層が出来るが760°C に至ると層の深さは却て減少する。又アンモニア瓦斯解離度は 650°C 迄は 30% に保持する事が出来たがそれ以上温度が上がると瓦斯流速度を増加しても解離度を 30% に保持する事が困難であつたと云ふてゐる。以上の結果から窒化法は其操業法を調製して表面硬度及窒化層の深さをある程度迄加減する事が出来る。即ち温度を上げると表面硬度は

高くないが其深さは大なる物が得られる。然し温度を上げると次の様な不利益が起ると著者等は附け加へてゐる。i) アンモニア瓦斯の解離が大となり従つて遊離せる H₂ が多量となり此事實と温度の高い事と原因して脱炭の現象が著しくなる。ii) 窒化に依り寸法の増加が著しくなる iii) 製品が變形し易くなる。

次に時間の影響を調べる爲め(G)鋼を 510°C で 24、48、72 及 96 時間窒化し顕微鏡試験に依て窒化層の深さを測定してゐるが其結果は時間の増す程その深さも増すと云ふ結果を得た。

次に窒化せる鋼に更に熱処理を施してその表面硬度を上昇する事が出来るかどうかについて試験してゐる。今その一例を抜萃すれば(H)鋼を 510°C で 90 時間窒化し 540°~1,095°C の間の種々の温度に再加熱し1つは再加熱温度より水焼入し他の1つはその温度より爐中冷却した試料に就きブリネル硬度數を測定した結果は第4表の示す通りである。

第 4 表

再加熱度 °C	ブリネル硬度數		再加熱度 °C	ブリネル硬度數	
	水 焼 入	爐 中 冷 却		水 焼 入	爐 中 冷 却
加熱せず	(965)		加熱せず	(965)	
540	1,005	955	870	750	600
590	935	942	925	790	500~550
650	920	920	980	765	590~550
705	770	750	1,040	790	450~500
760	715	680	1,095	800	450~500
815	760	600			

第4表に見る如く 爐中冷却した試料は再加熱温度を上昇する程その硬度數は減少し 540°C から焼入れたものは極少その硬度を増しそれ以上の温度から焼入れると却て減少し 760°C に於て極小となる。760°C 以上に於て稍々其硬度が増加してゐるのは A₁ 點以上であるからである。

次に窒化せる鋼の組織成分に就いて二三の顕微鏡試験の結果を報告してゐる。窒化

層の外側に白色の層が現れ此れは恒に同じ相の網狀組織及細いバンド狀の組織を伴ふ。此の白色相は

種々の実験結果からアームコ鐵を同様の條件で窒化した場合に生ずる針狀の相と全く同じであるから窒化物である事は確であり従つて鐵の窒化物が然らざるは此れに他の元素が液け込んでゐるものであらうと稱してゐる。又此網狀組織は熱處理したものより焼鈍したるものに現れ易い。そして此の組織が現れると大變脆くなるから白色網狀組織は可及的に避けなければならない。窒化する前に熱處理をして粗粒破組織とする目的の1つは此の網狀組織を可及的に少なくする爲めである。其他アンモニア解離度及窒化溫度等が此組織の現れるに重要な因子をなすと云ふてゐる。

尙鋼材の脱炭せる部分は充分注意して除去しないと窒化の後その部分が極めて脆くなり剝離したり又は孔を生ずる原因となる事を顯微鏡的に證明してゐる。

若し局部的に窒化を防ぎ度い時はその部分に Ni 鍍金をするか錫又はハンダを以て被覆してその目的を達する事が出来る。又著者等は第一酸化錫或は第二酸化錫等を以て被覆し同様に窒化を防ぐ方法を發明してゐる。

尙窒化鋼は大氣、水及鹽水等の腐蝕に對する抵抗が極めて大である事を實驗的に證明し最後に種々の溫度に於て窒化した場合に製品の寸法の變化を測定しその結果を表示し窒化する時は極少の寸法の増加を來たすと結論してゐる。(M. O.)

鋼の窒化の研究 (Oscar E. Harder, James T. Gow and Lowell A. Willey, Trans. Am. Soc. for Steel Treat., Vol. XVI, October, 1929, pp. 119~140)

第1編に於ては現在市場にある種々の鋼材及窒化に適する二三の特殊の鋼材に就き470°C及540°Cで窒化し窒化層の顯微鏡試験及其の硬度を測定してゐる。(第1編に於ける硬度測定はロツクウエル或はシヨア硬度計に依てゐる。)本編に於ける氏等の實驗の大要を記せば實驗第1。Cr-Mo鋼、Cr-Ni鋼、Cr鋼、Cr-Al鋼及Cr-Ni-Al鋼を470°Cに於て49時間窒化し、窒化に依る硬度の増加を表示してゐる。又其顯微鏡試験の結果 Cr-Al鋼は多少脆い従て穴の多い窒化層を作る事を知つたと云ふてゐる。

實驗第2。Ni鋼、高炭素鋼、(1.18% C) Cr鋼、Mn鋼及 Cr-Ni-Al鋼等を470°Cで90時間窒化して此等の鋼の窒化の可能性あるや否やを顯微鏡で調べてゐる。その結果は高炭素鋼は窒化されず Ni鋼及 Mn鋼は極少窒化されるが其窒化層の深さは Cr鋼の約 $\frac{1}{4}$ に過ぎなかつたと稱してゐる。

實驗第3。0.91% Cr 及 0.28% Mo を含有する試料に就き窒化する前の炭化物の分布狀態及其大さの窒化に及ぼす影響を調べてゐる。即ち上記の試料に種々の熱處理を施し炭化物の分布狀態を或は波來土或は粗粒破若しくは粒狀とし470°Cで90時間窒化した。その結果は焼入、焼戻して炭化物を極めて細く分布せしめた方が硬度の高い物を得られる。尙焼入焼戻して窒化した方が窒化後強靱な内心(core)を得られると云ふてゐる。

實驗第4。Cr-Si鋼、Ni鋼、Cr-V鋼、Cr-Mo鋼、Cr-Ni鋼、Cr鋼、Ni-Mo鋼、Mn鋼、Cr-Al鋼、Ingot iron等を焼入の後590°Cで2.5時間焼戻し540°Cで90時間窒化した。

實驗第4。Cr-Ni-Al鋼、Cr-V鋼、Cr-V-Si鋼、Ni-V鋼、Cr-V-Si鋼、Cr-Ni-V鋼、Cr-Mo鋼

等を焼入の後 590°C で3時間焼戻し 540°C で 90 時間窒化した。

實驗第4及第5に於て窒化せる各種の鋼の硬度を測定し表示してゐる。そして此等の實驗結果から著者等は次の結論を導いてゐる。Ni を含有せる鋼に就いて云へば單に Ni のみ含有する時はその硬度も餘り大とならず窒化層の深さも小であるがNiと共に Cr, Al, V 或は Mo が共存すると Ni は窒化に非常に有効となり又層の深さも大となる。

次に Cr を含有する鋼に就いては Cr-鋼に Ni 及 Si を加へると窒化に對し有害に作用する。即ち却て Cr のみを含有する方が良結果である。反之 Cr-鋼に Mo, V, 或は Al 等を加へると極めて良結果となる。又 Ni でも V と共に Cr-鋼に加へられると良結果となるは前述の通りである。Mo の影響に就いて云へば Mo-鋼はその表面硬度は餘り高くないが窒化層は深さは大である。Mo が Ni と共存すれば窒化層の性質を良くするが Cr と共存すると一層良くなる。

又 V-鋼も表面硬度は高くないが窒化層の深さは大であり此れに Cr を加へるか又は Cr 及 Ni を加へると甚だ良結果となる。

第2編に於ては窒化鋼の表面硬度及窒化層の深さに及ぼす溫度、瓦斯流速度及アンモニア解離度の影響を調べてゐる。用ひた鋼は Cr-Al 鋼、Cr-V 鋼及 Cr-Ni-Mo 鋼で4つの異なる溫度に於て瓦斯流速度を 1:6:18 の比に變じて試験してゐる。

本編に於ては硬度は Vickers 硬度計で測定しブリーネル硬度數に換算してゐる。著者等は實驗の結果を綜合して次の如く論じてゐる。

1. 窒化層に及ぼすアンモニア中の水分の影響。Cr-Al 鋼に 470°C, 525°C, 580°C 及 635°C等の溫度に於て全く乾燥せしめたアンモニア及水を通過せしめたアンモニアを通じて水分の影響を調べて見たが表面硬度及窒化層の深さには餘り影響がなかつた。又アンモニア中に水分を含んでゐても或は乾燥してゐても窒化鋼の表面の色には餘り相違がなかつたと云つてゐる。

2. アンモニアの解離度が表面硬度及窒化層の深さに及ぼす影響。Cr-Al 鋼の焼鈍状態及焼入、焼戻したものに4つの異なる溫度(470°C, 525°C, 580°C 及 635°C)に於て窒化した。各溫度に於ける瓦斯解離度はその流速度を加減して求める様にしてアンモニアの解離度が窒化層の表面硬度及深さに及ぼす影響を調べた。その結果から次の如き結論を下してゐる。

Cr-Al の焼鈍状態の物は解離度が増せば表面硬度が増加する様である。又解離度が減少すれば少しく窒化層の深さが増す傾向を有する。然し焼入、焼戻したものは此の關係が逆になる。

Cr-V 鋼に就いて云へば焼戻の状態では焼戻した Cr-Al 鋼と同じ結果で解離度が減少すれば表面硬度が上昇し解離度が増せば窒素滲入の深さが増加する。

3. 窒化溫度の表面硬度に及ぼす影響。Cr-Al 鋼に4つの異なる溫度 (470°C, 525°C, 580°C 及 635°C) に於て3つの異なる流速度を以てアンモニアを通じ得た結果を綜合して窒化溫度の影響に

就いて次の如く論じてゐる。

一般に温度が上昇すれば窒化層の深さが増す事は明瞭である。焼戻状態の物に窒化するとその表面硬度は 470°C の時より 525°C の時の方が高い。然し 525°C 以上に於ては (580°C 及 635°C) その表面硬度は急激に下降する。即ち焼戻状態の物に窒化すると 470°C の時その表面硬度は最高である。

尙 Cr-V 鋼及 Cr-Ni-Mo 鋼に就いて上と同様に 4 つの異なる温度に於てアンモニア流速度を 2 種に變じ試験した。其の結果に就いて云へば Cr-V 鋼はその表面硬度が 525°C の時最高であつて又層の深さも 470°C の時より 525°C 方が遙に大である。然し窒化温度が 580°C になると更に窒化層の深さは増すが表面硬度が著しく低下し 635°C になるとその硬度が最早論ずる價值のない程低くなる。

Cr-Ni-Mo 鋼に於てはその表面硬度は甚だ低いが温度の影響は大體上述と同様の傾向である。

4. 窒化中に於ける炭素の損失。Cr-Al 鋼の旋盤屑を 470°C で 23 時間窒化したが窒化前後に於

第 1 表

記 號	C%	Cr%	V%	Al%
79	0.361	—	—	—
152A	0.371	1.61	—	0.84
94A	0.348	0.84	0.19	—

第 2 表

記 號	炭 素 含 量 %			
	窒化前	470°C	525°C	580°C
79	0.361	0.329	0.310	0.212
152A	0.371	0.354	0.321	0.271
94A	0.348	0.323	0.314	0.235
解離度(平均)		13%	43%	56%

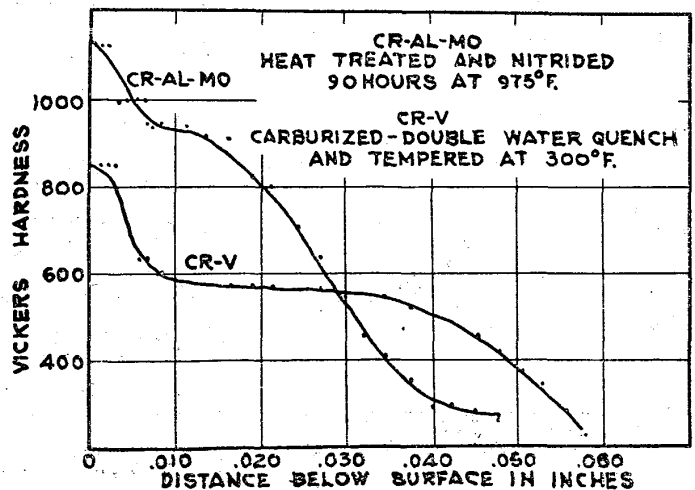
ける炭素含量に變化がなかつた。

次に第 1 表に示す 3 種の鋼を 470°C, 525°C 及 635°C で 50 時間以上窒化し窒化前後の炭素量を分析した。その結果は第 2 表の示す通りである。第 2 表は窒化中に炭素の損失する事を明かに物語るもので 470°C では極少ではあるが温度が上昇するに従ひ其損失も大となる。顯微鏡試験の結果も窒化に依り炭化物の減少を認め此の分析結果と一致したと云ふてゐる。尙第 2 表からアンモニアの解離度と炭素の損失との間には何か關係のある様に思はれると附言してゐる。(M.O.)

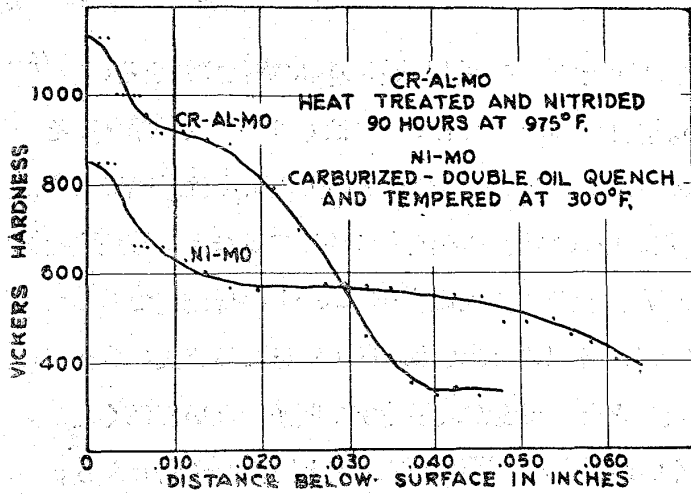
窒化法の研究。(Robert Sergeson, Trans. Am. Soc.

for Steel Treat., Vol. XVI, October, 1929, pp. 145~168)

第 1 節に於て窒化用鋼材の組成の變遷を述べ現今に於ては主として 0.80%~1.30% Cr, 0.60%~1.20% Al, 0.15%~0.25% Mo の組成の物が用ひられるに至つた所以に就いて論じてゐる。又炭滲鋼 (Cr-V 鋼及 Ni-Mo 鋼) を炭滲硬化せる物と 0.34% C を含有せる Cr-Al Mo 鋼を窒化せる物との硬度比較をなしてゐる。その結果は第 1 圖及第 2 圖の示すが如く



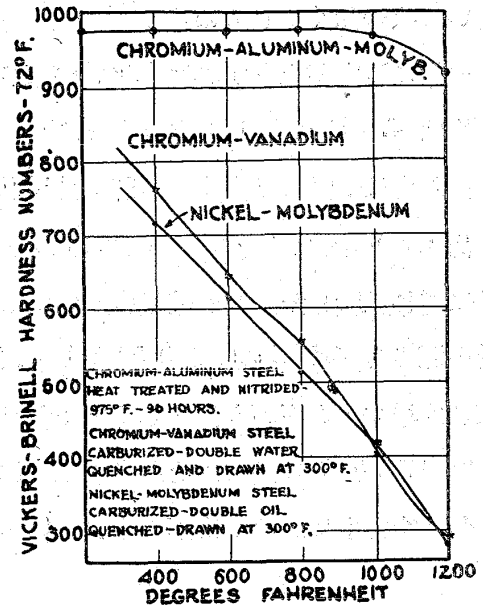
第 1 圖



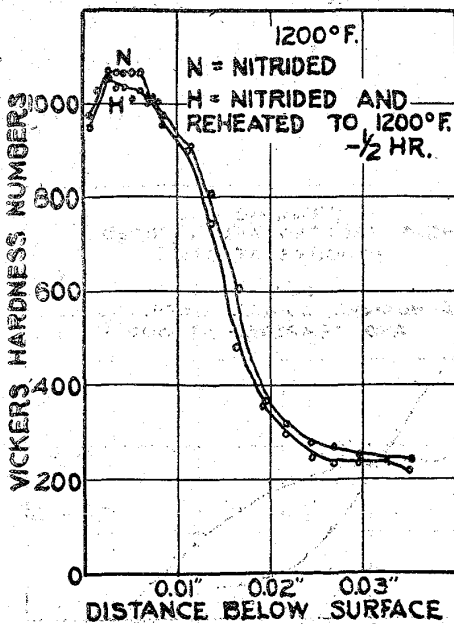
第 2 圖

である。此等の圖に見る如く表面から 0.030" 迄は窒化せる物の方が炭滲せるものより遙に硬くそれより中に行けば炭滲せる物の方が硬い、又窒化せる物は表面より内部に行くに従ひ徐々に硬度が變化する。

次に窒化に依り硬化せる物或は炭滲硬化せる物を 150°C, 260°C, 370°C, 485°C, 595°C, 及 650°C 等の溫度に再加熱し再び常溫迄降下せしめその表面硬度の變化を調べた。その結果は第3圖の示す通りである。圖に見る如く窒化せる物は 595°C (1,100°F) 迄再加熱しても硬度に變化がなく 650°C (1,200°F) に達すると極めて少し低下する。然るに炭滲硬化せる物は再加熱溫度の上昇と共に硬度は急激に下降する。



第 3 圖



第 4 圖

窒化せる物は常に再加熱して 650°C 邊迄表面硬度に變化しないのみならず内部の硬度にも變化がない。今その一例を示せば第4圖の如く窒化したまゝ及此れを 650°C (1,200°F) に再加熱したものの深さ一硬度曲線 (depth-hardness curve) が全く一致してゐる。

第2節に於ては先づ窒化に用ひた装置を説明してゐる。第5圖は著者の用ひた爐で特に注意すべきはアンモニアを廻流せしめ又爐内溫度を均一にする爲め爐の底部に fan を取付けてゐる事である。

次に第1表に示す4種の鋼に就いて窒化溫度及アンモニア瓦斯流速の影響を研究してゐる。第1表に示す試料を焼入、焼戻の後初め瓦斯流速を一定 (約 50 立/時) に保ち 510°C, 540°C, 595°C 及 650°C の4つの異なる溫度に於て何れも

第 1 表

試料番號	C%	Mn%	Si%	Cr%	Mo%	Al%	V%
3305	0.315	0.63	0.15	1.68	0.19	0.70	—
6124	0.28	0.58	0.09	1.68	—	0.73	0.07
381	0.50	0.50	0.24	1.68	0.26	0.58	—
408	0.35	0.66	1.00	0.98	0.23	0.58	—

一定時間(48時間)窒化し次に瓦斯流速を増し 200 l/hr とし 510°C 及 540°C の 2 つの温度に於て窒化し最後に更に瓦斯流速を増し 500 l/hr とし 595°C 及 650°C の 2 つ

の温度に於て窒化した。その結果から氏は次の如き結論を得た。

- 510°C 以上では瓦斯流速を増すと表面硬度及窒化層の深さが増加する。但し 510°C に於ては瓦斯流速を増しても硬度に餘り影響がない。
- 窒化温度が上昇するに従ひ硬度は減少するが硬度滲入の深さは増す。即ち此等の試験に於て 510°C の時表面硬度最高であつて窒化層の深さが最小である。そして 680°C では表面硬度最小であつて窒化層の深さは最大である。
- 窒化温度を一定にすれば瓦斯流速の増加はアンモニアの解離を減少する。又窒化操作中に C の損失する事を實驗的に證明してゐる。

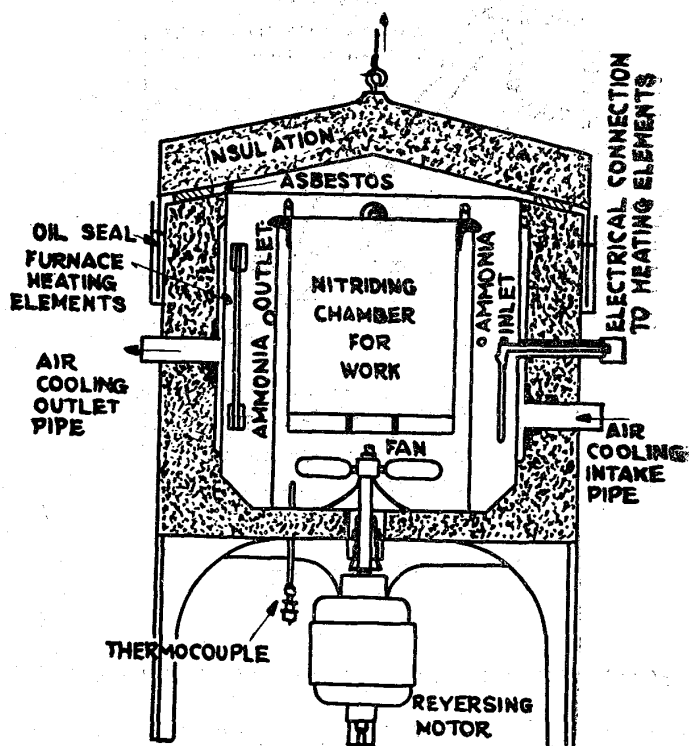
次に第 2 表に示す如き Al 含量を異にする 4 種の鋼を 525°C (975°F) に於て 90 時間窒化し表面よりの深さと硬度との關係曲線を求め

第 2 表

試料番號	C%	Mn%	Si%	Cr%	Mo%	Al%
3502	0.32	0.56	0.18	1.43	0.18	1.30
33.5	0.32	0.63	0.15	1.68	0.19	0.70
2582	0.34	0.50	0.10	1.62	0.20	0.20
3500	0.32	0.50	0.10	1.57	0.23	0.08

Al 1.3% 迄は Al の増加と共に表面硬度も増加する。

又第 3 表に示す 3 種の鋼に就き上と同様に窒化し Ni の影響を調べた。その結果は第 7 圖に示す通りである。氏は此結果から次の如く云ふてゐる。Ni は窒化を妨げる様な傾向を有するが Ni が Cr



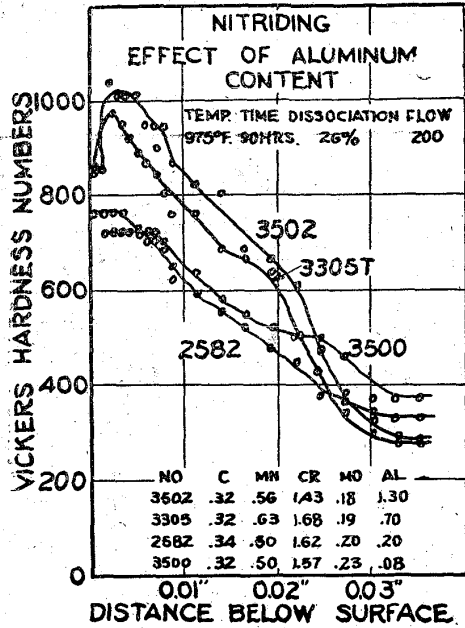
第 5 圖

Al の窒化に及ぼす影響を調べた。その結果は第 6 圖の示す通りで此結果から次の如き結論を下してゐる。極めて少量の Al の添加に由てもその表面硬度は著しく上昇し窒素の滲

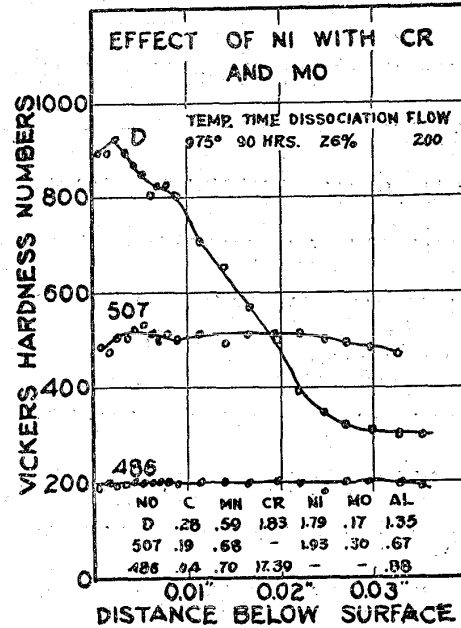
第 3 表

試料番號	C%	Mn%	Cr%	Ni%	Mo%	Al%
D	0.23	0.59	1.83	1.79	0.17	1.35
507	0.19	0.68	—	1.93	0.30	0.67
486	0.04	0.70	17.39	—	—	0.88

及 Al と共存する時は極めて優秀な表面が得られる (試料D)。又 Ni と Al 及 Mo と共存する時は表面硬度は餘り高くないが窒素滲入の深さの大なるものが得られる。

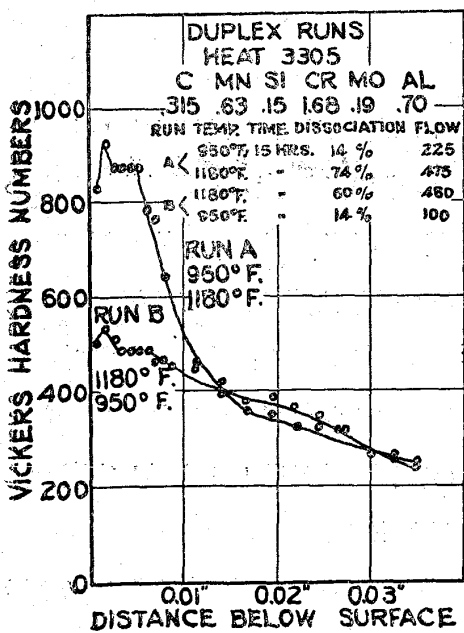


第 6 圖



第 7 圖

次に可反的に窒化時間を短くする目的で2つの窒化温度で窒化する方法 (Duplex run) を實驗してゐる。即ち(1)。瓦斯流速度 225 l/hr に於て 510°C (950°F) で 15 時間窒化し次に瓦斯流速度 500 l/hr



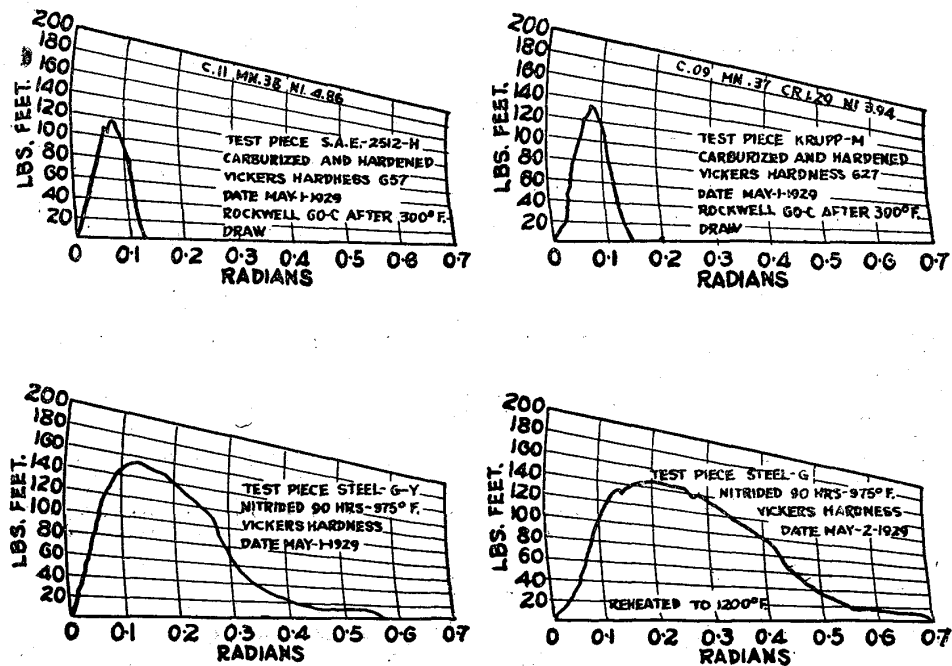
第 8 圖

に於て 640°C (1,180°F) で 15 時間窒化した。(2)。(1) の反對で初め 640°C で 15 時間窒化し次に 510°C で 15 時間窒化した。各温度に於ける瓦斯流速度は(1)と同じである。第8圖はその結果を示し圖に見る如く初め低温度に於て窒化し次に高温度に於て窒化した方が良結果を得てゐる。尙此2重操作は窒化時間を短縮し得る傾向を有する故大に研究する必要ありと力説してゐる。

第3節に於て窒化の失敗の主なる原因は窒化する前に鋼材の脱炭せる部分を注意して除去しない事による事を縷々述べてゐる。脱炭せる部分に窒化する時はその部分が著しく脆くなり容易に剝離しある場合には爪で剥ぐ事が出来る。その表面を顯微鏡試験すれば大きな窒化物の針状結晶

が出てゐる。氏は Cr-Al-Mo 鋼の脱炭の現象を調査する爲めに此れを 760°C~980°C の種々の温度に4時間加熱して顕微鏡試験をしてゐる。その結果は Cr-Al-Mo 鋼は 815°C 及 870°C に於て殆んど完全に脱炭し 760°C に於ては脱炭を認めず。反之 925° 及 980°C 或はそれ以上の温度に於ては局部的に脱炭し又夥しくスケールを生ずると云ふ結果になつた。

最後に窒化鋼は脆いが、そしてその窒化層の脆さを知るには如何に試験す可きかと云ふ點に就いて論じてゐる。その脆さは Rockwell 硬度計でダイヤモンド、コーンを用ひ荷重を取除いて試験し生じた凹みを顕微鏡で調べてゐる。即ち脆い窒化層は剥げて飛び脆くない時は放射狀に龜裂が入る。次に既に脆いと解つてゐる試料を酸化を防ぐ目的で鐵屑中で再加熱して見た。所が 540°~595°C では影響は少なかつたが 620°C 及 650°C に再加熱した物は脆くなくなつた、故に窒化温度を2重にし、即ち 525°C に於て種々の時間窒化しその終りに於て 580°C迄温度を上げ5分間、2時間及40時間保持して後温度を下げ 150°C になつてから爐外に出しその窒化層の脆さを上記の通り Rockwell で試験した。その結果はその硬度は Bickers Brinell で 900 以上あつたにも不拘脆い窒化層は一つもなかつた。即ち上述の如き2重操業法を施すと硬度を殆んど犠牲にせず窒化層の靱性を著しく増すと結論してゐる。



第 9 圖

又氏は Humpfrey Slow Bend Test で Cr-Ni 鋼及 S. A. E. 2512 鋼を炭滲硬化せるものと Al-Mo-Cr 鋼を窒化せるものとの靱性の比較試験をした。即ち同試験機で Stress-Strain diagram を書き試料の切れる迄のエネルギーを比較した。その結果は第9圖の示す通りである。圖に於て見る如く窒化鋼の方が炭滲鋼よりも強靱である事が知られたと云ふてゐる。(M.O.)

窒化法に関する二三の實際問題 (H. W. Mc Quaid and W. J. Ketcham, Trans. Am. Soc

for Steel Treat., Vol. XVI, October, 1929, pp. 183~195.)

第1に現在の窒化法は Al, Cr 及 Mo を含有する鋼を約 540°C で窒化する事又最近の進歩せる方法ではアンモニア瓦斯を廻流せしめて窒化時間を短縮し得る事等に就いて述べてゐる。次に窒化せる鋼の特質を述べ炭滲法との比較をしてゐる、今著者等の論旨の概略を記せば窒化法に依れば全く製品の變形なしに硬化する事が出来而かもその硬度は 650°C 位迄温度を上げて降下しないから常温は勿論高温に於ても耐磨耗の性質を失はない。又窒化せる物は大氣中に於て腐蝕に對する抵抗が大である。特殊の鋼に適當の條件で窒化を施すと何れの點から見ても炭滲法に依り硬化せるものより優秀な製品を得ると結論してゐる。

窒化法は如上の特徴を有するがその鋼材が炭滲鋼より稍々炭素含量高き故(約 0.35%C) 多少機械的作業が困難であり又經濟的見地から此れを見れば窒化法は炭滲法より遙に劣つてゐる。故に此後の研究問題は窒化法に依る生産費の低下であつて此問題は窒化操業の諸條件が窒化に及ぼす影響を調べ窒化時間の短縮を計る事に在りと論じてゐる。

次に著者等は Timken-Detroit Axle Co. に於て次の組成の鋼に就いてなした實驗結果を述べてゐる。

C%	Mn%	Cr%	Al%	Mo%	Ni	Si	S	P
0.36	0.51	1.49	1.23	0.18	0.50	0.27	0.010	0.013

先づ此鋼材に熱處理を施してから窒化した物と熱處理を施さずに窒化せる物との Izod 衝擊試験の結果を比較してゐる。その結果は第1表の示す通りで明かに窒化する前に熱處理した方が衝擊値が大である。又氏等はその焼入温度は 925~950°C を推奨し窒化に依り製品の變形を防止せんとする ならば此れを焼戻すべしと云ふてゐる。

第 1 表 (940°Cで時間窒化)

窒化する前の熱處理	Izod. 衝擊値 ft.-lbs	
	Notched values	Unnotched values
處理せず	½~1	1~1½
870°C 油 燒入	33~38	88~89
925°C 油 燒入	38~43	97
980°C 油 燒入	43~46	116

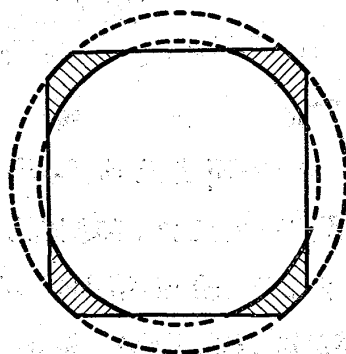
である。又氏等はその焼入温度は 925~950°C を推奨し窒化に依り製品の變形を防止せんとする ならば此れを焼戻すべしと云ふてゐる。

實驗第 1。深さ對硬度曲線 (Depth-hardness Curve) に及ぼす C の影響。

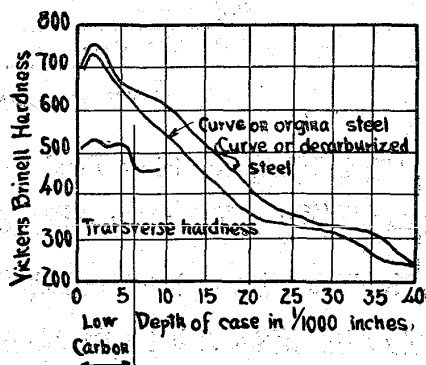
上記の Al-Cr-Mo 鋼の丸棒を酸化氣流中で熱し約 1/16" の厚さの脱炭層を作り第 1 圖の如く四隅の所だけ元の表面を残して

て角に削り (即ち脱炭せる部分を四隅に残す) 此れを 650°C で 24 時間窒化し硬度及顯微鏡試験をした。

硬度試験の結果は第 2 圖に示す。その結果は炭素は窒化を妨げる様に影響すると云ふ從來の結果と異つて低炭素 (脱炭せる部分) の部分も脱炭しない炭素の多い部分も同様にそ



第 1 圖



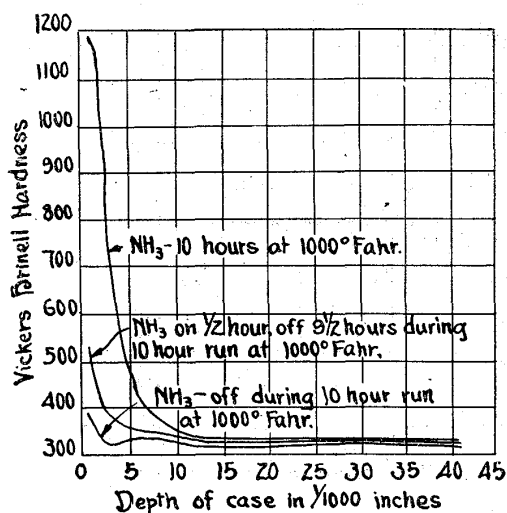
第 2 圖

の硬度数は大である。脱炭せる所には針状結晶が澤山見る事が出来るが炭素の多い部分には見かけではそれが少ない。然し倍率を高くすればCの多い部分でも見る事が出来る。窒素滲入の速度は炭素の低い方が早い窒化物は炭素の少ない鋼では粗い結晶の粒界に網状に出易い故脆くなるであらうから此點に就いては更に研究を要すると云ふてゐる。

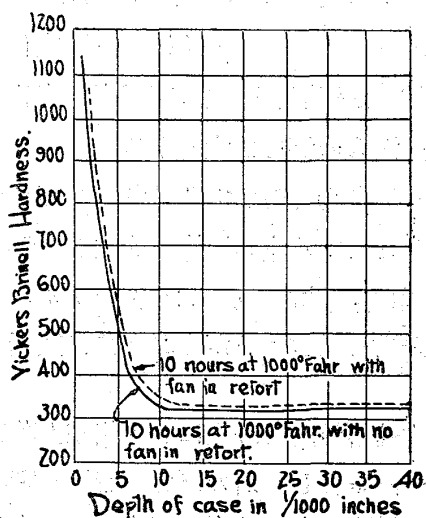
實驗第 2。深さ對硬度曲線に及ぼすアンモニア流速度及解離度の影響 他の條件を一定にし(窒化温度 504°C, (1,000°F) 時間 10 時間、アンモニアの壓力水柱 1 吋) アンモニア流速度を變じ深さ對硬度曲線に及ぼすアンモニアの流速度及解離度の影響を研究してゐる。アンモニアの流速度は
(第 1) 窒化時間 10 時間中恆にアンモニアの解離度 88% になる様に容器中にアンモニアを通過せしめた。

(第 2) 30 分間(第 1)の如く瓦斯流速度及解離度を保持し次に容器を密閉し 9.5 時間保持した。

(第 3) 容器の冷い中にアンモニア瓦斯を充滿せしめ次にこれを密閉し 540°C で 10 時間保持した。



第 3 圖



第 4 圖

その實驗結果は第 3 圖の示す通りである。

此結果から解離して生じた水素の量が多くなると窒化物の生成が困難となり餘り解離度が大となると窒化作用が止まる事を知る。

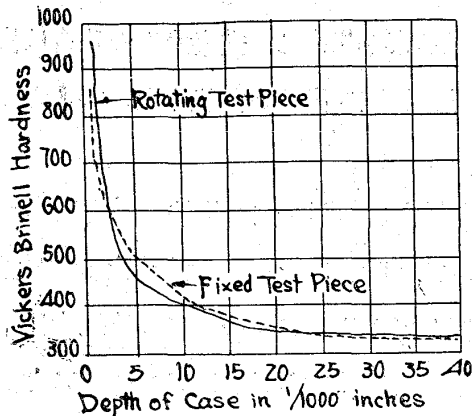
故に實際に窒化を應用する場合に解離度が餘り高いと即ち餘り瓦斯流速度が遅いと良結果でない。解離して生じた水素が窒化物を作る事を妨げる。

實驗第 3。深さ對硬度曲線に及ぼすアンモニア廻流の影響 アンモニアの解離を可及的一定(±5%)に保ち或は取付けた fan を廻轉しアンモニアを廻流せしめ或は fan を靜止して窒化し瓦斯廻流が深さ硬度曲線に及ぼす影響を研究してゐる。その結果は第 4 圖の如くである。

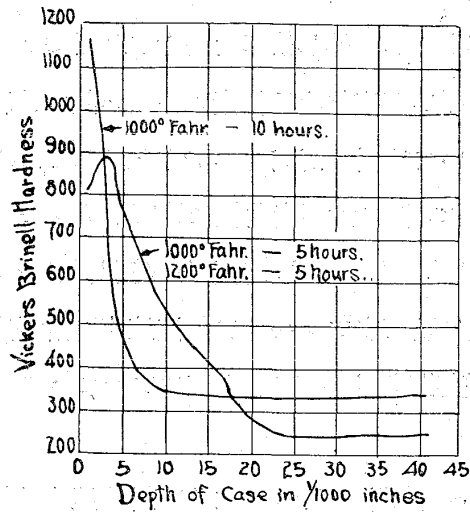
アンモニアを廻流せしめる代りに試料自身を毎分 3,100 回廻轉せしめつゝ窒化したものと同じ試料を靜止したまま窒化したものとの比較試験を行ふてゐる。その結果は第 5 圖の如くである。

第 4 圖及第 5 圖は fan を取付けて瓦斯を廻流せしめても亦試験片を廻轉しても此等の方法を施さないものと同じ結果である事を示す。然し此結果だけで瓦斯の廻流は何等效がないと決論する事は出来ないが自然にアンモニア

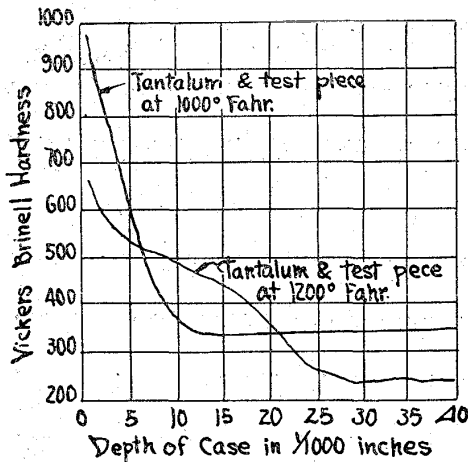
を通するだけで試験片の上に水素の停滯するを防止する事が出来ると著者等は云ふてゐる。



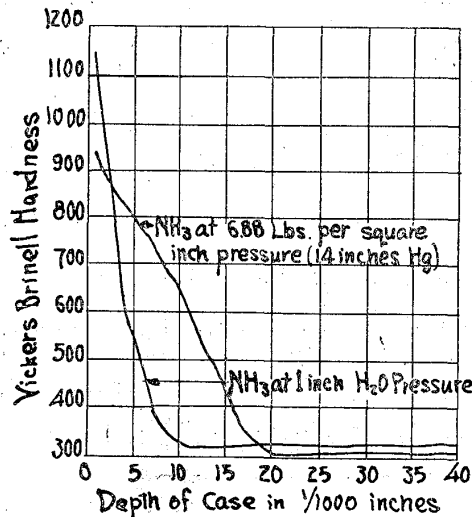
第 5 圖



第 6 圖



第 7 圖



第 8 圖

實驗第 4。深さ對硬度曲線に及ぼす高温及低温 2 重窒化の影響 第 6 圖は 540°C (1,000°F) で 10 時間窒化せるものと初めの 5 時間は 540°C で窒化し次に 650°C (1,200°F) に温度を上げ 5 時間窒化し 2 重温度で窒化せるものととの深さ對硬度曲線の比較を示す。その結果は低温、高温 2 重温度で窒化したものの方が低温のみで窒化したものより表面硬度は低いが硬度滲入の深さは大である。

實驗第 5。水素の影響 試料をタンタルムの屑で掩ひ 540°C (1,000°F) 或は 650°C (1,200°F) で 10 時間窒化した。此實驗は解離して生じた水素をタンタルムに吸収させて水素の影響を除去して深さ對硬度曲線に及ぼす水素の影響を調べ様としたのであるがその結果は第 7 圖に見る如くタンタルムで水素を吸収せしめても良結果とならなかつた。タンタルムは水素瓦斯を吸収するがそれと共に窒素も吸収するらしい。

實驗第 6。深さ—硬度曲線に及ぼすアンモニアの壓力の影響 大體解離度を一定にし水銀柱 14" 及水柱 1" との壓力でアンモニアを通じ 540°C (1,000°F) で 10 時間窒化し瓦斯の壓力の影響を調べた。その結果は第 8 圖の示す通りで壓力が増せば窒素滲入の深さは増すが表面硬度は高くない。窒化温度の高い時と同じ様な結果が得られる。(M. O.)