

論 說

窒素硬化鋼材の研究

(日本鐵鋼協會 第 9 回講演大會講演)

伊 丹 榮 一 郎[※]

高 尾 善 一 郎[※]

ON THE STUDIES OF NITRIDING STEELS.

Etichiro Itami and Zenichiro Takao

SYNOPSIS:—The authors studied the relative influences of *C*, *Al* and *Cr* contents in the *Al*-*Cr* steels upon the nitrided case as well as the mechanical properties before and after nitriding, and found that the good nitrided case having high hardness and moderate toughness is acquired in the steels of the following compositions; “*Al* 0.7-1.2%, *Cr* 0.8-1.5% and *Al*% < *Cr*%”.

But even in the steels as the above compositions, their nitrided cases tend to show somewhat brittleness, as the contents of *Al*, *Cr* and *C* become higher. From the results of mechanical testing, a slight temper brittleness was observed in *Al*-*Cr* steels by the prolonged heating of nitriding.

Therefore, the further investigation was carried out on the effect of the special elements upon the *Al*-*Cr* steel such as *Ni*, *Mo*, *V* and *Cu*, separately or in any combination.

Researches were made on *Al*-*Mo*, *Al*-*V*, *Cr*-*Mo*, or *Cr*-*V* steels. And heat and corrosion resisting properties of nitrided case were also investigated on the above all steels.

目 次

I 緒 言

II 研究材料、實驗準備及び窒素硬化装置

- (1) 研究材料 (2) 變態點の測定 (3) 熱處理 (4) 窒素硬化装置

III *Al*-*Cr* 鋼の窒化層

- (1) 試験方法 (2) 窒化層の最高硬度及び厚さ (3) 窒化層と窒化温度との關係 (4) 窒化層の滲透性 (5) 窒化層の顯微鏡組織 (6) 窒化層の靱性 (7) *Al*-*Cr* 鋼の窒化層に関する結言。

IV 特殊元素を添加せる *Al*-*Cr* 鋼及び *Al*-*Mo* 鋼、*Al*-*V* 鋼、*Cr*-*Mo* 鋼、*Cr*-*V* 鋼の窒化層

- (1) 研究の要領 (2) 特殊元素を添加せる *Al*-*Cr* 鋼の窒化層
(i) *Mo* を添加せるもの (ii) *V* を添加せるもの (iii) *Ni* を添加せるもの (iv) *Ni* 及び *Mo* を添加せるもの (v) *Cu* を添加せるもの

- (3) 各鋼種の窒化層と窒化温度との關係 (4) 特殊元素を添加せる *Al*-*Cr* 鋼の窒化層に関する結言

- (5) *Al*-*Mo* 鋼、*Al*-*V* 鋼、*Cr*-*Mo* 鋼、*Cr*-*V* 鋼の窒化層

V 窒化層の耐蝕試験

- (1) 單獨腐蝕試験 (i) 酸溶液中に於ける試験 (ii) 食鹽水中に於ける試験

- (2) 窒化鋼の他種金屬との接觸腐蝕試験

VI 窒化層の再加熱に依る硬度の變化

- (1) 真空中に於ける再加熱温度の影響 (2) 空氣中に於ける再加熱温度の影響 (3) 再加熱時間の影響 (4) 實驗結果の考察

VII 窒化前後に於ける抗力の變化

- (1) 試験方法 (2) *Al*-*Cr* 鋼 (i) 窒化前の抗力 (ii) 窒化處理に依る中心部の抗力の變化 (iii) 窒化處理に依る抗力の變化。

- (3) 特殊元素を添加せる *Al*-*Cr* 鋼 (i) 窒化前の抗力 (ii) 窒化處理に依る中心部の抗力の變化 (iii) 窒化處

※神戸製鋼所

理に依る抗力の變化

(4) *Al Mo* 鋼、*Al V* 鋼、*Cr Mo* 鋼、*Cr V* 鋼

(i) 窒化前の抗力 (ii) 窒化處理に依る中心部の抗力の變化 (iii) 窒化處理に依る抗力の變化

VIII 總 括

I. 緒 言

鋼の窒素硬化法は今や歐米に於て盛に實用せられ我國に於ても最近之が應用に關する研究が起りつゝある。窒化に關する從來の文獻を見るに理論的研究は相當多く、又之が應用に關する實驗報告も可成りあるが極めて代表的の鋼材

第 1 表 研究材 成分

鋼種	符號	化學成分								
		C	Mn	Si	P	S	Cu	Al	Cr	
低炭素量鋼	Cr-1.0%	259	0.12	0.34	0.11	0.013	0.005	0.21	0.51	1.13
		206	0.15	0.29	0.26	0.013	0.008	0.25	0.72	1.03
		207	0.16	0.36	0.47	0.016	0.005	0.26	1.28	1.05
		241	0.13	0.31	0.07	0.021	0.005	0.32	1.82	1.23
中炭素量鋼	Cr-0.5%	191	0.42	0.33	0.07	0.012	0.010	0.22	0.36	0.42
		351	0.39	0.31	0.16	0.009	0.002	0.15	0.66	0.49
		196	0.32	0.38	0.31	0.017	0.006	0.39	1.16	0.76
		350	0.38	0.44	0.24	0.027	0.004	0.16	1.41	0.57
	Cr-1.0%	193	0.28	0.29	0.06	0.010	0.007	0.19	1.60	0.45
		353	0.39	0.40	0.22	0.019	0.005	0.11	2.25	0.58
		195	0.30	0.33	0.11	0.010	0.009	0.22	0.69	0.86
		367	0.38	0.46	0.31	0.031	0.004	0.15	1.27	1.04
Cr-2.0%	258	0.37	0.29	0.25	0.007	0.009	0.14	1.37	0.85	
	294	0.29	0.35	0.39	0.022	0.004	0.32	1.49	1.11	
	295	0.37	0.44	0.31	0.014	0.004	0.18	1.69	0.86	
	188	0.34	0.36	0.27	0.011	0.003	0.45	1.84	1.11	
高炭素量鋼	Cr-1.0%	195	0.36	0.32	0.46	0.009	0.003	0.26	0.75	1.94
		198	0.43	0.33	0.21	0.011	0.009	0.34	1.24	1.84
		199	0.43	0.45	0.59	0.009	0.005	0.20	1.33	1.77
		379	0.29	0.36	0.24	0.015	0.010	0.15	2.23	1.80
		354	0.54	0.55	0.31	0.017	0.005	0.02	0.82	0.94
		355	0.60	0.56	0.23	0.026	0.004	0.20	1.02	0.91
高炭素量鋼	Cr-1.0%	143	0.46	0.57	0.76	0.026	0.005	0.17	1.27	1.22
		142	0.46	0.53	0.22	0.017	0.012	0.21	1.86	1.05
		189	0.57	0.43	0.27	0.017	0.002	0.51	1.94	1.11
		356	0.50	0.56	0.23	0.006	0.006	0.15	2.16	0.92

第 2 表 研究材 成分

鋼 種	符號	化學成分										
		C	Mn	Si	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V
低炭素量鋼	<i>Al Cr Mo</i> 鋼	240	0.12	0.22	0.29	0.019	0.005	0.08	0.93	1.04	0.15	0.00
	" " " 鋼	376	0.24	0.19	0.12	0.010	0.004	0.14	1.10	0.91	0.43	—
	<i>Al Cr V</i> 鋼	260	0.16	0.29	0.61	0.016	0.005	0.22	1.27	1.14	—	0.14
	<i>Al Cr Ni Mo</i> 鋼	364	0.13	0.29	0.15	0.022	0.004	0.11	1.16	0.95	—	1.61
中炭素量鋼	<i>Al Cr Ni Mo</i> 鋼	363	0.17	0.49	0.25	0.021	0.003	0.12	1.36	1.28	0.27	1.65
	<i>Al Cr Mo</i> 鋼	365	0.41	0.49	0.23	0.024	0.003	0.10	0.93	1.01	0.23	—
	" " " 鋼	145	0.38	0.37	0.33	0.022	0.004	0.17	1.05	0.91	0.23	—
	" " " 鋼	377	0.43	0.26	0.39	0.014	0.002	0.17	1.18	1.06	0.33	—
	" " " 鋼	144	0.36	0.40	0.35	0.020	0.003	0.22	1.47	0.96	0.26	—
	<i>Al Cr V</i> 鋼	366	0.43	0.55	0.27	0.018	0.003	0.09	1.48	1.04	—	0.24
	<i>Al Cr Ni</i> 鋼	381	0.29	0.35	0.22	0.017	0.006	0.12	1.49	1.30	—	1.57
	" " " 鋼	296	0.43	0.38	0.20	0.022	0.006	0.24	1.72	1.26	—	1.96
高炭素量鋼	<i>Al Cr Ni Mo</i> 鋼	382	0.35	0.32	0.21	0.021	0.001	0.11	1.91	1.20	0.50	1.57
	<i>Al Cr Cu</i> 鋼	184	0.29	0.38	0.53	0.015	0.004	0.88	2.22	0.80	—	—
	<i>Al Cr Mo</i> 鋼	386	0.58	0.56	0.27	0.025	0.002	0.08	1.99	1.06	0.50	—
	<i>Al Cr Ni</i> 鋼	359	0.50	0.48	0.18	0.017	0.004	0.10	1.23	1.09	—	1.50
高炭素量鋼	<i>Al Cr Ni Mo</i> 鋼	368	0.51	0.57	0.36	0.026	0.002	0.09	1.15	1.14	0.22	1.51
	" " " 鋼	362	0.59	0.65	0.27	0.020	0.003	0.06	1.01	1.04	0.24	1.77

に關するもので其の他に至りては大抵定性的に述べられたるものが多い。

吾人が窒化法の應用に就て種々の困難を生ずることを屢々耳にするが要するに之等は窒化用鋼材の研究の未だ完全でないことも其の一因であると信ずる。

本研究は種々の窒化用鋼材の化學成分が窒化層の性質即ち最高硬度、層の厚さ、滲透性及び問題とされて居る窒化層の脆性に及ぼす影響や耐熱性、耐腐蝕性及び機械的性質に與ふる影響を調査したものである。

II. 研究材料、實驗準備及び窒素硬化裝置

(1) 研究材料:— 研究材料の種類及び成分は第 1~3 表の通りである。

第 3 表 研究材 成分

鋼種	符號	化學成分										
		C	Mn	Si	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V
<i>Al Mo</i> 鋼	369	0.28	0.46	0.32	0.026	0.002	0.10	1.16	—	0.78	—	—
<i>Al V</i> 鋼	374	0.29	0.37	0.27	0.009	0.003	0.11	1.10	—	—	0.45	—
<i>Cr Mo</i> 鋼	371	0.28	0.46	0.13	0.026	0.002	0.22	—	1.12	0.40	—	—
<i>Cr V</i> 鋼	370	0.21	0.40	0.28	0.026	0.002	0.22	—	1.03	—	0.43	—

第 1 表は總て *Al Cr* 鋼であつて C 量 0.15% 附近の低炭素量鋼及び C 量 0.5% 附近以上の高炭素量鋼に於ては Cr 量を約 1.0% となし Al 量を 0.5~2.0% の範圍に變化せしめ、C 量 0.3~0.4% の中炭素量鋼に於ては Cr 量を約 0.5, 1.0% 及び 2.0% の 3 種とし Al 量を 0.5~2.0% の範圍内に變化せしめたものである。

第 2 表のものは低、中及び高炭素量の *Al Cr* 鋼に特

殊元素の *Mo*, *Ni*, *V* 或は *Cu* 等を添加せしめたもので、此の種鋼の所期の目的は *Al* 1.0%、*Cr* 1.2%、の *Al Cr* 鋼を標準鋼とし之に特殊元素の添加を企圖したのであるが、*Al Cr* 鋼通性の熔解の困難の爲に *Al Cr* の量殊に Al 量が著しく希望成分と相違したものが多く出來た第 3 表は窒化鋼の合金元素として有効な元素たる *Al*, *Cr*, *Mo*, 或は *V* 等を夫々二元素宛結合せる *Al Mo* 鋼 *Al V* 鋼 *Cr Mo* 鋼及び *Cr V* 鋼等である。

以上の如き研究材料は全部容量 100 kg の電気爐で熔解し 50 kg 鋼塊となし、次の如き寸法に鍛造して各試験に要する試験片を採取したのである。

鍛造棒種類	採取試験片の種類
方 17 mm 角材	變態點測定用試験片 アイゾッド衝撃試験片
徑 20 mm 丸棒	松村式繰返打撃試験片
方 27 mm 角材	窒化層硬度試験片 抗張力試験片

(2) 變態點の測定:— 試験片は徑 5 mm 長さ 80 mm の丸棒で、鍛造後焼鈍したものを使用し、本多式熱膨脹測定

第 4 表 變態點測定結果

鋼種	符號	主要成分				加熱に於ける變化		冷却に於ける變化		熱處理溫度
		C	Al	Cr		始點 (Ac ₁)	終點 (Ac ₃)	始點 (Ar ₃)	終點 (Ar ₁)	
		%	%	%	%	°C	°C	°C	°C	°C
低炭素量鋼	Cr-1.0%	259	0.12	0.51	1.13	770	925	850	680	950
		206	0.15	0.72	1.03	785	935	860	698	960
		207	0.16	1.28	1.05	798	1,015	905	720	1,040
		241	0.13	1.82	1.23	813	1,100	990	740	1,120
中炭素量鋼	Cr-0.5%	191	0.42	0.36	0.42	766	815	740	680	840
		351	0.39	0.66	0.49	776	835	765	690	860
		196	0.32	1.16	0.76	790	918	813	703	950
		350	0.38	1.41	0.57	788	926	813	695	950
		193	0.28	1.60	0.45	793	986	888	708	1,010
		353	0.39	2.25	0.58	810	1,030	928	729	1,050
	Cr-1.0%	195	0.30	0.69	0.86	770	840	790	698	870
		367	0.38	1.27	1.04	795	880	800	705	900
高炭素量鋼	Cr-2.0%	135	0.36	0.73	1.94	788	880	735	685	850
		198	0.43	1.24	1.84	803	850	753	715	880
		199	0.43	1.33	1.77	805	850	750	719	880
		379	0.29	2.23	1.80	828	1,025	930	735	1,050

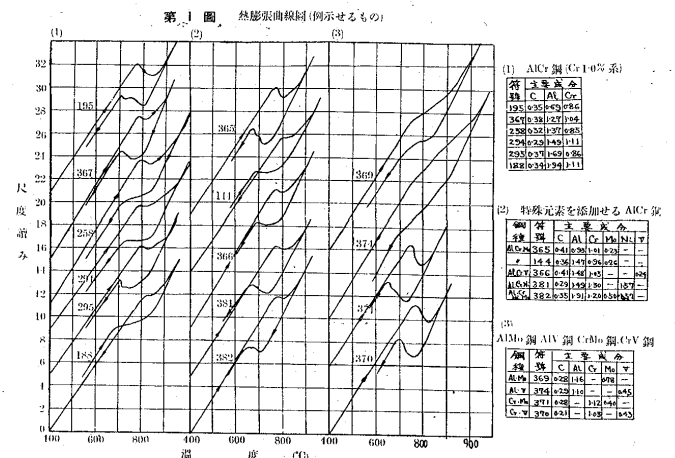
第 5 表 變態點測定結果

鋼 種	符號	主要成分						加熱に於ける變化		冷却に於ける變化		熱處理溫度 °C	
		C	Al	Cr	Mo	Ni	V	始點 (Ac ₁) _{°C}	終點 (Ac ₃) _{°C}	始點 (Ar ₃) _{°C}	終點 (Ar ₁) _{°C}		
		%	%	%	%	%	%						
低炭素量鋼	Al Cr Mo 鋼	240	0.12	0.93	1.04	0.15	—	—	785	960	860	710	1000
		376	0.24	1.10	0.91	0.43	—	—	788	980	855	710	960
	Al Cr V 鋼	260	0.16	1.27	1.14	—	—	0.14	803	1,045	920	720	1070
		Al Cr Ni 鋼	364	0.13	1.16	0.95	—	1.61	—	760	940	800	700
	Al Cr Ni Mo 鋼	363	0.17	1.36	1.28	0.27	1.65	—	753	930	790	680	960
中炭素量鋼	Al Cr Mo 鋼	365	0.41	0.93	1.01	0.23	—	—	770	850	750	680	880
		145	0.38	1.05	0.91	0.23	—	—	778	910	800	695	940
		377	0.43	1.18	1.06	0.33	—	—	770	860	790	680	890
		144	0.36	1.47	0.96	0.26	—	—	790	930	810	700	950
	Al Cr V 鋼	366	0.45	1.48	1.04	—	—	0.24	785	900	808	705	930
		Al Cr Ni 鋼	381	0.29	1.49	1.30	—	1.57	—	767	870	780	660
	Al Cr Ni 鋼	296	0.43	1.72	1.26	—	1.96	—	778	850	720	685	880
		Al Cr Ni Mo 鋼	382	0.35	1.91	1.20	0.50	1.57	—	770	850	710	633
高炭素鋼	Al Cr Mo 鋼	386	0.58	1.99	1.66	0.50	—	—	820	935	835	715	970
		Al Cr Ni 鋼	359	0.50	1.23	1.09	—	1.50	—	758	820	700	630
	Al Cr Ni Mo 鋼	368	0.51	1.15	1.14	0.22	1.51	—	765	820	660	600	850
		Al Cr Ni 鋼	362	0.59	1.01	1.04	0.24	1.57	—	740	775	630	590

装置に依つて各鋼の膨脹曲線を求め變態點を測定した。加熱及び冷却速度は變態點附近に於ては 1 分間に約 2°C、他の溫度に於ては 5°~7°C の割合を以て行つた。

第 6 表 變態點測定結果

鋼 種	符號	主要成分				加熱に於ける變化		冷却に於ける變化		熱處理溫度	
		C	Al	Cr	Mo	始點	終點	始點	終點		
						$V(Ac_1)$	(Ac_3)	(Ar_3)	(Ar_1)		
		%	%	%	%	°C	°C	°C	°C	°C	
Al Mo 鋼	369	0.28	1.16	—	0.78	770	980	850	710	1,000	
Al V 鋼	374	0.29	1.10	—	0.45	772	1,010	900	710	1,030	
Cr Mo 鋼	371	0.28	—	1.12	0.40	758	803	730	665	830	
Cr V 鋼	370	0.21	—	1.03	—	0.43	765	830	765	690	850



第 1 圖は本實驗で得た膨脹曲線の一部を示し、第 4~6 表は加熱及び冷却に際して起る變態の始點及び終點を示したものである。之に於て加熱に於ける異常變化の始點及び終點は夫々 Ac₁ 變化の始點及び Ac₃ 點であり、冷却に於ける異常變化の始點及び終點は夫々 Ar₃ 點及び Ar₁ 變化の終點である。

第 2 圖は Al Cr 鋼に於ける Ac 變態點の Al 量に依る變化を炭素量別に圖示した

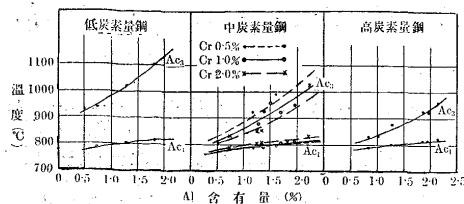
ものである。

之に依ると Ac₁ 點は Al 量の増加に従つて僅かに上昇するに過ぎないが Ac₃ 點は著しく上昇し、低炭素量のものに於ては Al 約 1.0% に於て略々 1,000°C に達して居る。

Cr の影響は第 2 圖の中炭素量鋼に見る如く Cr 量の高いものは低いものよりも Ac₁

點は稍高く Ac_3 點は反對に相當低くなつて居る。即ち

第2圖 $AlCr$ 鋼の變態點と Al 量との關係 $AlCr$ 鋼に於



ける Cr は Al と共に Ac_1 點を上昇せしめるが Ac_3 點に就ては Al に

依る上昇を可成り相殺して相當低下せしめる性質がある様である。

次に $AlCr$ 鋼に Mo , Ni , 或は V を添加せる鋼種に於て 0.2~0.4% の Mo 或は V の添加は殆んど變態點に影響しない様であるが Ni 約 1.5% 添加の $AlCrNi$ 鋼 $AlCrNiMo$ 鋼に於ては Ac_1 , Ac_3 何れも可成りの低下を示し、殊に Ar 點に於て著しく低下して居る。

AlV 鋼、 $AlMo$ 鋼、 CrV 鋼

$CrMo$ 鋼等の鋼種に於ては此の

順序に Ac_1 , Ac_3 點は低くなり、

AlV 鋼、 $AlMo$ 鋼の Ac_1 點

は略々 Al 量を等しくする $AlCr$

鋼よりは低く Ac_3 點は可成り高

くなつて居り CrV 鋼、 $CrMo$

鋼の Ac_1 , Ac_3 點は他の何れの鋼

種よりも低くなつて居る。

(3) 熱處理:— 窒化鋼材の熱

處理に關しては Harder, Grow. 及び Willey¹⁾ 其の他

の諸氏に依る研究がある。其等に依ると炭化物が微細なる

形で散在せる場合には、高硬度にして靱性のある窒化層が

得られる。即ち窒化に適當なる條件として鋼材を豫め焼入

焼入を行ひ炭

化物を微細な

る形にすると

言ふことが必

要であるとさ

れて居る。而

して窒化鋼の

焼入、焼入を行ふに際して注意すべきは焼入操作の如何に

依つて起る或る種の $NiCr$ 鋼に見る如き焼入脆性を惹起

するか否かの問題である。

此の問題に關して Homerberg 及び Walsted²⁾ 兩氏は $AlCr$ 鋼 $AlCrMo$ 鋼 $AlCrNi$ 鋼等に就て焼入温度より一つは急冷し、他は緩冷せしめた兩者のシャルピー衝擊試験を行つて居るが、此の結果の兩者の衝擊値は殆んど一致し焼入温度より急冷或は緩冷されても同じであると云ふ結果を示して居る。

著者は此の點を更に確める爲に第7表の如き數種の鋼を選び表記の如き熱處理、即ち焼入温度より一つは油中急冷他は爐中冷却せしめてアイゾット衝擊試験を行つたが其の結果に於ける兩者の衝擊値及び硬度は殆んど一致し Homerberg 氏の結果の如く此の種鋼材には焼入脆性を起さないことを確めた。

以上の如き豫備試験の結果焼入脆性を起さないことを知つたので供試鋼材は變態點測定結果に依る Ac_3 變態點以

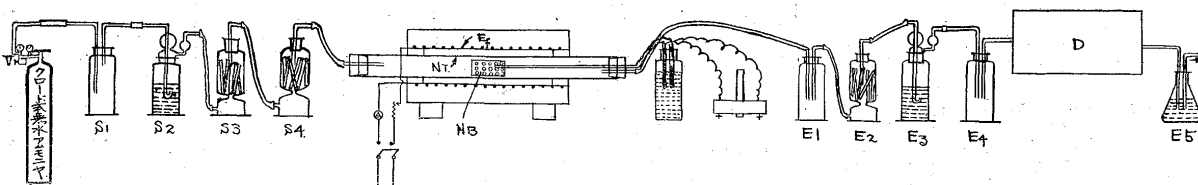
第7表 熱處理豫備試験結果

符號	主要成分					標準化	焼入	燒炭溫度 600°C 1時間保持 爐中冷却		燒炭溫度 600°C 1時間保持 油中冷却	
	C	Al	Cr	Mo	Ni			アイゾット 衝 撃 値	ゲイツカ ース硬度	アイゾット 衝 撃 値	ゲイツカ ース硬度
	%	%	%	%	%			<i>ft-lbs</i>		<i>ft-lbs</i>	
294	0.29	1.49	1.11	—	—	980°C 空中冷却	980°C 油中冷却	48	263	46.5	265
295	0.37	1.69	0.86	—	—	950°C 〃	950°C 〃	34	310	35	315
381	0.29	1.49	1.30	—	1.27	870°C 〃	870°C 〃	61	270	60	273
382	0.35	1.91	1.20	0.50	1.57	880°C 〃	880°C 〃	34	347	35	356
377	0.43	1.12	1.06	0.33	—	890°C 〃	890°C 〃	44	318	46	324

第8表 熱處理温度保持時間

試験片種類	標準化及焼入處理	焼入温度保持時間
窒化硬度試験片	1時間	1時間
抗張力試験片	1 "	1 "
松村式打撃試験片	3/4 "	1 "
アイゾット衝擊試験片	1/2 "	1 "

第3圖 硬度試片用窒素硬化装置 (I)



上 20~30°C の温度より標準化の後油中焼入を行ひ、焼入温度は 600°C を選び總て爐中冷却したものにして諸試験を行ふこととした。焼入温度は 第4~6 表に示す様で

¹⁾ Harder, Grow, Willey; Trans. Amer. Soc. Steel Treat. 16 (1929) Special Edition 86.

²⁾ Homerberg, Walsted; Trans. Amer. Soc. Steel Treat 16 (1929) Special Edition 67.

ある。第8表は各試験片の焼入及び焼戻温度で於ける保持時間を示したものである。

(4) 窒素硬化装置:— 本実験には第3, 4圖の如き窒素硬化装置を使用した。第3圖のものは硬度試験片の窒化に用ひ、第4圖のものは材料試験片の窒化に使用した;

(i) 硬度試験片用窒化装置(I) 第3圖に於いて、

- A_B; アンモニアポンプ
 V; アンモニア瓦斯加減弁
 S₁; 瓦斯の流れを圓滑にする爲に設けた瓦斯溜瓶
 S₂; アンモニア瓦斯中の微量の酸素除去の第一鹽化銅アンモニア溶液洗滌瓶
 S₃, S₄; 瓦斯中の水分を除去する爲の棒状苛性加里を充填せる洗滌瓶
 N_T; 長さ 1,000 mm, 内徑 50 mm の磁製燃焼管であつて兩端はゴム栓を通じて通氣、排氣兩管系に通ずる窒化管
 N_B; 不銹鋼板に多數の孔を穿ちて造りたる試験片容器
 E₁; E₂, E₃ 中の液の逆流を防ぐ爲の空瓶
 E₂, E₃; 操作中窒化管と外氣とを遮斷する爲に設けたる夫々棒状苛性加里及び飽和苛性加里溶液を満したる瓶
 E₄; 瓦斯溜瓶
 D; アンモニア瓦斯の分解測定装置
 E₅; 分解測定装置と外氣との遮斷の爲に設けたる水瓶
 E_T; 内徑 150 mm, 長さ 500 mm の圓筒状マツフルの電気抵抗爐

瓦斯管系を説明すると次の様である。

アンモニア瓦斯はアンモニア、ポンプより加減弁 V を通じて流速を加減され、一旦 S₁ 空瓶内に蓄積された後瓦斯洗滌瓶 S₂, S₃, S₄ を通り微量の酸素及び水分を除かれ圓滑に窒化管内に導入される。窒化管内に於てアンモニア瓦斯は試片に接觸し生じたる窒素、水素瓦斯及び過剰のアンモニア瓦斯は E₁, E₂, E₃, E₄ 及び E₅ を經て排出される。

窒化處理の操作は豫め窒化管内の温度分布状態を測定して置いた温度分布の均一な部分に試験片を容器に入れて裝入し、アンモニア瓦斯を通じて管内の空氣を置換せしめた後アンモニア瓦斯を通じつゝ温度を高める。而して所要の温度に達してから所定の時間加熱を續けた後緩冷せしめる

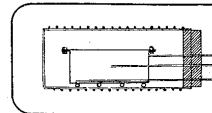
尙此の操作中には排氣瓦斯管系中に設けたるアンモニア瓦斯分解測定装置に依り適時排氣瓦斯の分析を行ひ、窒化管内に於ける分解が適當に保たれる様加減弁で通氣量を加減する。

(ii) 材料試験片用窒化装置(II) 此の窒化装置は簡単な工業用窒化装置を小規模化したもので、加熱爐は 8×10×22" の大さの一端を閉じた角形マツフル電気抵抗爐を使用した。窒化函は不銹鋼の薄板を瓦斯熔接したもので 4×6×9" の容積を有し、本體と蓋との締め付けはパッキング材としてアルミニウムの薄板と石棉とを用ひ、ボルト締めを行ふ様になつて居る。アンモニア瓦斯は函の一端下方に設けられた管 Ti より導入し之と對角線上に取付けられた管 To より排出する様になつて居る。Tc は熱電對挿入管である。アンモニア瓦斯管系は全く (I) の装置と同様である。

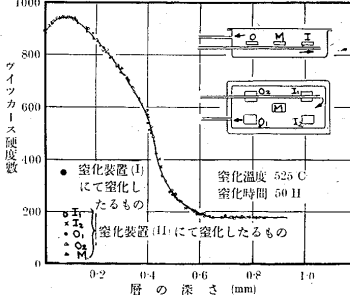
此の窒化函を加熱爐に裝入し裝入口を保溫煉瓦及び石棉層で密閉して 500°~550°C に加熱の後函の内部に於ける温度の分布状態を調査したが函の前後兩端と中央部との温度差は僅かに 3°C に過ぎなかつた。尙 Al Cr Mo 鋼の

試験片 5 個を函の各部に配置して 525°C に於て 50 時間窒化し各試験片の窒化層を吟味して見た。第5圖は其の結果を示す。各試験片の窒化層の硬度及び厚さの關係は殆んど一致し、配置位置によつて窒化の状態が相違しないことを知り、又装置 (I) の磁製管内に於て同一條件の下で窒化したものとも略々一致することが確められた。

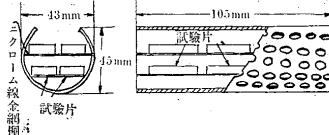
第4圖 材料試験片用窒化装置(II)



第5圖 窒化函内各部に於ける窒化状態調査試験結果



第6圖 試験片容器



III. Al Cr 鋼の窒化層

(1) 試験方法 窒化温度及び窒化時間と窒化層との關係に就ては既に數多の研究が行はれ、窒化温度は 500°C 附近に於て最高の硬度を示し、夫れ以上になれば低下するが窒化層は厚くなる。又窒化時間に關しては 25 時間以下で

は窒化は完全に行はれずして其の硬度は窒化時間と共に高くなるが、25時間以上に於ては最高硬度は殆んど同一となり、唯厚さが異つて來ると言ふ結果になつて居る。今日工業的には一般に窒化温度は $480^{\circ}\sim 550^{\circ}\text{C}$ の範囲にて行はれ、窒化時間は鋼種或は使用目的に應じて僅かに數時間に過ぎないものがあるが、大體 $30\sim 90$ 時間の範囲が最も多く採用されて居る様である。

著者は以上の如き見地より本研究に於て 500° , 525° , 及び 550°C の3種の窒化温度を選び、各々 70 時間窒化したる窒化層の硬度、厚さ及び其の滲透性並びに靱性等の比較を試みることにした。

本試験に使用した試験片は 27mm 角材を夫々前述の如き熱処理を施した後、大さ $20\times 23\times 9\text{mm}$ に削り表面を充分研磨したものである。窒化処理には第3圖の装置(I)を用ひ、試験片は第6圖の如き容器に12~16個宛裝入し窒化管内の温度分布の均一なる部分に於て窒化を行つた。窒化操作中送入アンモニア瓦斯量を加減して窒化管内のアンモニア分解率を $30\sim 35\%$ に保持し、温度は $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 以内に保つた。

以上の如くして窒化した試験片は表面より順次 $0.02\sim 0.07\text{mm}$ 宛削つて各層の硬度をヴィツカース硬度計(荷重 5kg)で測定し、第5圖の如き硬度・

深さ曲線(以後之を便宜上層の滲透曲線と名附けることとする)を描き、窒化層の最高硬度及び厚さの決定或は層の滲透性等を吟味したのである。

尙窒化最表層は脆いもの多く硬度の測定に際して凹痕が缺除して完全に測定することが出来なかつた。

(2) 窒化層の最高硬度及び厚さ第7(1~5)圖及び第8(1~4)圖は窒化温度 500°C , 525°C , 及び 550°C に於ける窒化層の最高硬度及び厚さと $\text{Al}\%$ 及び $\text{Cr}\%$ との關係を圖示したものである。

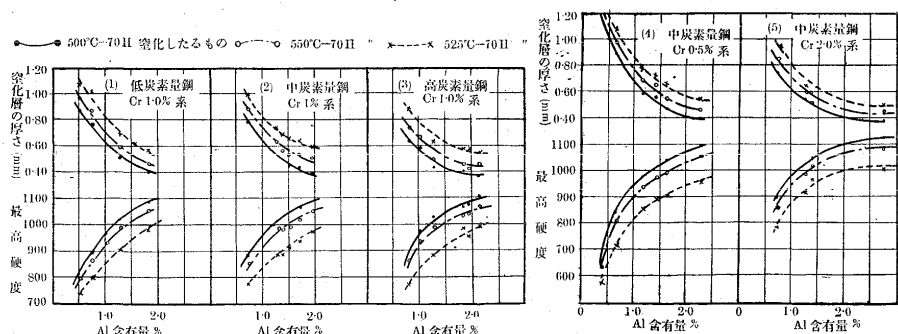
Cr 量を略々 1% に一定した場合の Al の影響は第7(1~3)圖に見る如く C 量に關係なく Al 量の増加と共に最高硬度は急激に上昇し $\text{Al}1.2\%$ 前後に於て 500°C 窒化のものは $1,000$ 以上に達する。而して Al 量に依る硬度上昇の傾向は C

量に殆んど關係なく、唯最高硬度に於て低炭素のものは高炭素のものに比し稍高く、中、高炭素量のものは殆んど變らない様である。

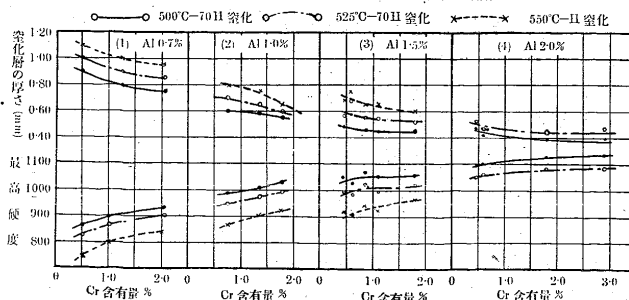
又此の場合に於ける Al は窒化層の厚さに對しては硬化作用とは全く反對の傾向を示し $\text{Al}1.2\%$ 附近迄急激に減少し、夫れ以上に於て次第に緩慢となる。尙厚さは C 量高きもの程薄く、高炭素量のものに於ては $\text{Al}1.8\%$ 附近で 500°C 窒化のものは約 0.4mm となり、夫れ以上では殆んど一定となる傾向を示す。

次に Cr 量が變化した場合の Al の影響は中炭素量鋼に就て試験せる結果〔第7(4, 2, 5)圖参照〕に依ると Al の増加に依る最高硬度の急激なる上昇及び層の厚さの減少の傾向は Cr の増加と共に Al 量の少い方に移動し、 $\text{Cr}2.0\%$ 系に於ては $\text{Al}1.2\%$ 附近にて其の變化極めて緩慢となる。即ち Al の硬化作用は Cr に依つて一層促進されることを知る。尙此の關係は Cr の影響を示す第8(1~4)圖によつても明かである。以上の結果より Al-Cr 鋼の窒化層の最高硬度は主として Al 及び Cr に關係し C 量には殆んど無關係であるが、層の厚さは Al , Cr のみならず C 量にも關係し C 量の増加に依つても窒化の滲透が妨げられることが窺はれる。

第7圖 Al-Cr 鋼に於ける窒化層の最高硬度及び厚さと Al 含有量との關係

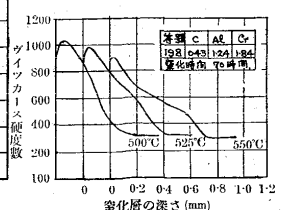


第8圖 Al-Cr 鋼に於ける窒化層の最高硬度及び厚さと Cr 含有量との關係



第9圖

Al-Cr 鋼の窒化層滲透曲線と窒化温度との關係



(3) 窒化層と窒化温度との關係 窒化温度 500°C , 525°C , 及び 550°C に於ける各窒化層の最高硬度及び厚さは第7(1~5)圖の様である。之等に見る如く最高硬度

は Al 及び Cr に関係なく總て $500^{\circ}C$ のものが最も高い値を示し、温度が高くなる程硬度は低下し厚さは増して居る。即ち $525^{\circ}C$ にて窒化せるものは硬度 $30\sim40$ 低く厚さは約 $0.1mm$ 増し、又 $550^{\circ}C$ のものは硬度著しく低下し $500^{\circ}C$ のものに比し約 100 の差を用じ、窒化層は $0.2mm$ 前後増して居る。尙此の圖に於て窒化温度によつて Al 或は Cr の硬化作用が變つて來ないことも分る。

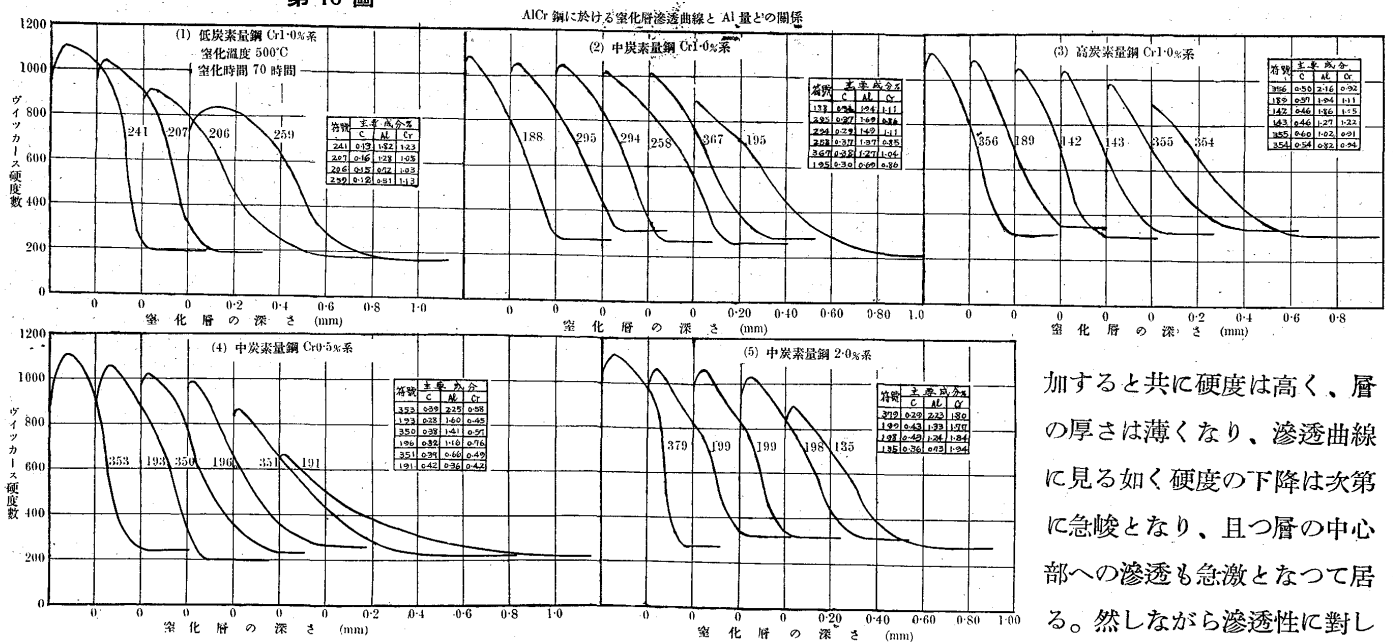
第9圖は $500^{\circ}C$, $525^{\circ}C$ 及び $550^{\circ}C$ に於て窒化したものの窒化層硬度一深さ曲線(滲透曲線)の一例を示したもので窒化温度によつて窒化層の滲透状態が相違して來る

少硬度の低下は免れないが、窒化層の厚さを増すことが出來、又後述する如く滲透状態も良好であつて比較的靱性に富む層を造る。然るに $550^{\circ}C$ の窒化は硬度の低下を犠牲にする丈けの窒化層の増加を見ず而かも滲透状態は一部のものを除き二段變化をなして脆い層を造る。

(4) 窒化層の滲透性 窒化温度 $500^{\circ}C$ に於ける各鋼種の窒化層滲透曲線を Al 量 Cr 量に分けて示すと夫々第10(1~5)及び第11(1~4)圖の様である。

第10(1~3)圖の Cr 約 1% 系の低中及び高炭素量鋼に於て Al の影響を觀察するに前述の如く Al 量の増

第10圖



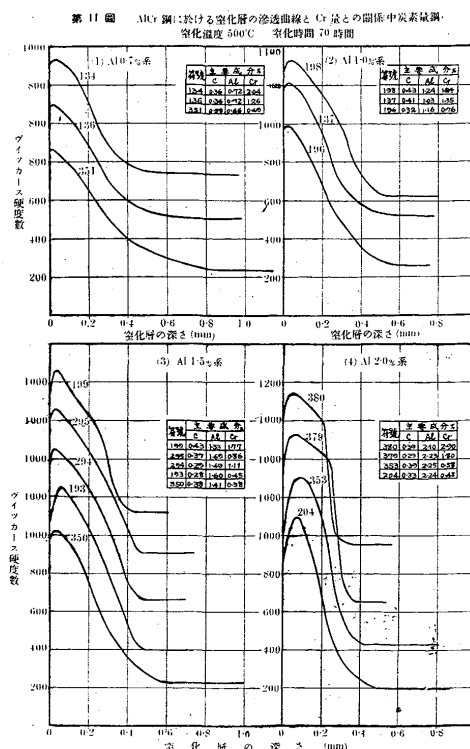
加すると共に硬度は高く、層の厚さは薄くなり、滲透曲線に見る如く硬度の下降は次第に急峻となり、且つ層の中心部への滲透も急激となつて居る。然しながら滲透性に對し

ことが窺れる。即ち $500^{\circ}C$ 及び $525^{\circ}C$ に於ては略々同傾向を示し、表面より $0.03\sim0.04mm$ 内部に於て最高硬度を示し之より深くなるに従つて硬度は徐々に下降し中心部に達するが $550^{\circ}C$ の場合に於ては硬度の下降状態は二段變化をなし、硬度は最高硬度に達してより急激に降下し稍内部に入つた附近より徐々に内部迄滲透し中心部との境附近に至つて急激に下降して居る。従つて前二者に比し高硬度範囲の層が薄く、比較的硬度の層が厚くなつて居る。

而して $550^{\circ}C$ の窒化に於ける此の如き二段變化は C , Al 量高く Cr 量の低いもの程顯著に現れ Al 量低く Cr 量が著しく高いものは此の變化が比較的少くなる傾向がある

又 $500^{\circ}C$ 及び $525^{\circ}C$ 窒化の場合に於ては窒化處理に依つて中心部の硬度は影響されないが $550^{\circ}C$ 窒化に於ては硬度が約 10 前後低下して居る。従つて中心部の抗力が窒化前後に於て幾分相違して來ることが想像される、

以上の如く $525^{\circ}C$ の窒化は $500^{\circ}C$ の場合に比して多



ては注目すべき特徴を有して居ない様である。唯 C 量に依つて相違し、低炭素量鋼の滲透曲線は最高硬度附近に於て丸味を帯び、高硬度範囲の層が厚くなつて居る。此の傾向は C 量が高くなるに従つて減少し、硬度は内部に向つて直線的傾向を以て下

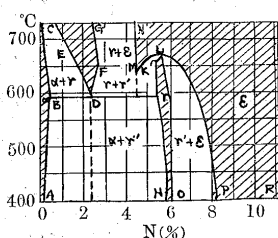
降し、層の厚さは低炭素のものに比し薄くなつて居る。即ち C は Al, Cr と同様に窒化の滲透性を妨げる作用があることが之に依つても窺れる。

Cr の硬化作用に関しては前項に於て Al 程著しくないことを知つたが、層の滲透性には特異の性質を有して居る第 11 (1~4) 圖は Al 量を略々一定にした場合の中炭素量鋼に於ける Cr の影響を示したもので Cr の増加と共に滲透曲線の最高硬度附近が次第に丸味を呈し、高硬度範囲の層が厚くなり、従つて硬度の下降は中心部に向つて一層急峻となつて中心部への滲透性も亦急激になつて居る。而して Al 量の増加は Cr の此の作用を助長し C は之を阻害する性質がある様である。

尙茲に注目すべきは C 或は Cr に関係なく Al 量の増加と共に表面硬度と最高硬度との差が著しくなる點であつて此の表面硬度の低い原因を R. Sergerson³⁾ 氏は單に脱炭現象に歸せしめて居る様であるが、著者は後節に述べる如く脱炭現象もさることながら寧ろ Al の増加に依る窒化表層の脆性の増加に依るものと考へる。

以上の如く Al, Cr 鋼に於ける窒化層の滲透性は Al, Cr

第 12 圖 鐵-窒素平衡圖 (Lehrer)



の相対的作用に依つて變化するもので Al は主として滲透曲線を急峻ならしめ Cr は層に相當の深さ迄高硬度を得たらしめる性質がある。而して C は窒化の滲透を妨げる性質があるから Al, Cr の此の作用も C 量に依つて變化する。

窒化層の靱性は後述する如く窒化層の組織のみでなく、層の滲透性にも大いに關係するものの様であるから Al, Cr 鋼に於ける Al 及び Cr の量は使用目的の見地のみならず此の點に就ても充分考慮を拂ふ必要がある。

(5. 窒化層の顯微鏡組織 Al, Cr 鋼に於ける窒化層の組織に関しては石澤博士⁴⁾ O. E. Harder; G. B. Todd⁵⁾ 氏等の研究發表がある。之等は何れも X 線分析に依つて表層より内部に向つての組織の變化を研究したもので最表層に見る白色層は第 12 圖の如き $Fe-N$ 合金系 (E, Lehrer 氏に依る⁶⁾) に於ける ϵ 相に相當し、最高硬度附

近より中心部迄の針狀組織を呈する範圍は $\alpha + \gamma$ 兩相よりなつて居ることを明かにして居る。然し乍ら窒化層の性質に此等各相間の關係に就ては餘り言及して居ない様である。

著者は顯微鏡調査のみに依つて組織に及ぼす Al, Cr の影響或は組織と靱性との關係に就いて吟味した。其の大體の結果は次の様である。

寫眞 No. 1~No. 16 は窒化溫度 $500^{\circ}C$ に於て 70 時間窒化したものの代表的なものを選び示したものである。之に見る如く窒化層の最表層は白色層を呈し、之の下は針狀結晶のよく發達した層となり内部に向つて次第に針狀結晶は少くなり遂にソルビチック組織となつて中心部に達して居る。又此の層には網狀組織をなして表層の白色層が滲透して居るものがある ϵ 相に相當する白色層は Al, Cr 量高く C 量の低いもの程厚く $\alpha + \gamma'$ 相に相當する針狀或はソルビチック組織をなす層は C, Al 及び Cr 量が高くなる程薄くなり、又針狀結晶は Al 量高く C 量の低いもの程成長する傾向がある。又低炭素量鋼のものにあつては其の針狀鈍である。此の層に見る網狀組織は低炭素量鋼には殆んど存在しないが、中、高炭素量鋼に於ては Al 及び Cr が高くなる程著しく現れて來る様である。 Al 2.0% 前後のものは Cr 量に關係なく現れて居るが Al 1.2~1.3% 以下にして Cr 約 1.0% 附近迄のものには殆んど存在せず、夫れより Cr が増すに従つて顯著になる傾向がある又 Al 量低く 0.5~0.7% のものに於ても Cr 2.0% 附近のものにあつては著しく發達して居る。

寫眞 No. 17 (1~3) は窒化溫度 $500^{\circ}C, 525^{\circ}C$ 及び $550^{\circ}C$ に於ける各窒化層の組織を例示したものである。窒化溫度が高くなるに従つて $\alpha + \gamma'$ 兩相より成る針狀組織及びソルビチック組織を呈する層は次第に増加するが、其中、針狀結晶層は減少するに反し、ソルビチック組織層は増加する。即ち $525^{\circ}C$ のものは組織上 $500^{\circ}C$ のものと大差なく針狀結晶層はソルビチック層に比し厚くなつて居るが $550^{\circ}C$ のものに於ては反對にソルビチック組織層が大半を占む様になる。又最表層の白色層も窒化溫度の上昇と共に薄くなり内部に向つて滲透し次第に網狀組織が發達する。即ち $525^{\circ}C$ のものは $500^{\circ}C$ のものより此の傾向稍著しく、更に $550^{\circ}C$ のものに於ては急激に著しくなり網狀の間に白色層の介在を見る様になる。斯かる網狀組織は滲炭表面硬化層に見るセメントタイト網の如く窒化層を脆弱

³⁾ Sergeson; Trans. Amer. Soc. Steel Treat. 16. (1929) Special Edition 145

⁴⁾ 石澤博士; 水曜會誌、第 7 卷 (和昭 7 年) 165

⁵⁾ Harder, Todd; Trans. Amer. Soc. Steel Treat. Nov. (1931)

⁶⁾ Lehrer; Zeitschrift für Electrochemie (1930)

ならしめることが想像される。

(6) 窒化層の靱性:— 窒化層の靱性の如何は實際使用に際して重要な問題である爲に既に Sergeson⁷⁾ Higgins⁸⁾ 氏等はロックウェル硬度試験或は彎曲、捩り等の試験を行ひ、窒化表面に生ずる龜裂の状態に依つて靱性の比較を行つて居る。而して此等の方法は實際に即した完全な試験方法とは考へられないが著者も次の如き三方法に依り其の試験結果を綜合して靱性の比較を行つた。

(1) 窒化層の滲透状態をヴィツカース硬度計を以て測定する際にピラミッド型の凹痕が正しく現れるか否かを檢したもので凹痕周囲の剝脱程度に依る比較方法。

(2) ロックウェル硬度計のダイヤモンド圓錐を用ひ荷重 150 kg の時の凹痕の剝脱する程度に依る比較方法。

(3) 彎曲試験に依るもので徑 $\frac{1}{2}$ "、長さ 8" の丸棒を窒化し 6" の徑間を以て 30° 彎曲せしめ彎曲面に現れる龜裂の状態及び窒化層の剝落の程度に依る比較方法。

以上の如き三方法であつて其の試験結果は大體次の様である。

(1) のヴィツカース硬度計に依る方法に於ては Al、約 1.2% 以下にして最高硬度 1,000 以上に達しないものは凹痕の缺除が殆んど表面にのみに止り、内部は悉く靱を示す、而して表層の剝脱は C、Cr の高いもの程著しい傾向がある。Al 約 1.2% 以上のものは Al の増加と共に凹痕の周囲の剝脱が著しくなり、表層のみに止まらず内層に迄及び Al 2.0% 位のものは表層より約 0.06~0.07 mm 迄凹痕が缺除する。此の傾向は C 及び Cr の高いもの程著しい。

而して(1)の方法にては層全體としての脆弱性は全く測定出来ないので(2)及び(3)の方法で此の缺點を償つた。(3)の彎曲試験に於て C 及び Cr の高い鋼種に於ては所定の 30° 彎曲前に破斷するもの多く完全な比較は出来なかつたが、彎曲面に生ずる龜裂或は層の剝落程度に依る靱性の比較は大體ロックウェル硬度計方法に依るものと略々一致した。其の兩試験結果を綜合すれば次の様である。

Al 1.5~2.0% 範圍の鋼種は Cr 量に無關係に凹痕或は彎曲面に於ける層の剝落甚しく全く靱性を缺く様である。而して C 及び Cr の高いもの程著しい。Al 1.0~1.4% 範圍のものは其の靱性は Cr 量に關係する様であつて Cr

量が Al 量に比し可成り低いものは淺く廣面積に亘つて剝脱し、反對に Cr 量の可成り高いものは深く比較的小さく缺ける傾向がある。Al 量と同量或は之より稍高いものは剝脱の程度少く前二者に比し靱性を保有して居る様である。Al 量 0.8% 前後の鋼種に於ては Cr 量 2.0% 附近のものを除き、最も靱性を有し表層の剝脱するものすら見受けない。

以上の結果より窒化層に靱性を有するものは層の厚さが相當あり、窒化層に網狀組織の少い範圍の鋼にして、且つ滲透曲線に於て硬度の下降緩慢で中心部への層の密着性が良好なるもの、即ち成分上よりは Al 1.2% 以下にして、Cr 量が Al 量より稍高い關係にあるものが大體靱性を有して居る様である。但し Al 0.8~0.5% 範圍のものに於ては Cr が Al に比し少い場合に於ても靱性を有して居るが、高硬度の厚い有效層を得る爲には Al 量より多少高く、靱性を害はない程度の Cr 量を含まして置くことが得策と考へる。

尙同一鋼種に於て窒化温度と靱性との關係に就いて以上と同方法に依つて試験した。此の結果に依ると一般に 550°C 窒化のものは 500°C、525°C のものに比し脆く、殊に Al、C 量が高く Cr 量の低い鋼種程此の傾向が著しい。之は前述の如く 550°C に於ける窒化層の滲透性が二段變化をなし、中心部への密着性の不安定な爲と網狀組織をなして結晶粒間に脆い白層が發達する爲とに依るものと考へる。

(7) Al Cr 鋼の窒化層に關する結言:— Al Cr 鋼の窒化層に關して以上の如く硬度、滲透性、顯微鏡組織及び靱性等に就て吟味した結果を綜合考察するに Al 0.7% 以上に於て有効硬度が得られ Al の増加と共に硬度は増加するが 1.2% 以上に於ては増加緩慢となり、且つ層の脆性も著しく増加する Cr は Al の硬化作用を助け層の靱性に關係する網狀組織の發達を促すが、一面 Al との相互作用に依つて滲透性を改善し、窒化層に靱性を與へる性質がある。此の見地より Cr 量は Al 量より幾分多量なることを必要とし Cr 量は Al 量に附隨して決定さるべきものと考へる。A. Fry 氏⁹⁾ は硬度のみの點より Al+Cr=3% なる關係を推奨して居る様であるが、著者は以上の如き硬度及び靱性の兩見地より Al Cr 鋼の Al 及び Cr 量は次の様な範圍のものが適當と考へる。

⁷⁾ Sergeson; 前出

⁸⁾ Higgins; The Iron Age Apr. 2, (1931)

⁹⁾ Fry; Engineering May 13 (1932), 587

$Al\ 0.7\sim 1.2\%$ $Cr\ 0.8\sim 1.5\%$ $Al\% < Cr\%$

而して此の範囲内にて Al , Cr の組合せを如何に用ふべきかは勿論使用目的に應じて適當に選ばなければならないが、炭素量の高い鋼種に於ては靱性及び滲透性の見地より所要硬度数の許す限り Al 及び Cr 共に低い範囲のものが望ましい。

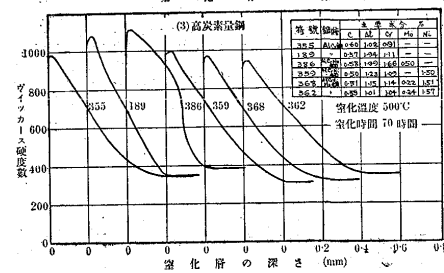
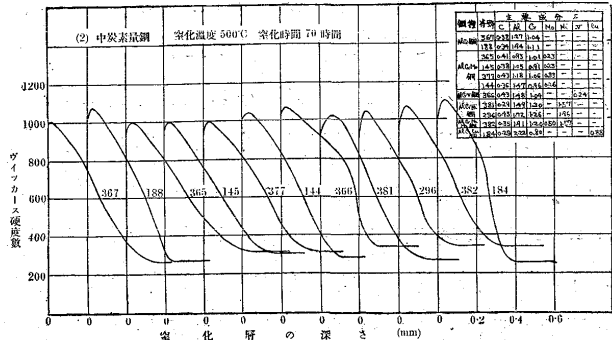
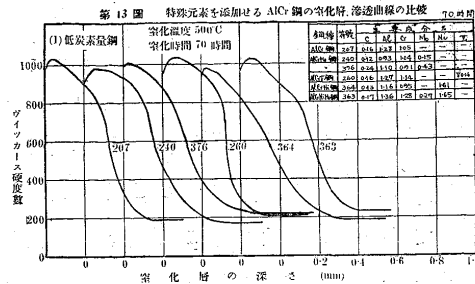
窒化温度は高くなる程、窒化層の厚さを増すが硬度は減少する。且つ茲に最も注意すべきは層の脆性を次第に増す點である。而して $500^{\circ}\sim 530^{\circ}C$ 範囲の温度に於ては硬度の減少は著しくなく且つ靱性も比較的害はれない。然るに $550^{\circ}C$ となれば硬度の減少、脆性の増加は頗る著しくなり、又窒化處理に依つて中心部が多少軟化される傾向があり、且つ抗力に變化を來す虞もある。故に $Al\ Cr$ 鋼の窒化温度としては $550^{\circ}C$ は不適當であつて $500^{\circ}\sim 530^{\circ}C$ の範囲が適當と考へる。

IV. 特殊元素を添加せる $Al\ Cr$ 鋼及び $Al\ Mo$ 鋼 $Al\ V$ 鋼 $Cr\ Mo$ 鋼 $Cr\ V$ 鋼等の窒化層

(1) 研究の要領：一今日窒化法の應用に當つて技術上唯一の難點とされて居るものは硬化された層が剝脱すること、此の缺陷を除去することが目下の急務の一つと考へられて居る。從來此の剝脱現象の原因は主として窒化層の脆性に歸せられ靱性を與ふると言ふ見地より、材料及び窒化方法の二方面より研究が行はれて居る。即ち材料方面の研究には Fry 氏の $Al\ Cr\ Mo$ 鋼 Kinzel 氏¹⁰⁾ の $Cr\ V$ 鋼等がある。Fry 氏は $Al\ Cr$ 鋼に Mo を添加することに依つて、窒化層は靱性を増すのみでなく、中心部の抗力をも改善する利點を指摘して居る。窒化方法の研究は Sergeon 氏¹¹⁾ の提唱せる二重窒化法であるが、彼は之を實際工業的に應用するには今後尙相當の研究を要することを附言して居る。

著者は前節に於て $Al\ Cr$ 鋼の窒化層は成分上 $Al\ 0.7\sim 1.2\%$ $Cr\ 0.8\sim 1.5\%$, $Cr\% > Al\%$ の如き條件のものが種々の點より好結果を與へることを示したが、尙此の範囲内のものに於ても C 及び Al 等が高くなる程窒化層は脆くなる傾向があることを認めた。依つて著者は之に特殊元

素の Mo , V , Ni 或は Cu 等を添加したもの及び $Al\ Mo$ 鋼 $Al\ V$ 鋼 $Cr\ Mo$ 鋼



或は $Cr\ V$ 鋼等に就て窒化層の性質を比較し此の缺陷の除去を材料方面より研究考察することとしたのである。

(2) $Al\ Cr$ 鋼に特殊元素の Mo , V , Ni 或は Cu 等を添加せるものの窒化層：一此の type の鋼種は $Al\ 1.0\%$ $Cr\ 1.2\%$ の $Al\ Cr$ 鋼を標準鋼とし、之に特殊元素の添加を目的成分としたのであるが、熔解が困難な爲に目的成分と可成り懸隔するものが多く出來た。之が爲に各鋼種間の相互比較は不完全なるを免れないが、其の結果は大體次の様である。

各鋼の窒化層の最高硬度及び厚さは $Al\ Cr$ 鋼同様に第13(1~3)圖に見る如き硬度—深さ曲線(滲透曲線)より決定した。第14(1~3)圖は夫々低、中及び高炭素量鋼別に比較したものである。

(i) Mo を添加せるもの

低炭素量鋼；240, 376.

中炭素量鋼；365, 145, 377, 144.

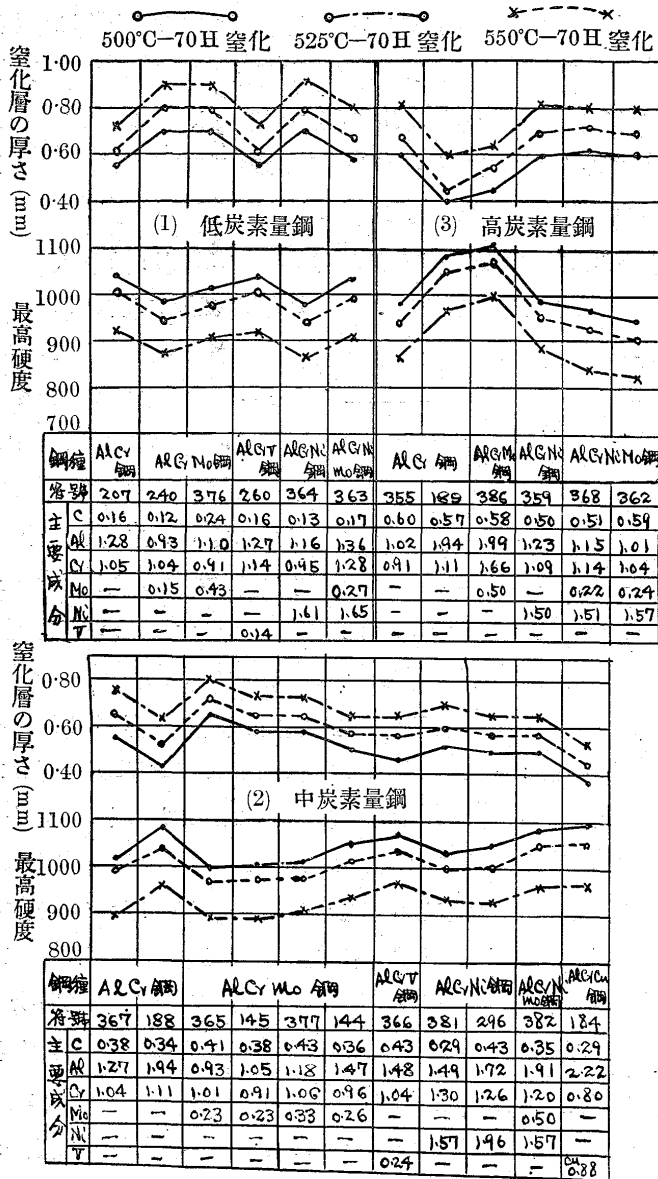
高炭素量鋼；386.

W. Eilender, O. Meyer 兩氏¹²⁾は $Fe-Mo$ 合金に就て窒化の研究を行ひ Mo は可成りの硬化作用を有することを發表し A. Fry 氏は $Al\ Cr$ 鋼に Mo の添加は硬度を増し且つ靱性を與へる様に言つて居る。著者の實驗に於

¹⁰⁾ Kinzel; Trans. Amer. Soc. Steel Treat. 14 (1928), 248

¹¹⁾ Sergeon; 前出

第 14 圖 特殊元素を添加せる $Al\ Cr$ 鋼の窒化層の最高硬度及び厚さの比較



ては第 13 (1~3) 及び 14 (1~3) 圖に見る如く Mo の添加は多少最高硬度及び層の厚さを増す傾向が認められるが著しいものでなく、寧ろ Mo は層の滲透性に可成影響することが窺れる、即ち高硬度範囲の層を厚くし、中心部との境界附近に於ける硬度の下降を緩慢にして Mo を添加せざるものに比し層の密着性が良好となつて居る。

靱性の測定に於て Mo の影響はヴィツカース硬度計法にては明瞭でないが、ロックウェル硬度計法にては添加せざるものに比し稍靱性を有することを知つた。之に依つて Mo は窒化層の最表層の靱性には餘り影響はないが、層の滲透性を改善し層全體として靱性を與へるものと考へられる。尙窒化層の組織は寫眞 No. 18, No. 22 等に見る如く

添加 Mo の影響は明かでない。

(ii) V を添加せるもの：—

低炭素量鋼 266. 中炭素量鋼 366.

W. Eliender, O. Meyer 兩氏¹³⁾ は $Fe-V$ 合金に就て實驗した結果 V は Mo より硬化作用が著しいと發表して居る。著者の實驗に於ても相當量の V 添加は $Al\ Cr$ 鋼を一層硬化せしめると言ふ結果を示した。即ち第 14-1 圖に於て $V\ 0.14\%$ 添加の 260 鋼は添加量が少ない爲か窒化層の硬度及び厚さは之に匹敵する $Al\ Cr$ 鋼 (207 鋼) と略々等しく V の硬化作用は認め難いが、第 14-2 圖の添加量の多い 366 鋼は元より Al 量の高い $Al\ Cr$ 鋼 188 鋼の硬度及び厚さに相當して居る。之に依つて相當量の V の添加は最高硬度を増し、厚さを減少せしめる性質があることが窺れる。又 V の添加は層の滲透曲線に見る如く、高硬度範囲の層の厚さを増し、従つて硬度の急激なる下降は相當深部に起つて居る。又窒化層より中心部への硬度の推移も急激にして層の密着性も Mo 添加の場合の如き良好な傾向を示さず、其の靱性 $Al\ Cr$ 鋼に匹敵し、 V の靱性に對する効果は殆んど認め難い。

寫眞 No. 19 及び No. 23 は夫々 260 鋼、366 鋼の窒化層の組織であつて中炭素量鋼の 366 鋼には $Al\ Cr$ 鋼より針狀結晶が著しく細かく發達して居る様である。

(iii) Ni を添加せるもの：—

低炭素量鋼 364. 中炭素量鋼 381, 296.
高炭素量鋼 359.

Ni の硬化作用に關しては Willey,¹⁴⁾ Sergeson,¹⁵⁾ 氏等の研究がある。之に依ると Ni のみにては硬化作用全くなく Cr , V 或は Mo 等の如き硬化作用のある元素と共に添加される場合には窒化層の性質を改善すると稱し、 $Al\ Cr$ 鋼に添加した場合には Ni は表面硬度を減少せしめるが、厚さに関しては遙に優秀な効果を示すと言つて居る。然し乍ら之等は何れも層の靱性に關しては何等觸れて居ない。最近 V. O. Homerberg 氏¹⁶⁾ は Ni を添加した $Al\ Cr$ 鋼に就て實驗した結果を發表して居るが、之に依ると Ni は層の硬度を適當に減じて強固にし、且つ靱

¹³⁾ Eliender, Meyer; Archiv. für das Eisenhüttenwesen 7 (1931), 350

¹⁴⁾ Edlund; Trans. Amer. Soc. Steel Treat. 16 (1929) Special Edition, 86

¹⁵⁾ Sergeson; 前出

¹⁶⁾ Homerberg; The Iron Age Oct. 6. (1932), 534

性を増加せしめる性質があると指摘し Ni 2% 内外の添加を推奨して居る。

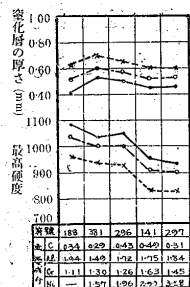
著者は Ni 約 1.5% を添加した以上の如き 4 種の鋼に就て實驗した。其の結果は第 14(1~3) 圖に見る如く Ni を添加せる $Al Cr$ 鋼は略之と同量の Al 及び Cr を含む他の鋼種に比し、多少最高硬度は劣るが、厚さに於ては優秀となつて居る。更に Ni の影響に關して添加量の多い 3.0~3.5% Ni の試料に就いて追加試験を行つた。其の結果は第 9 表の様である。

第 9 表 $Al Cr Ni$ 鋼の追加試験結果

鋼 種 符號		主要成分				500°C-70H窒化			525°C-70H窒化			550°C-70H窒化		
		C %	Al %	Cr %	Ni %	最高 硬度	厚さ mm	中心部 硬 度	最高 硬度	厚さ mm	中心部 硬 度	最高 硬度	厚さ mm	中心部 硬 度
Al Cr Ni 鋼	141	0.49	1.75	1.63	2.99	950	0.45	423	902	0.52	430	850	0.60	415
"	297	0.31	1.84	1.45	3.58	930	0.45	417	900	0.52	417	825	0.60	416

第 15 圖 窒化層の最高硬度及び厚さに及ぼす添加 Ni の影響

● 500°C-70H 窒化
○ 525°C-70H 窒化
× 550°C-70H 窒化



第 15 圖は Ni の添加量と窒化層の最高硬度及び厚さとの關係を示したもので、之に依ると硬度は Ni の増加と共に次第に低下するが、層の厚さは Ni 1.5%~2.0% 迄は稍増し、夫れ以上に於ては殆んど効果が無い様である。

又第 13 (1~3) 圖の滲透曲線に見る如く Ni は層の滲透性にも關係し Cr , Mo 或は V の如く高硬度範圍の層を厚くする作用なく、硬度は最高硬度に達してより

徐々に下降し、急激なる硬度の變化を起さずして中心部に達し、而かも境界附近に於て極めて徐々に深く滲透して居る。此の點 Mo と相似の性質を有して居る。斯くの如く Ni 1.5%~2.0% の添加は高硬度層の滲透を妨げるが層全體の滲透を促し、層の密着性を良好ならしめる性質がある従つて其の靱性は全體を通じて $Al Cr$ 鋼より優れ、唯高炭素量鋼の 359 鋼に於ては表層が薄く剝落し易いが、之は C 量が高い爲に窒化の滲透が妨げられ一層高硬度範圍の層が薄くなる爲と考へられる。

窒化層の組織は寫眞 No.20, No.24 の様であつて低炭素量鋼の 364 鋼を除き針狀結晶緻密に發達し、針狀も亦鋭い、此の傾向は $Al Cr V$ 鋼よりも著しい。

(iv) Ni 及び Mo を添加せるもの：—

低炭素量鋼 363. 中炭素量鋼 382.

高炭素量鋼 362, 368.

$Al Cr Ni Mo$ 鋼の窒化層は全く $Al Cr Ni$ 鋼の性質と異なる所なく、添加 Mo の影響は殆んど認め難い。即ち最高硬度は $Al Cr$ 鋼に比し可成り低い、層の厚さは高炭素量のものを除き多少厚く、且つ層の密着性良好にして靱性に於ても概して優秀である。

又窒化層の組織も寫眞 No 21, No.25 に見る如く $Al Cr Ni$ 鋼と同様に著しく針狀結晶が發達して居る。

(v) Cu を添加せるもの：—

中炭素量鋼 184

Cu を添加せるものは以上の 1 種のみにして、之に依つて Cu の影響を充分考察することは出来なかつた

が、大體 $Al Cr$ 鋼 (188 鋼) と比較して Ni の如く著しく窒化層の性質に關係しないことが窺れる。

(3) 各鋼種の窒化層に及ぼす窒化温度の影響 (第 14 1~3) 圖参照)：— $Al Cr$ 鋼と全く同様に添加元素の如何に拘らず其の硬度は 500°C 窒化のものが最も高く 525°C のものは 500°C のものより 30~40 低く 550°C のものは 100~130 低下して居る。一方窒化層の厚さは温度の高いもの程厚く、25°C 上昇毎に約 0.1 mm を増して居る

又窒化温度と窒化層の滲透状態との關係も全く $Al Cr$ 鋼の場合と同様であつて 550°C 窒化のものは何れも硬度の變化を二段に起し滲透曲線に著しい屈曲を生じて居る、500°C 及び 525°C 窒化のものは略相似の滲透状態を示し 550°C に見る如き屈曲を有して居ない。又寫眞 No 26 (1~3) に見る如く、窒化温度が高いもの程網狀組織が發達し、層の靱性を害ひ、何れの鋼種に於ても 550°C のものは 500°C 及び 525°C のものに比し可成り脆くなつて居る。

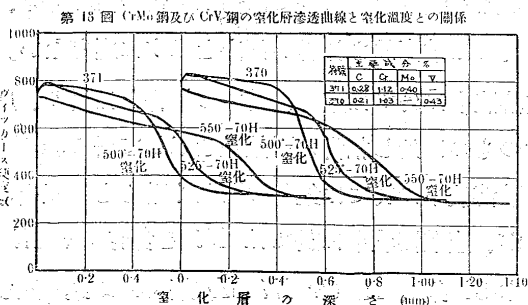
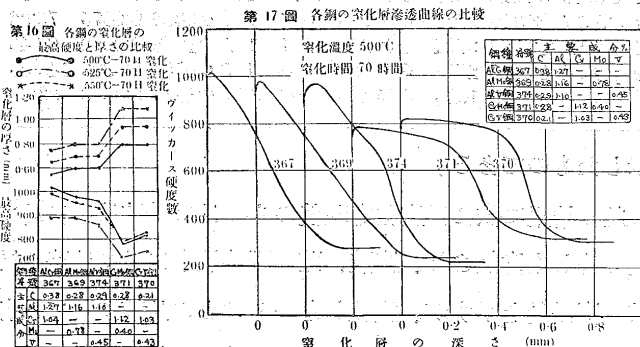
(4) 各種特殊元素を添加せる $Al Cr$ 鋼の窒化層に關する結言：— 以上各種の特殊元素を添加した $Al Cr$ 鋼の窒化層に關して硬度、厚さ、滲透性及び靱性等に就て吟味した結果を總括すると次の様である。

硬度の點よりは $Al Cr V$ 鋼最も高く、次いで $Al Cr Mo$ 鋼にして共に $Al Cr$ 鋼に優るが Ni を添加せる $Al Cr Ni$ 鋼、 $Al Cr Ni Mo$ 鋼は $Al Cr$ 鋼に劣る。窒化層の厚さの點よりは之と反對に $Al Cr Ni$ 鋼及び $Al Cr$

Ni Mo 鋼最も厚く、次いで Al Cr Mo 鋼の順序となり何れも Al Cr 鋼より稍々優秀である。Al Cr V 鋼は Al Cr 鋼にも劣り最も薄い様である。靱性の見地よりは Al Cr Mo 鋼、Al Cr Ni 鋼、Al Cr Ni Mo 鋼等は何れも Al Cr 鋼より靱性に富み Al Cr V 鋼は Al Cr 鋼より寧ろ脆い傾向がある。而して Ni を含有する Al Cr Ni 鋼及び Al Cr Ni Mo 鋼等は中、低炭素量のものに於ては其の靱性 Al Cr Mo 鋼より優秀であるが、高炭素量のものに於ては表層が剥落し易く稍劣の様である。

以上の如き窒化層の硬度、厚さ及び靱性の三条件に於て Al Cr 鋼に優れるものには Al Cr Mo 鋼1種のみである。硬度の點では稍々劣るが、他の二条件に於いて優秀なるものには Al Cr Ni 鋼及び Al Cr Ni Mo 鋼の2種がある。而して Al Cr V 鋼は硬度の點にのみ優れ他の點では稍々劣る様である。

(5) Al Mo 鋼、Al V 鋼、Cr Mo 鋼及び Cr V 鋼の窒化層：— 第16圖は各窒化温度に於ける窒化層の最高硬度



及び厚さの比較を示し、第17圖は500°C 窒

化のものの層の滲透曲線を示したものである。

此の結果に依れば硬化作用の著しい Al を含有する Al Mo 鋼及び Al V 鋼は Cr Mo 鋼及び Cr V 鋼に比し其の最高硬度は著しく高いが、窒化層は薄く Al, Cr 各1% 前後の Al Cr 鋼の硬度及び厚さに相當して居る。

Al Mo 鋼、Al V 鋼の窒化層の滲透状態は Al Cr 鋼に似て最高硬度よりの硬度の下降は急激であるが Cr Mo

鋼、Cr V 鋼に於ては極めて緩慢にして表面より0.4mmの深さに於て尚 700 以上の硬度を保持して居る。又 V を含有するものと Mo を含有するものとの間には其の母鋼が Al 鋼或は Cr 鋼の如何を問はず V を含むもの (Al V 鋼、Cr V 鋼) は夫々 Mo を含むもの (Al Mo 鋼、Cr Mo 鋼) に比し、最高硬度よりの硬度の下降が比較的緩慢となつて居る。

Al Mo 鋼、Al V 鋼の窒化層と窒化温度との關係は全く Al Cr 鋼と同様であつて窒化温度が高くなるに従つて硬度は低下し、窒化層の厚さは増加する。又窒化層の滲透曲線も Al Cr 鋼と同様なる傾向を示し 550°C の窒化に於ては硬度の變化は二段に起る。然るに Cr Mo 鋼、Cr V 鋼に於ては 525°C 窒化のものは 500°C 窒化のものに比し硬度稍々高く、且つ窒化層の厚さも著しく増加する。温度 550°C となれば厚さは増すが、硬度は低下する。又其の滲透曲線第 18 圖に見る如く層の滲透性は Al Cr type の鋼の如き二段變化を起して居らない。

又此の圖に於て窒化温度 525°C 及び 550°C の窒化層の滲透性は 500°C のものに比し、表面よりの硬度の下降稍急激であるが、中心部との境に於ける硬度の下降極めて緩慢であつて窒化層の密着性が良好となつて居ることが分る。

次に靱性の測定結果を綜合すると Al Mo 鋼は Al V 鋼に比し稍々優れ Cr Mo 鋼及び Cr V 鋼は共に甚だ靱性に富み Al を含有する鋼より遙に優秀であつて且つ 550°C 窒化のものに於ても其の靱性は害れることがない。

窒化層の組織は寫眞 No.27~No.30 の様である。Al Mo 鋼、Al V 鋼は共に粗大なる針狀組織を呈し、前者は後者より其の發達緻密である。而して何れも低炭素量の Al Cr 鋼の組織に似て針狀が比較的鈍である。Cr Mo 鋼及び Cr V 鋼には Al Cr 鋼に見る如き針狀結晶の發達少く寧ろ丸味を帯びた結晶組織を呈して居る。

又寫眞 No.31 (1~3) 及び No.32 (1~3) は夫々 Al Mo 鋼及び Cr V 鋼の各窒化温度に於ける層の組織を示したものである。500°C 及び 525°C 窒化のものは略々同様の組織を呈して居るが 550°C 窒化のものは結晶が可成り粗になつて居る。

以上4種の鋼に就て實驗した結果 Al Mo 鋼及び Al V 鋼の窒化層は硬度、滲透性或は靱性等の諸點に於て Al Cr 鋼と全く相似の性質を有して居るが Cr Mo 鋼、Cr V 鋼

等に之等と可成り性質を異にして居ることを知つた。即ち硬度に於ては劣るが、厚さに於ては遙かに優秀であり、且つ靱性にも亦著しく富んで居る。殊に著しい相違點は 525°C の窒化温度に於て最高の硬度を與へ、温度の上昇に依る厚さの増加がより顯著であり 550°C にて窒化した場合に於ても層の滲透曲線に二段變化を示さず、従つて靱性が害はれない等の諸點である。

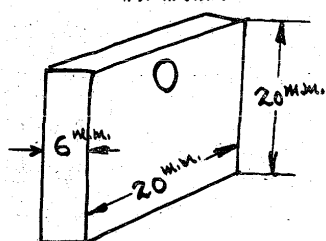
V. 窒化層の耐蝕試験

從來發表せられた多くの文献に依れば窒化處理に依つて得た表層は海水、油、アルカリ、大氣、蒸氣或はガソリン等に對して著しい耐蝕性を示すが、酸類に對しては抵抗力頗る弱いと稱せられて居る。而して之等は單に定性的にのみ示されたものが多く、定量的に示したものは極めて少い尙窒化鋼の異種金屬との接觸腐蝕に關して、中性鹽類溶液中にあつても異種金屬との接觸の場合には、其の腐蝕は促進されると言ふ説¹⁷⁾と然らざる説¹⁸⁾とがあつて未だ此の問題に對しても充分な解決が與へられて居ない様である。著者は本研究に於て窒化表層の大氣、アルカリ溶液等に著しく耐蝕性である事を知つたが、尙各種の酸及び食鹽水に就ての單獨腐蝕試験及び眞鍮或は砲金との接觸腐蝕試験をも行つた

第 10 表 供試材の成分及び窒化層の最高硬度と厚さ

鋼種	符號	主要成分								窒化層	
		C	Al	Cr	Mo	Ni	V	Cu		最高硬度	厚さ mm
Al	Cr	367	0.38	1.27	1.04	—	—	—	—	991	0.55
		199	0.43	1.33	1.77	—	—	—	—	1021	0.45
Al	Cr Mo	377	0.43	1.18	1.06	0.33	—	—	—	976	0.58
Al	Cr V	366	0.41	1.48	1.03	—	0.24	—	—	1038	0.47
Al	Cr Ni	381	0.29	1.49	1.30	—	1.57	—	—	1001	0.53
Al	Cr Ni Mo	382	0.35	1.91	1.20	0.50	1.57	—	—	1049	0.50
Al	Cr Cu	184	0.29	2.22	0.80	—	—	0.88	—	1056	0.40
Al	Mo	369	0.28	1.16	—	0.78	—	—	—	956	0.58
Cr	V	370	0.21	—	1.03	—	0.43	—	—	827	0.85

腐蝕試験片



(1) 單獨腐蝕試験:—
供試料は第 10 表の如き 9 種類の成分のものを選り、熱處理後、圖示の如き試験片となし、窒化装置 (II) を用ひ 525°C-50 時間窒化したものに就て行つた。其の窒化層の最高硬度及び

厚さは第 10 表に見る様である。

腐蝕液は鹽酸、硝酸及び硫酸の各 1% 無機酸溶液を用ひ食鹽水は 3% のものを使用した。

而して酸溶液試験に於ては窒化した儘の状態のみに就て試験したが、食鹽水試験には僅かに窒化表層を研磨して最表層を除去したものに就ても試験した。其の結果は第 11 及び 12 表の様である。

(i) 酸溶液中に於ける試験結果:—第 11 表は各試料の窒化前後に於ける鹽酸、硝酸及び硫酸溶液中 15 時間浸漬後の腐蝕量及び窒化後の窒化前のものに對する腐蝕比を

第 11 表 酸溶液中に於ける腐蝕量及び窒化せざるものに對する腐蝕比
浸漬時間 (15 時間)

鋼 種	符號	1% 鹽酸			1% 硝酸			1% 硫酸				
		腐蝕量 gr/cm^2		腐蝕 比 %	腐蝕量 gr/cm^2		腐蝕 比 %	腐蝕量 gr/cm^2		腐蝕 比 %		
		窒化せ ざるもの	窒化せ るもの		窒化せ ざるもの	窒化せ るもの		窒化せ ざるもの	窒化せ るもの			
		の	の		の	の		の	の			
Al	Cr	鋼	367	0.0030	0.0743	2476	0.1591	0.1643	103	0.1625	0.0999	61.48
	"		199	0.0018	0.0864	4800	0.1527	0.1720	113	0.1332	0.0564	42.34
Al	Cr Mo	鋼	377	0.0024	0.0589	2457	0.1591	0.1643	109	0.1329	0.0800	60.20
Al	Cr V	鋼	366	0.0031	0.0736	2374	0.1400	0.1599	114	0.1573	0.0999	63.20
Al	Cr Ni	鋼	381	0.0022	0.0413	1877	0.1510	0.1775	117	0.0826	0.0610	73.85
Al	Cr Ni Mo	鋼	382	0.0017	0.0310	1822	0.1420	0.1507	106	0.0886	0.0675	73.92
Al	Cr Cu	鋼	184	0.0021	0.0782	3724	0.1486	0.1751	117	0.1008	0.0842	83.43
Al	Mo	鋼	369	0.0032	0.0825	2578	0.1532	0.1654	107	0.0584	0.0823	140.90
Cr	V	鋼	370	0.0024	0.0245	1020	0.1504	0.1696	108	0.1886	0.0628	33.35

示したものである。

此の結果に依れば窒化處理後のものは硝酸溶液中に於て最も著しく腐蝕され、鹽酸、硫酸兩溶液中に於ては略々同様の腐蝕量を示すが、窒化しないものとの比較に於ては各腐蝕比に見る如く鹽酸溶液に於ては約 20 倍の腐蝕を見、硝酸溶液に於ては稍腐蝕され易い傾向を示すに過ぎない。然るに硫酸溶液中に於ては鹽酸、硝酸の場合とは異り、反對に窒化前のものに比し相當の耐蝕性を示して居る。

而して硝酸溶液中に於ては鋼種の別なく殆んど同程度の腐蝕を見るが、鹽酸溶液中に於ては Ni を含有する Al Cr Ni 鋼 (381 鋼)、Al Cr Ni Mo 鋼 (382 鋼) 及び Al を含有しない Cr V 鋼 (370 鋼) 等は窒化處理前後其他のものに比し、稍腐蝕され難く、窒化しないものに對する腐蝕比に於ても良好な結果を示して居る。硫酸溶液中に於ては Ni を含有する 381 鋼及び 382 鋼等の窒化前後の腐蝕量は他の Al Cr 鋼 type の鋼より少く、耐蝕性を示すが、腐蝕比に見る如く窒化による耐蝕性の効果は殆んど變つて居ない。然るに Cr V 鋼 (370 鋼) は窒化前には著しく作用されるが、窒化後に於ては他のものよりも

¹⁷⁾ Crossman; The Iron Age June 4. (1931), 1823

¹⁸⁾ The Iron Age Oct. 23 (1930), 1125

耐蝕性を示し、窒化に依る効果最も著しい。 Cr を含有しない $Al Mo$ 鋼(369 鋼)は $Cr V$ 鋼或は $Al Cr$ 鋼 type の鋼とは反対に窒化前には何れの鋼よりも耐蝕性を示すが窒化後に於ては却つて腐蝕され易くなり、其の腐蝕量 1.4 倍に達して居る。斯くの如く $Al Cr$ 鋼 type のもの及び $Cr V$ 鋼等の如き Cr を含有するものが硫酸溶液に對して窒化に依る耐蝕性効果を示す事は注目に値する。

(ii) 食鹽水中に於ける試験結果:—第 12 表は窒化處理前後に於ける 3% 食鹽水中 30 日間浸漬後の腐蝕量及び窒化後の窒化前のものに對する腐蝕比を示す。

第 12 表 食鹽水中に於ける腐蝕量及び窒化せざるものに對する腐蝕比(浸漬日数 30 日間)

鋼 種 符號	窒化せざるものの腐蝕減量 gr/cm^2	窒化のまゝの狀態		窒化後最表層を除去せるもの	
		腐蝕減量 gr/cm^2	腐蝕比 %	腐蝕減量 gr/cm^2	腐蝕比 %
$Al Cr$ 鋼 367	0.0054	0.0002	3.73	0.0006	11.11
" 199	0.0041	0.0002	4.87	0.0005	12.20
$Al Cr Mo$ 鋼 377	0.0055	0.0004	7.27	0.0006	10.90
$Al Cr V$ 鋼 366	0.0050	0.0005	6.00	0.0005	10.00
$Al Cr Ni$ 鋼 381	0.0041	0.0003	7.31	0.0006	14.63
$Al Cr Ni Mo$ 鋼 382	0.0042	0.0003	7.14	0.0007	16.66
$Al Cr Cu$ 鋼 184	0.0054	0.0002	5.64	0.0008	14.81
$Al Mo$ 鋼 369	0.0069	0.0012	17.38	0.0014	20.28
$Cr V$ 鋼 370	0.0054	0.0004	7.40	0.0009	16.66

之に依れば窒化後に於ては著しく耐蝕性を増し 30 日間浸漬後に於ても、窒化しないものの約 4~7% の腐蝕量を示すに過ぎない。窒化最表層を除去したものは其の儘のものに比して幾分劣るが、尙窒化しないものに比し著しく耐蝕性を有して居る。而して $Al Cr$ 鋼 type の鋼種中に於ても Ni を添加せるもの(381 鋼、382 鋼)及び Cr を比較的多量に含有するもの(199 鋼)等は窒化前の状態に於ては他のものよりも耐蝕性優れて居るが、窒化後に於ては其の影響を見ない。茲に注目すべきは Cr を含有しない $Al Mo$ 鋼(369 鋼)が窒化前後を通じて他の $Al Cr$ 鋼 type のもの或は $Cr V$ 鋼に劣つて居る點であつて Cr は窒化前に於ても窒化後に於ても、耐蝕性を與へて居ることが窺知される。

以上單獨試験の結果、鹽酸、硝酸溶液に對しては窒化の効果全く認め難く、殊に鹽酸溶液中に於ては之が爲に著しく耐蝕性が削減される。而して茲に注意すべきは Cr を含む鋼種は總て窒化處理に依つて硫酸耐蝕性を幾分増す點であつて從來發表されて居る多くの文献に依る結果と相反して居る事である。

食鹽水中に於ては窒化の効果著しく、其の窒化層は鋼種の如何を問はず耐蝕性を示し、就中 Cr を含有するものに

殊に著しい。而して最高の耐蝕力は研磨しない最表層に見られる。

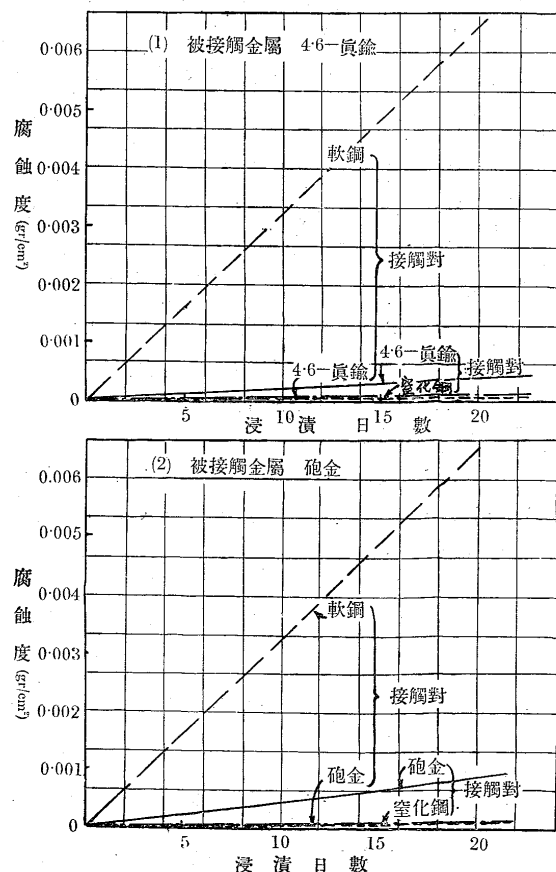
(2) 窒化鋼の異種金屬との接觸腐蝕試験:—一試料は第 10 表中の $Al Cr$ 鋼(367 鋼)を選び、單獨試験と同様の試験片を用ひ、4:6 眞鍮及び砲金と夫々接觸せしめ、3% 食鹽水中に於て試験した。尙比較標準材として軟鋼を選び之に就ても同様の試験を行ひ、窒化鋼との比較に供し、更に 4:6 眞鍮、砲金及び軟鋼等に就て單獨試験をも行ひ、接觸に依る腐蝕の影響を見る事とした。

第 13 表は其の試験結果、第 19 圖は接觸に於ける窒化鋼と軟鋼とを比較して圖示したものである。

第 13 表 接觸腐蝕試験結果

接觸金屬對及び單獨金屬		浸漬日数 腐蝕量 gr/cm^2			
		5	10	15	20
接觸腐蝕試驗	窒化鋼	0.00005	0.00009	0.00008	0.00010
	4:6-眞鍮	0.00009	0.00019	0.00030	0.00040
	軟鋼	0.00165	0.00509	0.00475	0.00641
	4:6-眞鍮	0.00004	0.00005	0.00007	0.00009
	窒化鋼	0.00005	0.00007	0.00008	0.00009
	砲金	0.00023	0.00042	0.00065	0.00090
	軟鋼	0.00168	0.00325	0.00494	0.00654
	砲金	0.00005	0.00005	0.00006	0.00008
單獨腐蝕試驗	窒化鋼	—	0.00010	0.00013	0.00015
	軟鋼	0.00119	0.00238	0.00385	—
	4:6-眞鍮	0.00008	0.00016	0.00025	0.00035
	砲金	0.00021	0.00037	0.00065	0.00084

第 19 圖 窒化鋼接觸腐蝕試験結果



其の結果に見る如く眞鍮或は砲金と接觸して試験せる軟鋼は局部的電流作用に依つて單獨腐蝕以上に浸蝕されて居るのを見る

が、窒化鋼の場合に於ては、殆ど浸されることなく、眞鍮或は砲金に多くの浸蝕を見る。而して其の腐蝕量は單獨に起る程度のものに過ぎず、之は食鹽水中の如き電解質中に於ては兩者間の電位差が僅少であつて、局部的電流作用に依る腐蝕が少いものと考へる。

斯くの如く窒化鋼は眞鍮、砲金等と接觸使用に於ても耐蝕性を示すのみでなく、被接觸金屬の腐蝕をも亦促進せしめない様である。

VI. 窒化層の再加熱に依る硬度の變化

窒化法に依つて得られた硬度は 600°C 附近迄再加熱されても硬度は低下しないと云ふ事は既に Sergeson¹⁹⁾ Homerberg²⁰⁾ Harder²¹⁾ 及び石澤博士²²⁾ 等に依つて實證されて居るが、之等は何れも二、三の鋼種に就て實驗した結果に過ぎない。

著者は第 14 表の如き種々の成分の 11 種の鋼に就て實證した。

第 14 表 供試材の成分

鋼種	符號	化學成分												
		C	Mn	Si	P	S	Cu	Al	Cr	Mo	Ni	V		
Al Cr 鋼	鋼	135	0.36	0.32	0.46	0.009	0.003	0.26	0.73	1.94	—	—	—	—
	"	367	0.38	0.46	0.31	0.031	0.004	0.15	1.27	1.04	—	—	—	—
	"	295	0.37	0.44	0.31	0.014	0.004	0.18	1.69	0.86	—	—	—	—
Al Cr Mo 鋼	鋼	377	0.43	0.26	0.39	0.014	0.002	0.17	1.18	1.06	0.33	—	—	—
	"	388	0.39	0.32	0.31	0.035	0.005	0.10	1.58	1.20	0.30	—	—	—
	"	366	0.41	0.55	0.27	0.018	0.003	0.09	1.48	1.03	—	—	—	0.24
Al Cr Ni 鋼	鋼	381	0.29	0.35	0.22	0.017	0.006	0.12	1.49	1.30	—	—	—	1.57
Al Cr Ni Mo 鋼	鋼	382	0.35	0.32	0.22	0.021	0.001	0.11	1.91	1.20	0.50	—	—	1.57
Al Mo 鋼	鋼	369	0.28	0.46	0.32	0.026	0.002	0.10	1.16	—	0.78	—	—	—
Al V 鋼	鋼	374	0.29	0.37	0.27	0.009	0.003	0.11	1.10	—	—	—	—	0.45
Cr V 鋼	鋼	370	0.21	0.40	0.28	0.026	0.002	0.22	—	1.03	—	—	—	0.43

試験片は硬度試験片と同様の大きさのものを用ひ、窒化装置 (I) に依つて Al Cr 鋼の 135, 295 鋼は窒化温度 500°C 他は全部 525°C に於て 50 時間窒化したものを使用した。而して再加熱は次の如き三通りの加熱條件を以て實驗した。

(1) 眞空中にて 500°C, 600°C, 650°C, 700°C 及び 800°C の 5 通りの温度に各 1/2 時間加熱緩冷した。135 鋼、295 鋼に於ては更に低い 300°C, 400°C に就ても追加實驗を行つた。

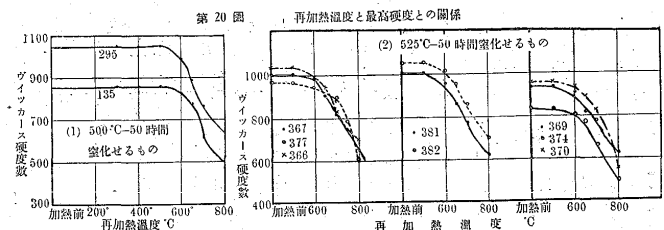
(2) Al Cr Mo 鋼 (388 鋼) に就て空氣中にて 500°C

600°C, 650°C, 700°C 及び 800°C の各温度に 1/2 時間加熱緩冷した。

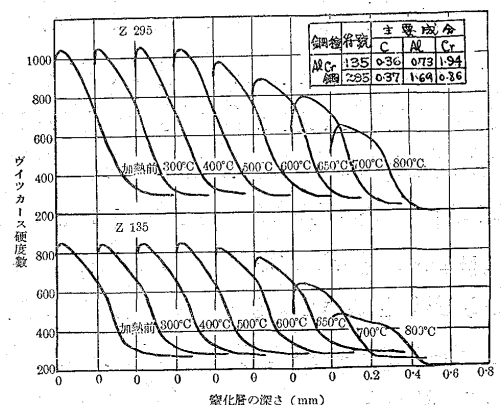
(3) Al Cr Mo 鋼 (388 鋼) に就て眞空中及び空氣中にて 500°C, 600°C 及び 700°C の各温度で 1, 2 及び 4 時間加熱緩冷した。

以上の如き三通りの條件の下で再加熱した各試験片は表面より 0.02~0.07 mm 宛削つて各層の硬度を測定し、硬度—深さ曲線 (滲透曲線) を求め、之より再加熱に依る硬度の變化を吟味したのである。

(1) 眞空中に於ける再加熱温度の影響:—第 20 (1, 2) 圖は再加熱に依る最高硬度の變化を圖示したもので、之に依



第 21 圖 再加熱温度と窒化層の滲透曲線との關係 (眞空中加熱)



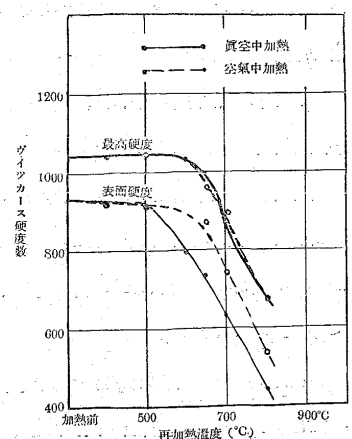
ると鋼種の如何を問はず、最高硬度は總て 500°C 迄全く變化なく 600°C より降

下し始め 700°C に於て急激なる硬度の減少を來し 800°C となれば原硬度の 60~65% に低下して居る。

第 21 圖は Al Cr 鋼の 135 鋼及び 295 鋼の各再加熱温度と滲透曲線との關係を示したものである。

再加熱温度 500°C 迄は全く再加熱前の滲透曲

第 22 圖 眞空中兩加熱に於ける空氣中再加熱温度と表面硬度及び最高硬度の關係



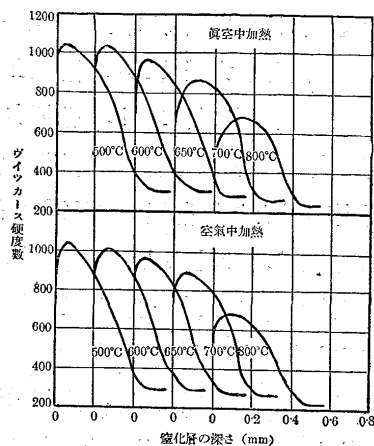
¹⁹⁾ Se geson; 前 出

²⁰⁾ Homerberg; 前 出

²¹⁾ Harder; Trans. Amer. Soc. Steel Treat. (1930), 497

²²⁾ 石澤博士; 機械學會誌、第 34 卷 (昭和 6 年) 529

第 23 圖 眞空空気中兩加熱に於ける
再加熱温度と窒化層滲透曲
線との關係



Al 量の高い 295 鋼に於ては次第に深部に移動する傾向を示し、又最高硬度よりの硬度の下降も緩慢となるが、中心部との境界附近に於ては全く加熱前のものと一致し、温度の高いもの程、此の範囲が小さくなつて居る。

此の點より窒化層は 600°C 以上に加熱されると硬度は減少するが、窒化層の厚さには殆んど變化がない。即ち本實驗範圍内に於ては中心部に向つて窒化物は殆んど擴散するものでないことが略々推察されたが、尙此の事實は顯微鏡組織の調査に依つて一層確むことが出来た。

寫眞 No. 32~No. 37 は再加熱に依る窒化層組織の變化を示したものである。再加熱温度 500°C, 600°C の組織は加熱せざるものに酷似して居るが 600°C のものに於ては最表層の白色層のみに變化を起し、腐蝕され易くなつて稍青灰色を呈する。650°C のものに於ては更に變化が内部に及び針狀結晶が消失しソルビチック組織を呈し始め 700°C となれば表面附近の組織に更に變化が起り、固溶態の如き組織となる。更に 800°C になれば著しい變化を起し、基質は全く固溶態様のものとなつて結晶粒間に異相を介在するに至る。尙 800°C 加熱のものは硬度の測定に際しても、ピラミッド凹痕が歪むもの多く、基質より固い異相を含んだ不均一組織となつて居ることが略々想像出来た又 650°C より窒化層と中心部との境界にも變化が起り、境界が次第に明瞭となる。而して 700°C, 800°C のものに於ては境界に帶狀組織を生ずるに至る。此の現象を Homberg²⁰⁾ 氏は Ac_1 點以上に加熱されたものにのみ認められたと稱して居るが、著者は供試料全部に 650°C 以上より之が起ることと認めた。斯くの如く窒化層と中心部

線と一致して、影響されて居ないが、最高硬度が減少し始める 600°C より表面硬度も亦低くなり、従つて滲透曲線の形狀も次第に變化して居る。即ち夫れより温度が上昇するに従つて最高温度の位置は

との境界附近が 650°C 以上より次第に變化するが、窒化層の厚さには殆んど影響しないことを知つた。

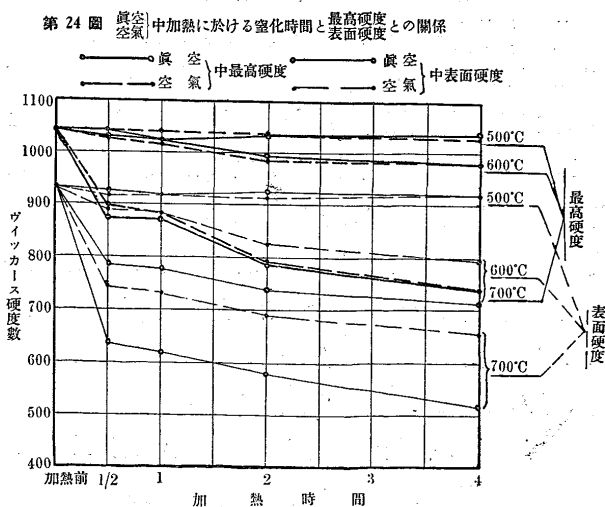
(2) 空氣中に於ける再加熱温度の影響:—第 22 圖は空氣中に於て各温度に再加熱した時の窒化層の表面硬度及び最高硬度を眞空中加熱のものと比較して圖示したもので、第 23 圖は窒化層の滲透曲線の比較を示す。

此の結果に依れば空氣中加熱に於ける表面硬度及び最高硬度の減少は、眞空中加熱の場合と全く同様に、温度 600°C より起り、夫れより温度が高くなるに従つて著しくなつて居る。而して其の硬度減少の傾向は最高硬度に於ては殆んど眞空加熱のものと一致して居るが、表面硬度に於ては眞空加熱のものよりも其の減少が可成り少くなつて居る従つて第 23 圖の滲透曲線に見る如く、兩者の滲透曲線は相違し、眞空加熱のものの最高硬度の位置は空氣中加熱のものよりも深部に存在して居る。即ち眞空中に於ては空氣中に於けるよりも加熱の影響が一層表面に著しいのみならず、内部に迄及んで居ることが窺知出来る。

寫眞 No. 38, No. 39 は夫々眞空中及び空氣中に於て 700°C に再加熱せる窒化層の組織を示したもので、眞空中加熱のものは空氣中加熱のものよりも表層附近の組織の變化が内部に達して居る。

(3) 再加熱時間の影響:—第 24 圖は眞空及び空氣中に於て 500°C, 600°C 及び 700°C の各温度に夫々 1/2, 1, 2 及び 4 時間保持緩冷せる場合の表面硬度及び最高硬度の變化を圖示したものである。

之に依ると、加熱温度 500°C に於ては眞空、空氣中共



に 4 時間保持加熱するも尙表面硬度及び最高硬度に變化なく、温度 600°C, 700°C となれば保持時間が長くなる程

表面硬度及び最高硬度は次第に其の減少が著しくなつて居る。而して最高硬度の減少の傾向は加熱氣圈の空氣の有無に關係せず、殆んど一致して居るが、表面硬度は前節に述べた如く、真空中加熱のものは空氣中加熱のものに比し、其の減少が著しくなつて居る。

(4) 實驗結果の考察:—Meyer, Hobrock²³⁾兩氏に依れば窒化の硬化現象は鐵に殆んど溶解しない合金元素の *Al* 或は *Cr* 等の窒化物が微晶となつて鐵の空間格子間に強固に臨界分散状態を呈して存在し、之が迂り面に干涉を與へて硬化するものであると説明して居る。又 Fry 氏²⁴⁾も此の迂り干渉説を支持し、之に依つて種々の窒化現象を満足に説明し得ると稱して居る。即ち同氏に依ると再加熱に依る硬度の減少は空間格子中に於ける原子の可動性が温度の上昇に依つて促進され、其結果窒化物の凝集が起る場合か或は窒化物が分解する時に起る現象であると説明して居る。著者は Fry 氏の此の説を引用し、且つ窒化物の分解に關して、簡単な實驗を行つた結果を基礎として、上に記述し來りし實驗結果に考察を加へて見たいと思ふ。

窒化物の分解試験には *Al Cr Mo* 鋼 (388 鋼) を選び焼入、焼戻處理を行つた後 50~200 目篩の粉末状となし 525°C、50 時間窒化したものを試料とした。之を真空中に於て 400°C~800°C の間、100°C 置きの各温度に 1/2 時間加熱した後緩冷せしめ、之等に就て *N* 量の分析を行ひ、窒化物の分解温度を簡単に求めんとしたのである。窒素の分析は大川二十二氏²⁵⁾の方法に依つて行つた。其の結果は第 15 表の様である。

第 15 表 窒化物分解試験結果

再加熱 温度	加熱せざるもの	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C
含有窒素量 %	7.409	7.580	6.330	2.704	0.509	0.492

之に依ると、加熱温度 400°C に於ては全く *N* 量に變化なく、500°C に於て稍減少し、夫れより温度が高くなる程著しく *N* 量が減少して居る。而して 700°C 及び 800°C の残留 *N* 量は略々等しくなつて居る。即ち以上の結果より窒化物の分解は 500°C 附近より始まり、温度の上昇と共に、700°C 附近迄著しく分解するが 700°C 以上に於て分解は殆んど止どまることが窺れる。

而して加熱前の試料中に於ける *N* は大部分 *Al*, *Cr* 或

は *Fe* 等の窒化物として含有されて居るが *Al* の窒化物は *N* 氣中にて 1,800°C 以上に加熱しても分解せず、又 *Cr* の窒化物も凡そ 900°C 附近迄は分解しないことが知られて居る。然るに *Fe* の窒化物は今泉氏²⁶⁾に依ると *N* 含有量の多いもの程低温度で分解し、大體 500°C 附近より分解し始め 600°C~700°C の範圍に於て著しく分解すると言ふ結果を示し、著者の實驗に於ける窒化物の分解過程と略々一致して居る。之等の點より加熱温度 800°C 迄は *Al* 或は *Cr* の窒化物は分解しないものと見做され 500°C 附近より起る分解は窒化鐵であつて、其分解は 700°C 附近に於て殆んど完了するものと考へられる。

著者は曩の實驗に於て、鋼種に關係なく、窒化層の硬度は 600°C に加熱されると、多少軟化することを知つたが斯かる軟化の原因は Fry 氏の説に依ると、以上の如き窒化鐵の分解と分解に與らざる *Al* 或は *Cr* の窒化物の凝集とに歸せなければならぬ。

而して窒化鐵の分解は *N* 量の多いもの程低温度で分解することは既に今泉氏に依つて確證されて居る所であり、又 *Al* 或は *Cr* の窒化物粒子の凝集も亦 *N* 量の多い即ち窒化物粒子の濃度の高いもの程、低温度で起り易いことも想像に難くない。故に加熱温度 600°C 附近に於ては、窒化鐵の分解及び *Al* 或は *Cr* の窒化物の凝集は、最も *N* 量の多い表層部にのみ止まるが、温度の上昇と共に此の作用は次第に内部の *N* 量の少い層にも及び斯くして硬度の下降が漸次内層に達するものと見られる。而して其の影響を蒙らざる内部の層は依然として加熱前の硬度を保持するものと考へられる。

硬度の下降に對して加熱時間の影響が温度上昇の影響より少いのは (600°C に於て 4 時間加熱するも尚 650°C に 1/2 時間加熱したものより硬度の下降が少い)。加熱時間と共に窒化鐵の分解は次第に進行するが *Al Cr* 等の窒化物の凝集は、保持時間よりも温度の上昇がより効果的である爲と見られる。又真空中加熱のものは空氣加熱のものよりも表面硬度の減少が甚しくなつて居るのは、窒化鐵の分解は減壓の下に於いて一層促進されるからであると説明される。

茲に注目すべきは 800°C 加熱の場合にして、組織上異常な變化を來し、固溶態様の基質中に異相を介在する組織を呈するが、此の異相は硬度の測定或は窒化物の分解試験等に徴して、分解せざる *Al* 或は *Cr* の窒化物の析出と考

²³⁾ Meyer, Hobrock; Archiv. für das Eisenhüttenwesen 4 (1930~1931), 251

²⁴⁾ Fry; Engineering May, 13 (1932), 587

²⁵⁾ 大川氏; 水曜會誌、第 4 卷第 10 號 (大正 14 年)

²⁶⁾ 今泉氏; 金屬の研究、第 5 卷 (昭和 3 年), 159

へられ、基質は窒化鐵の分解に依る針狀結晶の消失と、窒化處理による脱炭とにより固溶態様組織を呈して居るものと考へられる。又窒化層の断面を通じて基質は殆んど均一な組織となつて居るにも拘らず中心部に比し尙高硬度を保つは、基質中に Al 或は Cr の窒化物が尙超顯微鏡的な微晶として残存して居る爲であらう。

以上の如き考察は簡単な實驗を基礎としたものであるから、不完全なるを免れない。此等の諸現象の真相に關しては尙今後の研究に俟たねばならぬと考へる。

VII. 窒化前後に於ける抗力の變化

(1) 試験方法:—III, IV 章に於て窒素硬化に依り表面層が鋼種に依つて如何に硬化するかに就て研究したが、又其の硬化處理に依つて窒化鋼の中心部の性質が如何に影響されるかと言ふことも亦重要な問題である。蓋し窒素硬化法は焼戻脆性を惹起する範圍溫度に於て長時間保ち後、徐冷を行ふから中心部の物理的性質殊に焼戻脆性の現象を起して、衝擊抵抗を劣等ならしめる懸念があるからである。

著者は次の如き3種の試験に依り、窒化處理前後に於ける物理的性質の變化、即ち窒化處理の鋼に及ぼす影響に就て試験を行つた。

- (1) 窒化處理を施さざるものに就ての試験
- (2) 窒化處理後窒化層を除去し中心部のみに就ての試験
- (3) 窒化處理の儘のものに就ての試験

(1) 及び (2) の結果の比較に依つてアンモニア瓦斯中にて長時間加熱されたる中心部の影響を見ることが出来、又 (1), (3) の比較に依つて窒化の全影響即ち窒化層の影響とアンモニア瓦斯中にて長時間加熱されたる中心部に於ける影響とを見ることが出来る。

物理的試験には抗張力、アイゾット式衝擊、松村式繰返打撃及びブリネル硬度等の諸試験を行つた。各試験片は全部標準型のものであつて、各々3本宛使用した。而して (1) (3) の状態に於て試験するものは曩に述べた如き熱處理を行ひ、之等の諸材より各々正規の試験片を製作し (1) のものは其の儘にし (3) のものは $525^{\circ}C \sim 50$ 時間窒化した後各試験に供した。(2) の状態にて試験するものは豫め正規の試験片に $0.7 \sim 1.2 mm$ の削り代を残し (3) と同様の窒化を行つた後、窒化層を研磨除去し、アイゾット衝擊及び松村式繰返打撃の兩試験片に於ては溝を切り試験に供したのである。

窒化溫度を $525^{\circ}C$ としたのは III, IV 章に於て、一部のものを除き $525^{\circ}C$ 窒化のものは $500^{\circ}C$ のものに比し窒化層の硬度は多少低い、厚さは大にして且つ靱性も害はれないことを知つたからである。

試験片の窒化装置 (II) を用ひ、同一鋼種の各試験片を一装入として窒化した。尙試験片を窒化函に装入するに際してはアンモニア瓦斯の出入口を避け、且つ瓦斯の流通を完全ならしめる爲に試験片間にニクロム線の金網を挟み、窒化面が相接觸せざる様に注意した。

窒化操作中に於けるアンモニア瓦斯分解率は $30 \sim 35\%$ 窒化の溫度差は $\pm 8^{\circ}C$ 以内であつた。

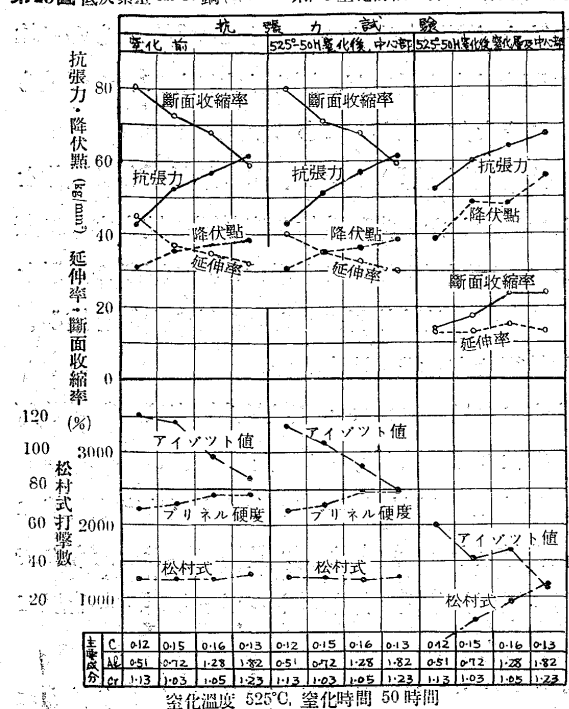
(2) Al Cr 鋼の試験結果:—第 25~29 圖は窒化前後に於ける各試験結果を C 量或は Cr 量別に圖示したものである。松村式繰返打撃数は打撃エネルギー $30 kg.cm$ を以て試験したものである。

(i) 窒化前の抗力 第 25~27 圖に於て Al の各抗力に及ぼす影響を考察するに Cr 或は C の如き著しい影響を示さないが Guillet 或は Hadfield 氏等²⁷⁾が Al 鋼に就て實驗した結果の如く Al の増加と共に抗張力試験に於ては抗張力、降伏點は上昇し、靱性に關係する延伸率、断面收縮率等は低下する。従つてアイゾット衝擊値は幾分悪くなるが、松村式繰返打撃数及びブリネル硬度等は僅かに上昇する而して其の傾向は低炭素量のものに著しくなつて居る。 Cr の影響は第 28, 26 及び 29 圖に於ける中炭素量鋼の 0.5% , 1.0% 及び 2.0% 系の比較に依つて Al と同様の性質を有するが、其の作用は Al より遙かに著しいことが分る。

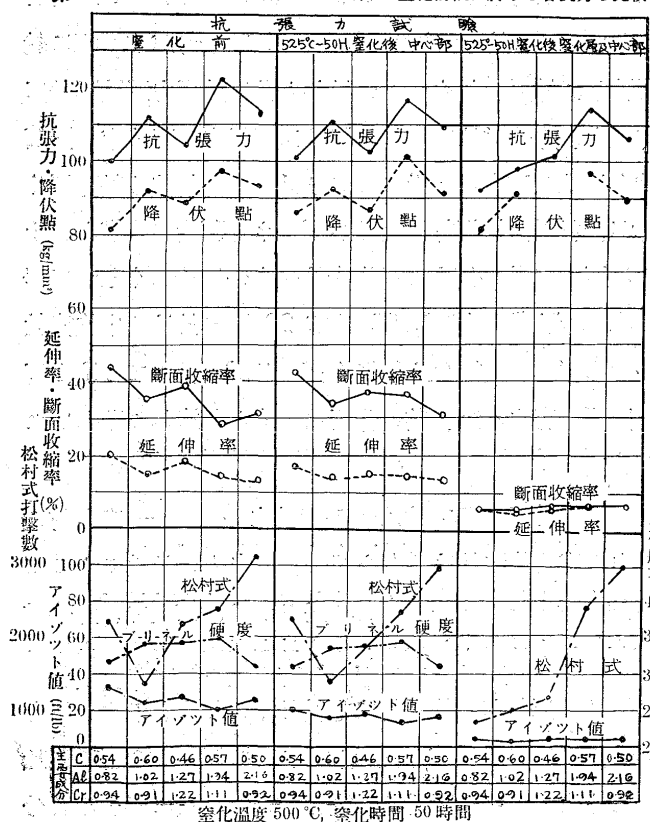
(ii) 窒化處理に依る中心部の各抗力の變化:—一窒化前の各抗力と窒化後に於ける中心部の各抗力との比較によつて中心部に對する窒化の影響を考察するに、抗張力、降伏點及び硬度等には殆んど變化なく、又延伸率、断面收縮率及び松村式繰返打撃数等に於ても稍低下の傾向を示すに過ぎない。然るにアイゾット衝擊値に於ては、窒化前のものに比し著しく劣等となつて居る。窒化前の衝擊値に對する百分比を以て示せば第 16 表の様である。之に依ると、衝擊値の低下の傾向は殆んど Al 量に關係なく C 及び Cr 量の高いもの程著しく、中炭素量鋼の $Cr 2.0\%$ 系及び高炭素量鋼の $Cr 1.0\%$ 系のものに於ては其の衝擊は略半減して

²⁷⁾ Guillet Hadfield; G. Mars; Die Spezialstähle (1922), 433~435

第25圖 低炭素量 Al-Cr 鋼 (Cr1.0% 系) の窒化前後に於ける各抗力の比較



第 27 圖 高炭素量 Al-Cr 鋼 (Cr1.0% 系) の窒化前後に於ける各抗力の比較

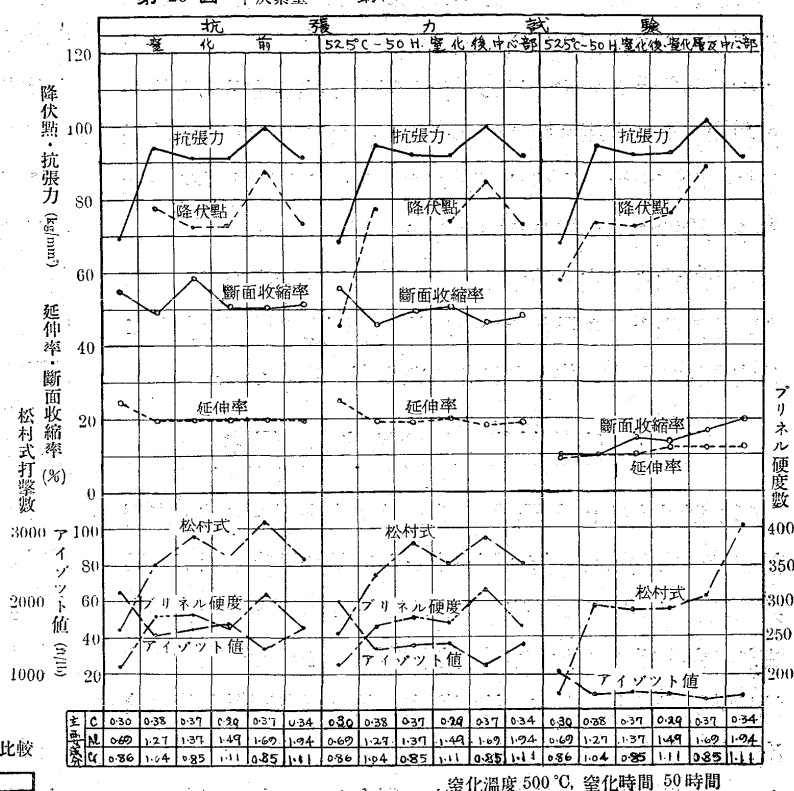


屠る。

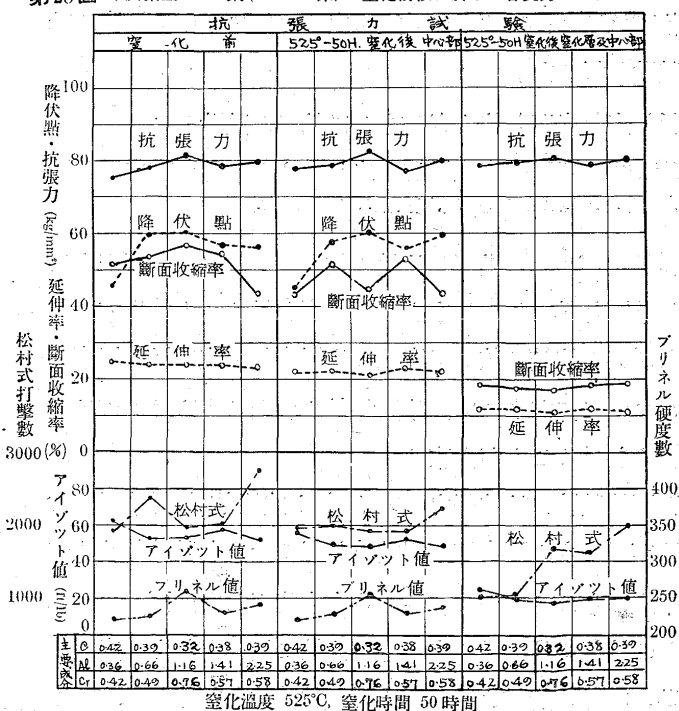
而して此の如き衝撃値の低下は、本實驗に於ては、窒化に依るアンモニア瓦斯の作用に因るものか、或は窒化溫度に長時間加熱する爲に起る、所謂燒炭脆性の現象に因るものか明かでないが Homerberg, Walsted²⁸⁾ の兩氏は錫

²¹⁾ Homerberg, Walsted; 前出

第 26 圖 中炭素量 Al-Cr 鋼 (Cr1.0% 系) の窒化前後に於ける各抗力の比較



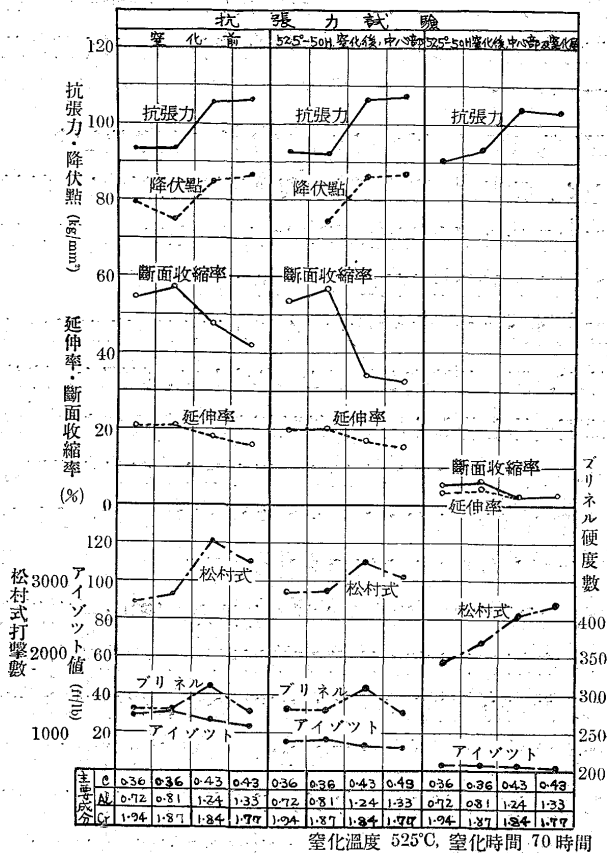
第28圖 中炭素量 Al Cr 鋼 (Cr 0.5% 系) の窒化前後に於ける各抗力の比較



鍍金して窒化を防止した試験片に就て試験を行つた結果、斯かる衝撃値の低下は後者の長時間窒化温度に曝して置く爲に起る現象であると説明して居る。

著者は II 章(3)に示した如く、熱處理に就て豫備試験を行つた結果、此の種の鋼は焼戻脆性を惹起しないことを確め得たが、以上の實驗結果より、長時間加熱される時に

第29圖 中炭素量 Al Cr 鋼(Cr 2.0%系)の窒化前後に於ける各抗力の比



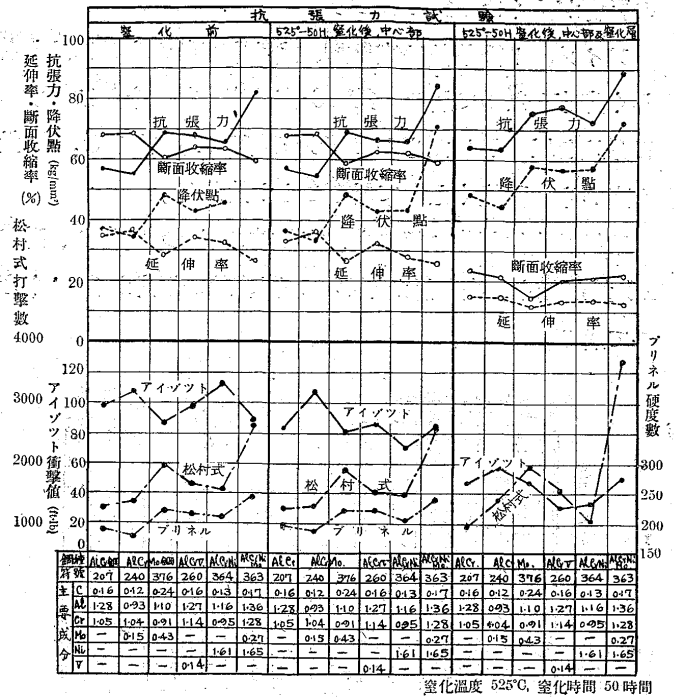
は此の現象が誘引されるものと推察される。

(iii) 窒化處理に依る各抗力の變化:一抗張力試験に於

第16表 Al Cr 鋼の窒化後に於ける各衝撃値の窒化前のものに對する百分比

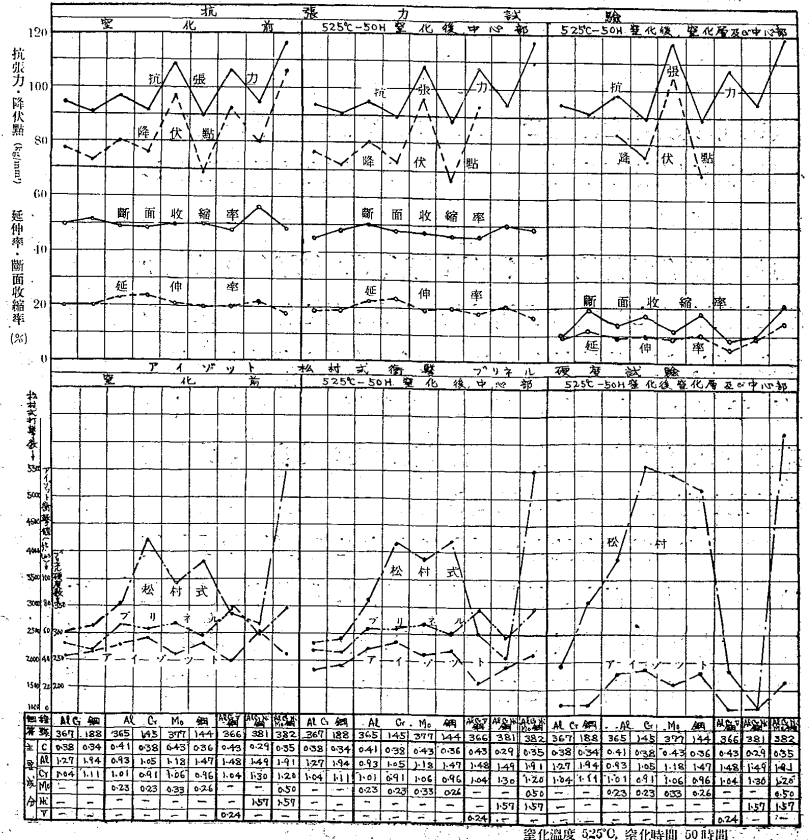
鋼種	符號	中心部		窒化層及び中心部	
		窒化前のアイソット衝撃値 ft-lbs	窒化後のアイソット衝撃値に對する%	窒化前のアイソット衝撃値 ft-lbs	窒化後のアイソット衝撃値に對する%
低炭素量鋼	259	120	114	95.0	60
	206	116	105	90.5	42
	207	97	92	94.8	46
	241	86	80	93.1	35
中炭素量鋼	191	63	56	90.3	25
	351	53	50	94.3	20
	196	53	49	92.4	18
	350	58	53	91.4	20
高炭素量鋼	353	52	49	94.2	20
	195	63	60	90.9	21
	367	42	30	78.5	8
	258	45	36	80.0	10
中炭素量鋼	294	48	37	77.0	9
	295	34	25	73.5	6
	188	46	37	80.4	8
高炭素量鋼	135	29	15	51.7	5
	197	31	16	51.6	3.5
	198	26	13	50.0	2.5
	199	23	12	52.1	2

第30圖 特殊元素を添加せる Al Cr 鋼の窒化前後に於ける各抗力の比較(低炭素量鋼)



ける抗張力及び降伏点は、低炭素量鋼に於ては稍高くなり中炭素量鋼には殆んど變化なく、高炭素量鋼に於ては却つて低下の傾向をすら示す。延伸率、断面収縮率は共に著しく低下し、就中断面収縮率に於て著しい。而して Al 量の高いもの程、低下が少くなつて居るが之は Al 量の増加と共に窒化層が薄くなり、中心部に比し靱性に乏しい窒化層

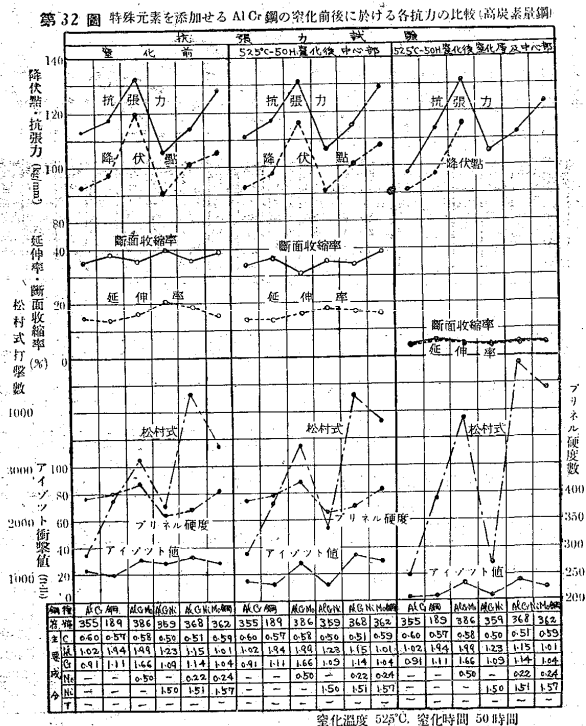
第31圖 特殊元素を添加せる Al Cr 鋼の窒化前後に於ける各抗力の比較(中炭素量鋼)



の影響が少くなる爲であらう。

アイゾット衝撃値は窒化前、或は中心部のものに比し著しく劣等となつて居る。第 16 表は窒化前のものに對する百分比を以て示したもので 50~10% に低下し C , Cr 量の高いもの程脆くなつて居ることが窺れる。

又松村式打撃數に於ても、窒化前のものに劣り、殊に Al 量が低く、窒化層が厚いもの程、此の傾向が著しくなつて居る。



(3) 特殊元素を添加せる $AlCr$ 鋼の試験結果: 一第 30~32 圖は炭素量別に窒化前後に於ける各試験結果を示したものである。

此の種の鋼は前述の如く Al 1.0%, Cr 1.2% の $AlCr$ 鋼を標準鋼として之に Mo , V 或は Ni 等を添加したものであるが、同一炭素量鋼系に於ても C 量が相違し、且つ Al 量 Cr 量も可成り目的成分と懸隔するものが多く出来たので、添加元素の影響を認め難いものもある。大體其の結果を考察すれば次の様である。

(i) 窒化前の各抗力: 一 Mo を添加せる $AlCrMo$ 鋼は $AlCr$ 鋼に比し、抗張力試験に於て、延伸率、断面収縮率を減することなくして、抗張力、降伏點を増し、又硬度、松村式繰返打撃數を増すと共に、アイゾット衝撃値に於ても良好な成績を示す。殊に松村式繰返打撃試験に於て最も顯著に其の効果が現れて居る。即ち Mo の添加は強度のみならず靱性をも増す性質がある様である。

V の添加は Mo 程靱性に効果がない様であるが、靱性を餘り害することなく、抗張力、降伏點、硬度或は松村式繰返打撃數を増し、殊に抗張力及び硬度に著しく其の効果が現れて居る。

Ni 約 1.5% 添加のものはアイゾット衝撃値を減することなく、抗張力、降伏點及び硬度が著しく増加し、松村式繰返打撃數は Mo 添加のものには及ばないが $AlCr$ 鋼に比し可成り優秀な成績を示して居る。

Ni 及び Mo を添加せる $AlCr$ 鋼は抗張力試験に於て延伸率、断面収縮率を低下せしめずして、抗張力、降伏點或は硬度等を著しく増し、供試鋼中最も優秀である。又アイゾット衝撃値に於ても低下の傾向なく、松村式繰返打撃數に於ては添加せざるものより遙かに優れ、且つ Mo を單獨添加のものよりも尙優秀となつて居る。

(ii) 窒化處理に依る中心部の各抗力の變化: 一窒化後に於ける各鋼の中心部の抗張力試験結果は、窒化前のものに比し、抗張力、降伏點は殆んど變化なく、延伸率、断面収縮率が僅かに低下するに過ぎない、又硬度に於ても變化を示して居ない。然るにアイゾット衝撃及び松村式打撃數に於ては鋼種に依つて、可成りの低下を示すものがある。今此のアイゾット衝撃値を窒化前のものに對する百分比を以て示せば第 17 表の如くである。即ち $AlCrNi$ の低下鋼

第 17 表 特殊元素を添加せる $AlCr$ 鋼の窒化後に於ける各衝撃値の窒化前のものに對する百分比

鋼種	符號	窒化前 のアイ ゾット 衝擊値 ft-lbs	525°C-50H窒化		525°C-10H窒化		
			中心部 アイゾ ット値 ft-lbs	窒化前 に對す る%	窒化層 及中心 部アイ ゾット 値 ft-lbs	窒化前 に對す る%	
低炭素量鋼	Al Cr 鋼	207	97	82	84.5	46	47.4
	Al Cr Mo 鋼	240	107	106	99.9	56	52.8
	" 鋼	376	86	80	83.0	46	53.5
	Al Cr V 鋼	260	96	85	89.5	49	51.0
	Al Cr Ni 鋼	364	112	69	61.6	32	23.6
	Al Cr Ni Mo 鋼	363	87	83	95.4	48	55.2
中炭素量鋼	Al Cr 鋼	367	42	33	78.5	8	19.1
	" 鋼	188	50	37	74.0	9	16.0
	Al Cr Mo 鋼	365	50	50	100.0	30	60.0
	" 鋼	145	56	54	96.4	34	60.7
	" 鋼	377	44	44.5	101.1	23	52.3
	" 鋼	144	52	48	92.5	32	61.3
高炭素量鋼	Al Cr V 鋼	366	39	24	61.5	5	13.0
	Al Cr Ni 鋼	381	61	36	59.0	6	9.8
	AlCrNiMo 鋼	382	44	45	102.2	25	56.8
	Al Cr 鋼	355	24	16	66.6	3	12.5
高炭素量鋼	" 鋼	189	20	13	65.0	4	20.0
	Al Cr Mo 鋼	386	31	29	93.5	13	4.0
	Al Cr Ni 鋼	359	29	12	41.4	4	13.8
	AlCrNiMo 鋼	368	30	34	113.3	15	50.0
	" 鋼	362	29	30	103.4	10	24.3

最も著しく、次いで $AlCr$ 鋼 $AlCrV$ 鋼も可成り低下するが $AlCrMo$ 鋼及び $AlCrNiMo$ 鋼等は殆んど低下して居ない。又アイゾット衝撃値が低下するものにあつ

では C 量の高いもの程著しくなつて居る。松村式繰返打撃数に於ては、アイゾット衝撃値に見る如き著しいものではないが、 $Al-Cr$ 鋼、 $Al-Cr-Ni$ 鋼、 $Al-Cr-V$ 鋼等は多少低下の傾向があり Mo 添加のものには之を認めない。

斯くの如き中心部に於ける衝撃値の低下の原因に就いては、前節に於て、窒化温度に長時間保持する爲に起る焼戻脆性に因るものであることを述べたが、本実験結果より、此の現象は Ni の添加により更に促進され Mo の添加により之を防止し得ることが窺れる。

(iii) 窒化處理に依る各抗力の變化:—窒化處理前のものに比較して、抗張力及び降伏點は低炭素量鋼に於ては、一般に稍増加の傾向を示し、中、高炭素量鋼に於ては殆んど變化がない様である。然るに靱性に關係する延伸率、断面收縮率等は著しい減少を示し、従つてアイゾット衝撃値も甚しく劣等となつて居る。而して此の衝撃値の低下は、中心部に於けると同様に鋼種に依つて低下の状態が異つて居る。第 17 表は窒化前の衝撃値に對する百分比を示したもので、鋼種に依る低下の状態は低炭素量のものには餘り著しく相違して居ないが、中、高炭素量鋼に於ては $Al-Cr-Ni$ 鋼、 $Al-Cr-V$ 鋼及び $Al-Cr$ 鋼等は Mo を添加せる $Al-Cr-Mo$ 鋼或は $Al-Cr-Ni-Mo$ 鋼等に比し、其の低下が著しくなつて居る。此の如く Mo 添加のものは窒化の儘の状態に於ても他のもの程衝撃値が低下しないことは注意すべき點である。

又松村式繰返打撃試験に於ても Mo を添加せる $Al-Cr-Mo$ 鋼及び $Al-Cr-Ni-Mo$ 鋼等は窒化せざるものよりも打撃数を増して居る。然るに他の $Al-Cr-Ni$ 鋼、 $Al-Cr-V$ 鋼或は $Al-Cr$ 鋼等は何れも減少し、就中 $Al-Cr-Ni$ 鋼が最も著しい減少を示して居る。

今以上の諸試験の結果を鋼種別に吟味要約すれば次の様である。

Mo を添加せる $Al-Cr-Mo$ 鋼及び $Al-Cr-Ni-Mo$ 鋼は窒化前後を通じて、他の何れの鋼よりも優秀な機械的性質を有し、殊に注目すべきは、窒化に依つて松村式繰返打撃数を増す性質があることである。

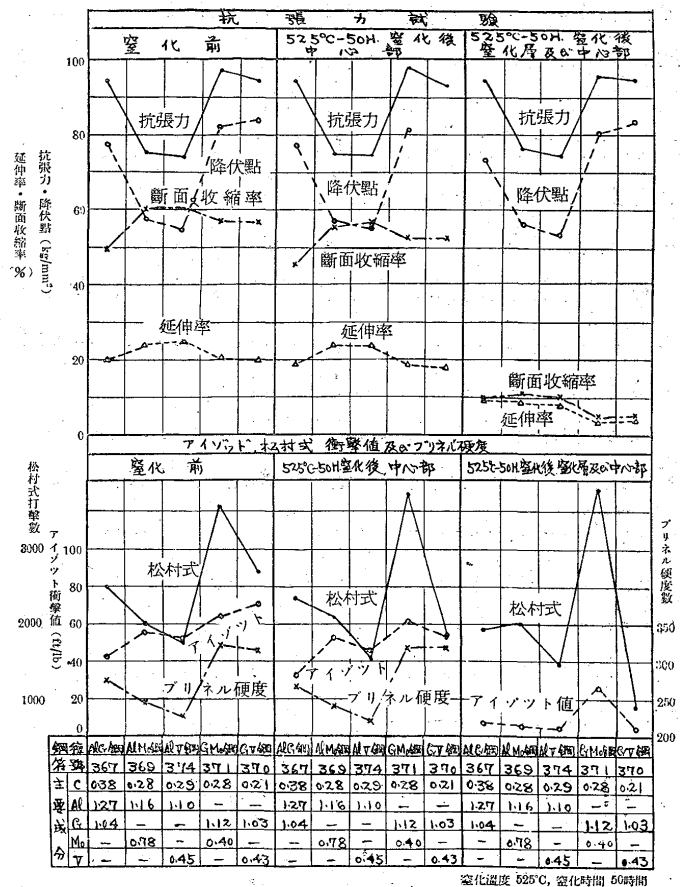
$Al-Cr-V$ 鋼の窒化前後に於ける機械的性質の變化は略々 $Al-Cr$ 鋼の夫れに似て居るが、各機械的性質に於て $Al-Cr$ 鋼より優秀である。

$Al-Cr-Ni$ 鋼は窒化前に於ては、其の機械的性質 $Al-Cr$ 鋼より遙かに優れて居るが、窒化處理に依つて靱性が害は

れる性質がある。此の點、供試鋼中最も劣等である。

(4) $Al-Mo$ 鋼、 $Al-V$ 鋼、 $Cr-Mo$ 鋼及び $Cr-V$ 鋼の結果:—窒化處理前後に於ける各試験結果は第 33 圖の様である。

第 33 圖 $Al-Mo$ 鋼、 $Cr-Mo$ 鋼の窒化前後に於ける各抗力の比較
 $Al-V$ 鋼、 $Cr-V$ 鋼



(i) 窒化前の抗力:— $Cr-Mo$ 鋼及び $Cr-V$ 鋼は $Al-Mo$ 鋼及び $Al-V$ 鋼に比し、抗張力、降伏點に於て著しく優れ、延伸率、断面收縮率には可成り劣るが、アイゾット衝撃値に於て稍と優れ、且つ松村式繰返打撃数に於ても著しく優秀となつて居る。而して $Al-Mo$ 鋼及び $Al-V$ 鋼兩者の各抗力は殆んど等しく機械的性質上著しい相違はない様である。 $Cr-Mo$ 鋼及び $Cr-V$ 鋼は其の抗張力、アイゾット衝撃値等略々等しく只松村式繰返打撃数に於て $Cr-Mo$ 鋼は $Cr-V$ 鋼より可成り優秀となつて居る。

(ii) 窒化處理に依る中心部の各抗力の變化:—中心部の抗張力、降伏點或は硬度等は窒化處理後に於ても殆んど變化を示さないが、延伸率、断面收縮率は多少低下し、殊にアイゾット衝撃値に於ては可成りの低下を示すものがある。衝撃値の低下は $Cr-V$ 鋼最も著しく約 25% の低下を示

すが、他の $Al Mo$ 鋼、 $Al V$ 鋼及び $Cr Mo$ 鋼等は 5~10% の低下を示すに過ぎない。

松村式繰返打撃数は Mo 添加の $Al Mo$ 鋼、 $Cr Mo$ 鋼には殆んど變化なく $Al V$ 鋼に於ては稍々低下の傾向を示し $Cr V$ 鋼に於ては最も著しく低下して居る。

(iii) 窒化處理に依る各抗力の變化: 一各鋼何れも抗張力、降伏點等には變化なく、延伸率、斷面收縮率は著しく低下して居る、殊に $Cr Mo$ 鋼、 $Cr V$ 鋼は $Al Mo$ 鋼 $Al V$ 鋼に比し著しくなつて居るが、之は前述の如く、前二者の窒化層が厚い爲と考へる。アイゾッド衝擊値は全體を通じて著しく低下して居るが、獨り $Cr Mo$ 鋼のみ比較的其の低下が少ないのは注目に値する。

松村式繰返打撃数は Mo を含有する $Al Mo$ 鋼、 $Cr Mo$ 鋼には殆んど變化なく、 $Al V$ 鋼、 $Cr V$ 鋼に於ては可成り低下し、殊に $Cr V$ 鋼に於て著しい。

以上の實驗結果に依れば $Al Mo$ 鋼、 $Cr Mo$ 鋼及び $Al V$ 鋼等殊に Mo を含有する前二者は窒化處理に依つて中心部の抗力が害はれること少く、就中 $Cr Mo$ 鋼は窒化前後を通じて最も優秀なる性質を有して居る。Kinzel²⁹⁾ 氏の推奨せる $Cr V$ 鋼は窒化前に於ては $Cr Mo$ 鋼と同様に強度と共に靱性にも富むが、窒化後に於ては中心部の靱性が可成り害れる様である。

總 括

窒化鋼として最初に知られた $Al Cr$ 鋼に就て先づ C 、 $Al Cr$ の量を變化せしめ、兩元素の窒化層及び窒化前後に於ける機械的性質に及ぼす影響に就て研究した。其の結果、窒化層の硬度及び靱性等の點より $Al=0.7\sim 1.2\%$ $Cr=0.8\sim 1.5\%$ $Cr\%>Al\%$ の條件のものが適當なことを知り、又機械的性質上より、窒化後中心部の衝擊抗力は C 、 Cr 量の高いもの程、焼戻脆性を起して低下することを知つた。而して上記の範圍の鋼種に於ても C 、 Al 、 Cr 量が高くなる程窒化層は脆弱となり、且つ中心部の靱性が害れることを知つたので $Al=1.0\%$ $Cr=1.2\%$ の $Al Cr$ 鋼を標準鋼とし之に特殊元素の Mo 、 V 或は Ni 等を添加したもの及び $Al Mo$ 鋼、 $Al V$ 鋼、 $Cr Mo$ 鋼或は $Cr V$ 鋼等に就て、其の窒化層の性質及び窒化前後に於ける機械的性質の變化を調査し $Al Cr$ 鋼と比較して其の長所短所を吟味した。更に一部のものに就て窒化層の耐熱性及

び耐蝕性の實驗を行つた。今改めて以上の研究結果を要約せば次の様である。

(1) 供試材料は本多式熱膨張測定裝置に依つて變態點を測定し熱處理溫度を決定した。試験片は總べて焼入、焼戻處理を行つた。焼戻方法は豫備試験の結果、焼戻脆性を惹起しないことを確めたので爐中冷却法を採用し、全部 $600^{\circ}C$ にて行つた。

(2) 窒化層の諸性質は溫度 500 、 525 及び $550^{\circ}C$ に於て 70 時間窒化したものに就て研究した。硬度はヴィツカース硬度計 (荷重 $5kg$) にて測定し、硬度—深さ曲線 (滲透曲線) より厚さを求め、靱性はヴィツカース硬度計、ロックウェル硬度計及び彎曲試験の三方法を併用して測定した。

(3) 窒化層の最高硬度に對する Al の影響は Cr より著しく $Al 1.2\%$ 附近迄は C 量に關係なく、急激に上昇し、夫れ以上に於ては甚だ緩慢となる。 Cr の硬化作用は Al 程著しくないが Cr 量の増加と共に硬度は徐々に上昇する。層の厚さに関しては兩元素に依る硬度上昇とは全く反對の傾向を示し、唯 C 量が高くなる程厚さが減少する相違がある。又最高硬度は $Al Cr$ 量に關係なく窒化溫度 $500^{\circ}C$ のもの最も高く、窒化溫度の上昇と共に低下し、 $525^{\circ}C$ に於ては $30\sim 40$ 低く $550^{\circ}C$ に於ては低下著しく約 100 位低くなる。厚さは反對に 525 、 $550^{\circ}C$ のものは $500^{\circ}C$ のものに比し夫々 $0.1mm$ $0.2mm$ 位を増加する。

(4) Al 及び Cr は窒化層の滲透性に關して相對的影響を有し Cr 量が Al 量より可成り高いものは Al 量が Cr 量より高いものに比し高硬度範圍の層が厚く、且つ中心部に向つての硬度の下降狀態も急激である。

滲透性は又窒化溫度に關係し $550^{\circ}C$ にて窒化せるものは $500^{\circ}C$ 或は $525^{\circ}C$ のものとは其の形狀が可成り相違して C 、 Al 或は Cr 量に關係なく二段變化を示す。

(5) 顯微鏡組織に於て最表層の白色層は Al 、 Cr 、 C 量高く C 量の低いもの程厚く其の下層をなす針狀結晶及びソルビチック組織層は Al 、 Cr 、 C 量の高いもの程薄くなり、又針狀結晶は Al 量の増加と共に發達し C 量の低いものに於ては其の針狀鈍である。網狀組織は C 、 Al 及び Cr 量の高いもの程著しく現れ、又窒化溫度の高くなる程著しく $550^{\circ}C$ に於て急激に増加する。

(6) 窒化層の靱性は硬度、滲透性及び組織等に關係す

²⁹⁾ Kinzel; 前 出

ることを知った。即ち窒化層に網状組織の少ない鋼種に於て且つ滲透曲線に於て急激なる屈曲を有せず而かも中心部への密着性の良好なるもの、即ち成分上よりは $Al\ 1.2\%$ 以下にして Cr 量が Al 量より稍高い関係にあるものが大體靱性を有することが推察され、窒化温度 $550^{\circ}C$ のものは一般に $525^{\circ}C$, $500^{\circ}C$ のものに比し脆いことを知った。

(7) 以上の如く窒化層の硬度、滲透性、顯微鏡組織及び靱性等を吟味した結果 Al , Cr 鋼に於ける Al 及び Cr の量は $Al=0.7\sim 1.2\%$ $Cr=0.8\sim 1.5\%$ $Cr\%>Al\%$ なる條件が適當であり、窒化温度に關しては $500^{\circ}\sim 530^{\circ}C$ の範圍がよい。

(8) 窒化前後に於ける機械的性質の變化に關しては抗張力、ブリネル硬度、アイゾッド衝撃及び松村式繰返打撃試験等を行ひ、總べて $525^{\circ}C\sim 50$ 時間窒化した試験片を以て行つた。

(9) Al Cr 鋼の中心部の強度は窒化處理に依つて殆んど變化しないが、長時間加熱の爲に焼戻脆性を起し靱性が可成り低下する。此の傾向は C , Cr 量が高いもの程著しい。

(10) 窒化層は低炭素量鋼に於ては抗張力、降伏點を稍増すが、中、高炭素量鋼に於ては殆んど變化なく。延伸率、断面收縮率及びアイゾッド衝撃値を低下し又松村式打撃數の低下は Al , Cr 量が低く窒化層の厚いもの程著しい。

(11) Al , Cr 鋼に $Mo\ 0.25\sim 0.35\%$ の添加は窒化層の硬度及び厚さを幾分増すと共に層の密着性を良好ならしめ、層に靱性を與へ、又機械的性質を改善し靱性を害ふことなくして強度を増し、窒化處理に依つて起る中心部の焼戻脆性を防止する。又此の窒化層は松村式繰返打撃抵抗を増す特徴がある。

(12) $V\ 0.2\%$ 内外の添加は窒化層の硬度を増し、厚さを減するが、靱性には餘り効果はない様である。機械的性質に於ては靱性を害ふことなく強度を増す様であるが、窒化後中心部は Al Cr 鋼と同程度に焼戻脆性を起して靱性の低下を來す。

(13) Ni 約 1.5% の添加は窒化層の硬度を低下せしめるが、厚さを増し、且つ Mo と同様に層の密着性を良好ならしめ層に靱性を與へる。機械的性質は窒化前に於ては添加せざるものに比し強度に於て殊に優れて居るが、窒化處理に依る焼戻脆性を促進せしめ、中心部の衝撃抵抗を低下せしめる。

(14) $Ni\ 1.5\%$, $Mo\ 0.25\sim 0.35\%$ を添加せるもの、窒化層の硬度は稍々低い、厚さは多少増加し、層の滲透性は Ni 約 1.5% 添加のものに似て靱性に富む。又窒化處理に依つて中心部の靱性は殆んど害はれず、其の機械的性質は窒化前後を通じて最も優秀である。

(15) Al , Cr 鋼に Mo , V 或は Ni 等を添加したもの、窒化層と窒化温度との關係は全く Al , Cr 鋼の場合と同一であつて窒化温度が 500 , 525 , $550^{\circ}C$ と高くなる程硬度は減じて厚さを増すが、脆弱となる缺點がある。

(16) Al , Mo 鋼, Al , V 鋼の窒化層の硬度、厚さ、滲透性及び靱性等は之と略々 Al 量を等しくする Al , Cr 鋼 (Cr 約 1.0%) の窒化層の性質と相似である。而して機械的性質殊に抗張力に於ては可成り劣るが、窒化後に於ても中心部は Al , Cr 鋼に見る如き著しい衝撃抗力の低下を起さない。

(17) Cr Mo 鋼, Cr V 鋼の窒化層は Al Cr 鋼 type のもの或は Al Mo 鋼, Al V 鋼より硬度に於て劣るが、厚さに關しては遙かに優秀で、且つ靱性にも著しく富む、殊に Al を含む鋼種と異なる點は窒化層の硬度が窒化温度 $525^{\circ}C$ に於て最高の硬度を示し、且つ温度上昇による厚さの増加が顯著であり、 $550^{\circ}C$ 窒化の層も滲透曲線に二段變化を示さずして靱性を保有して居る等の點である從つて Al を含む鋼種に比し窒化の温度範圍が廣い特徴がある。機械的性質は略々 Al Cr 鋼 (Al Cr 約 1.0% 含有) の夫れに匹敵し Cr V 鋼に於ては窒化後中心部の衝撃抗力は可成り低下するが Cr Mo 鋼に於ては僅かに低下するに過ぎない。

(18) 供試材中より數種の成分のものを選び $525^{\circ}C\sim 50$ 時間窒化するものに就て、鹽酸、硫酸、硝酸の各 1% 溶液及び 3% 食鹽水中に於て腐蝕試験を行つた。其の結果、鹽酸及び硝酸溶液中に於ては窒化に依つて却つて腐蝕され易くなり、硫酸溶液中に於ては Cr を含有する鋼種が僅かに窒化によつて耐蝕性を増すことを知つた。食鹽水中に於ては窒化の効果著しく、窒化層は鋼種の如何を問はず著しき耐蝕性を有し Cr を含有するものは殊に著しい。尙眞鍮或は砲金との接觸使用の場合に於ても充分の耐蝕性を示すことを知つた。

(19) 窒化層の再加熱後に於ける硬度の變化は、鋼の成分に關係なく $500^{\circ}C$ に 4 時間加熱しても變化なく $600^{\circ}C$ より表面硬度と共に最高硬度も低下し始め $700^{\circ}C$ に於て

急激に降下する而して最高硬度の低下は著者の實驗範圍内に於ては加熱氣圈の空氣の有無に關係せず同一温度に於て殆んど同程度の低下を示すが表面硬度は真空中加熱のものの方が著しく低下する。

○246 番(佐々木新太郎君) 二元合金の場合の試験品の作り方は鑄物でございましたか。

○伊丹榮一郎君 鑄物でございます。

○146 番(佐々木新太郎君) 加熱時間はどの位であるか。

○伊丹榮一郎君 ショート・タイム、テストをやりまして

○246 番(佐々木新太郎君) さうなると、化學的に表面が酸化されて抗張力がレタードするとかソリッドソリューションの中にコンパクションが効力が變るとか云つたやうなことがタイム、アクションになつて來ると思ひますが、

○伊丹榮一郎君 それはあるかも知れませぬ、まだ充分にやつて居

りませぬ。

○246 番(佐々木新太郎君) 試験中に御氣付になつたことがありますか。

○伊丹榮一郎君 カップーの場合に多少効果が現れて居ります、温度が上つて來ると、吸収されて随つて抗張力エローデーション、リミットが下るやうな場合がはつきりと現れて來ます。

○246 番(佐々木新太郎君) ジュリコンの場合にモディファイされたかされなかつたか。

○伊丹榮一郎君 ジュリコンの場合には非常に小さくなつて居ります、是は一昨年こゝで講演致しました場合も述べましたグレングロス是非常に小さくなるか、抗張力は餘り影響はない、又レテンハーフも此點に付てはグレングロスだけの問題に付て觸れて居つて抗張力には觸れてない。

○246 番(佐々木新太郎君) モディフィケーションはやつて來て居るか。

○伊丹榮一郎君 モディフィケーションはやらない。

窒素硬化鋼材の研究顯微鏡寫眞

(腐蝕液 ピクリン酸 + 鹽酸)

窒化時間 70 時間

窒化温度 500°C

×300×0.48

No. 1

No. 2

No. 3

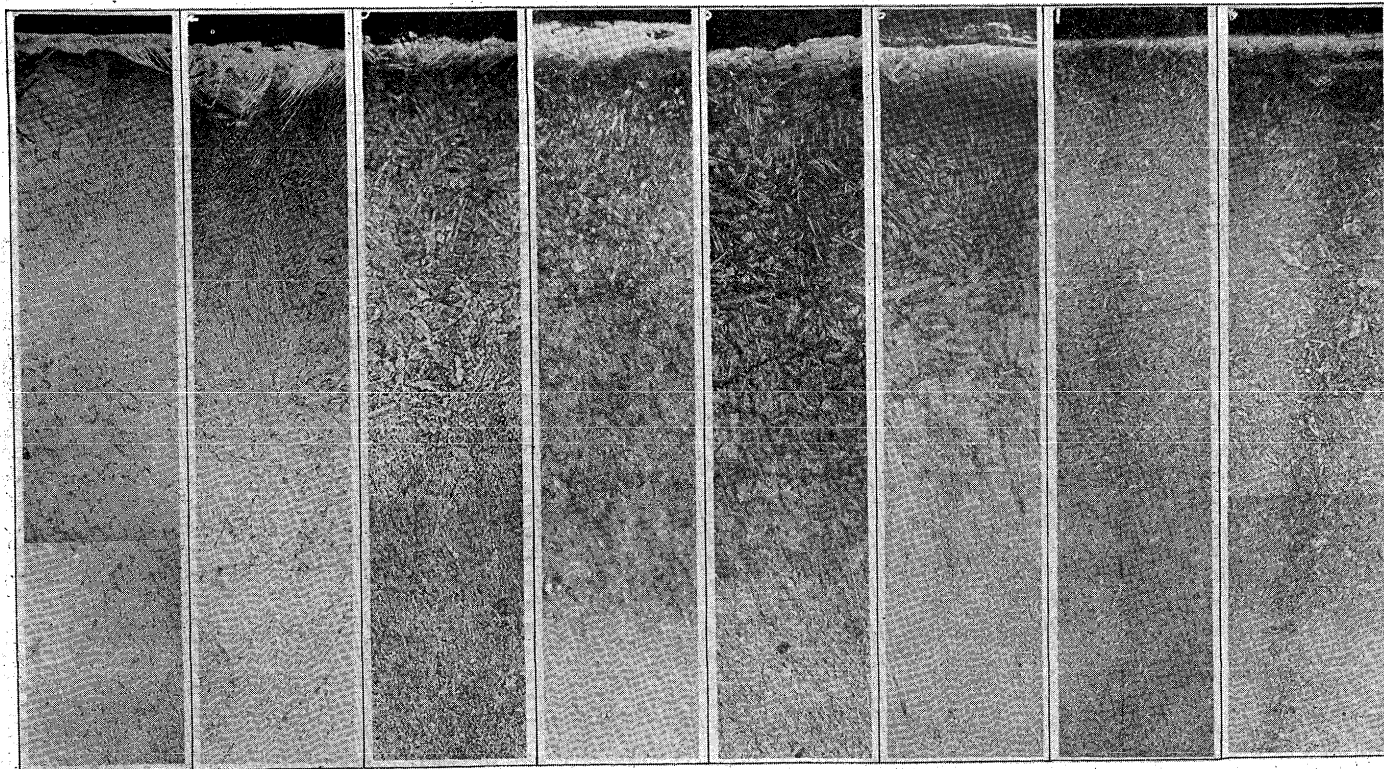
No. 4

No. 5

No. 6

No. 7

No. 8

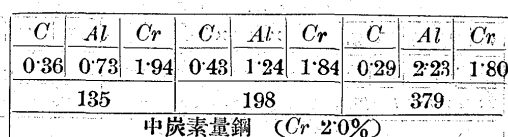


<i>C</i>	<i>Al</i>	<i>Cr</i>	<i>C</i>	<i>Al</i>	<i>Cr</i>
0.12	0.51	1.13	0.16	1.28	1.05
259			207		
低炭素量鋼(<i>Cr</i> 1.0%)					

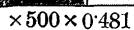
C	Al	Cr	C	Al	Cr	C	Al	Cr	C	Al	Cr
0.30	0.69	0.86	0.38	1.27	1.04	0.29	1.49	1.11	0.34	1.94	1.11
195			367			291			183		
中炭素量鋼 (Cr 1.0%)											

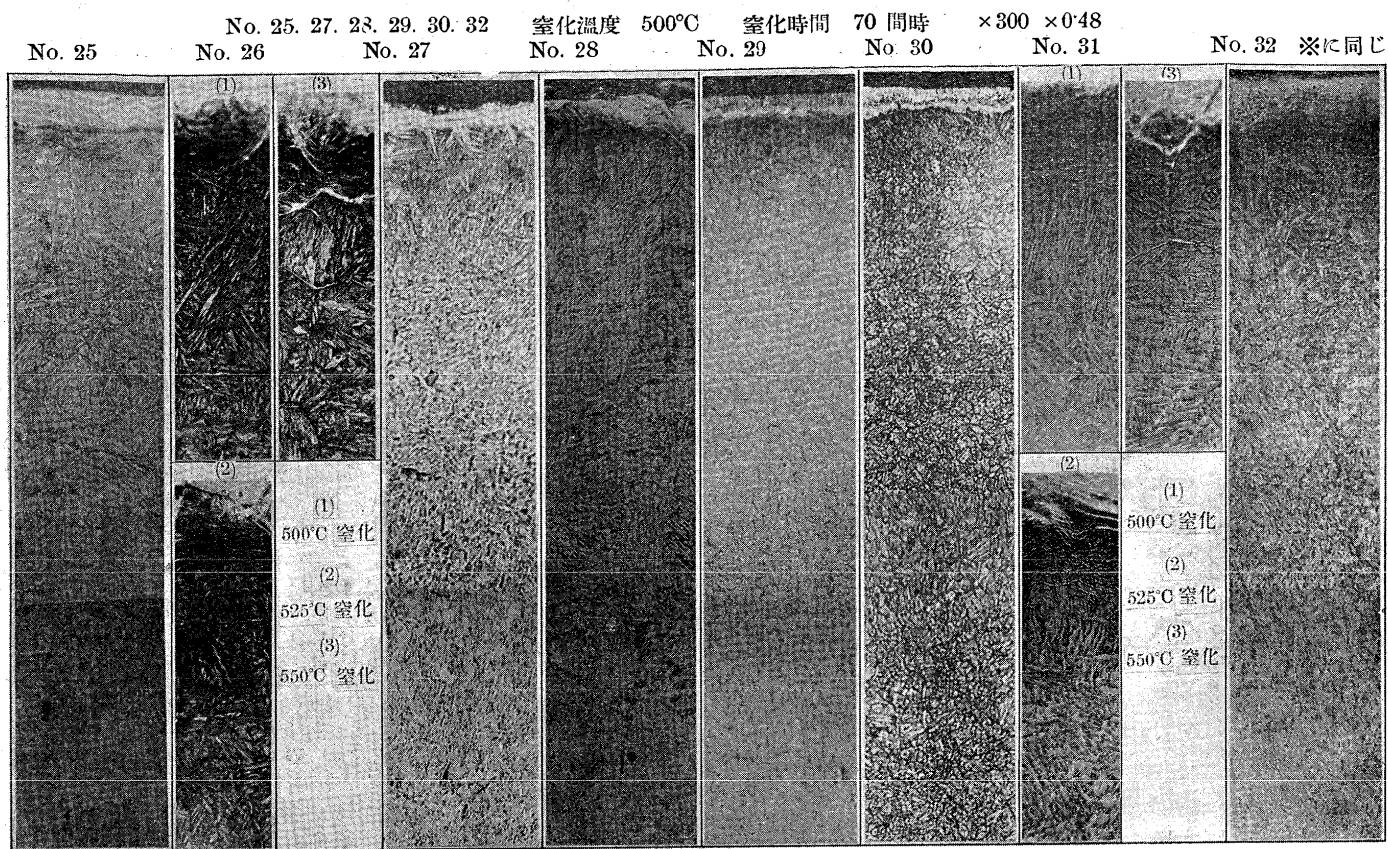
C	Al	Cr	C	Al	Cr
0.54	0.82	0.94	0.60	1.02	0.91
354			355		
高炭素量鋼			(Cr 1.0%)		

No. 9	No. 10	No. 11	No. 12	No. 13	No. 14	No. 15	No. 16
-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------



No.17 *AlCr*鋼(367鋼) No. 18 No. 19 No. 20 No. 21 No. 22 No. 23 No. 24

[illegible]



AlCrNiMo 鋼(382 鋼)

×500×0.48

C	Al	Cr	Ni	Mo
0.35	1.9	1.20	1.57	0.50
382 (Al Cr Ni Mo 鋼)				

AlMo 鋼(369 鋼) 加熱せざるもの
×500×0.48 室化 525°C—50H.

C	Al	Mo	C	Al	V	C	Cr	Mo	C	Cr	V
0.28	1.16	0.78	0.29	1.10	0.45	0.28	1.12	0.40	0.21	1.03	0.43
369 (Al Mo 鋼)			374 (Al V 鋼)			371 (Cr Mo 鋼)			370 (Cr V 鋼)		

338 鋼(室化温度 525°C
室化時間 50 時間)

(No. 32)

Cr. V 鋼

370 鋼

×500×0.48

No. 33

加熱温度 500°C

No. 34

加熱温度 600°C

No. 35

加熱温度 650°C

No. 36

加熱温度 700°C

No. 37

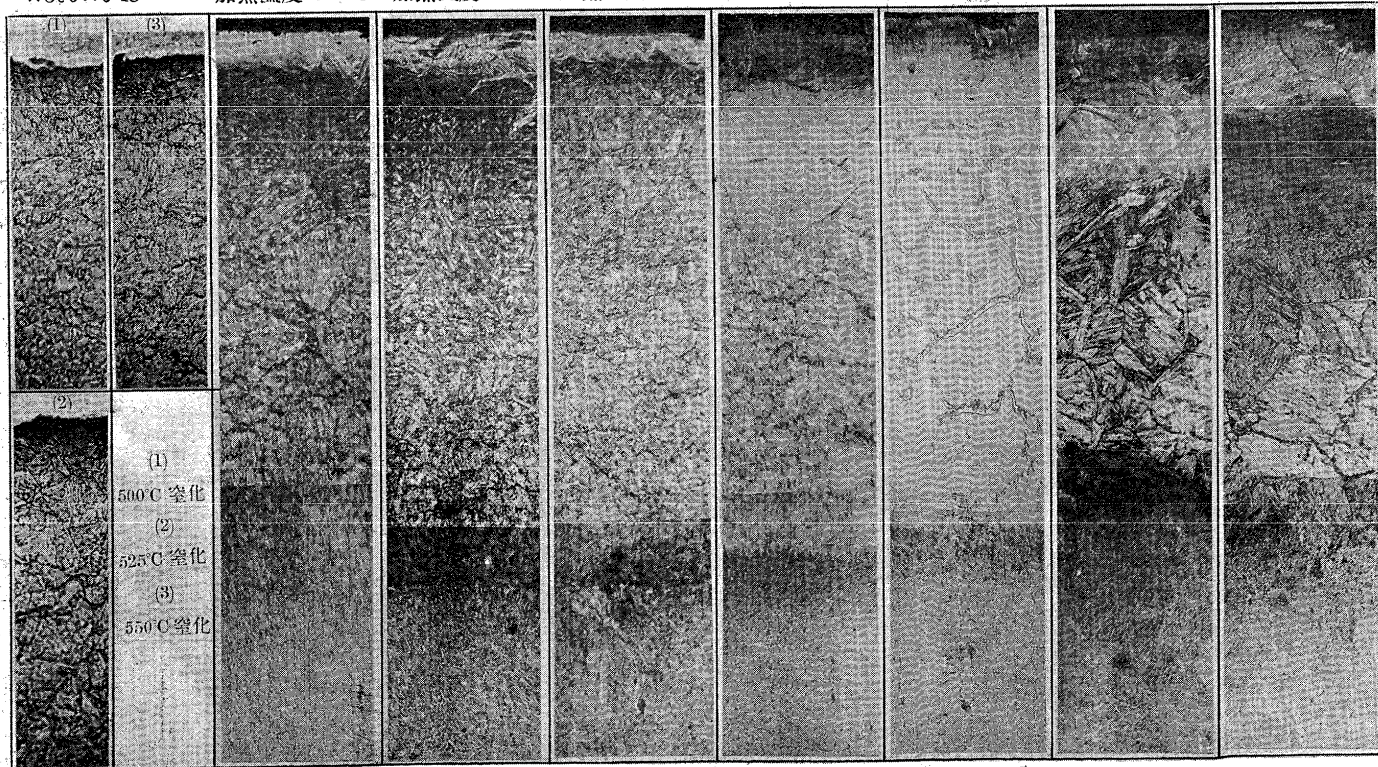
加熱温度 800°C

No. 38

真空中加熱

No. 39

空氣中加熱



×500×0.48

※ 366 鋼の室化層の再加熱に依る組織の變化(真空中1/2時間加熱)

×300×0.40

加熱温度 700°C
加熱時間 1/2時間