

窒素硬化に及ぼす Al, Cr, Mn, Ni の影響

(日本鐵鋼協會 第 11 回講演大會講演前刷)

石 澤 命 知*

目 次

- I 緒言 II 試料 III 窒化試料の熱處理 IV 窒化並に窒素分析法 V 500°C に於ける粉末試料の窒化量 VI 500°C 窒化の硬化層
 a) 硬度に及ぼす Al 及び Cr の影響 b) 硬化層に對する Al, Cr の影響 c) 硬化層に及ぼす Mn の影響 d) 硬化層に及ぼす Ni の影響
 VII 組織 VIII 結論

I 緒 言

窒素硬化用鋼として一般に使用せられて居るのは $Al-Cr-Mo$ 鋼であつて特に最近では $Al 1\%$ を含むものが推奨されて居る、然るに用途に依つては $0.2 \sim 0.4\%$ 位の Al を含むもの、若くは單なる $Cr (2.2 \sim 2.4\%) - V (0.1 \sim 0.2\%)$ 鋼を使用する様であるが一般には主として窒化鋼に必要な要素は Al, Cr である。故に著者は此等のもの、實用に供せらるゝ範圍に就て其影響を研究し併せて Al, Cr 程顯著でないが多少硬化を助ける Mn 並に硬化に大した影響がないが窒化用鋼等に高 Ni の鋼が使用せらるゝ故 Ni の窒化に對する影響を確知せんと特に此の2種の要素のみを多くしたものに就て窒化せしめ其状況を研究する事にした。

II 試 料

試料はクリプトール爐製 $3kg$ 鋼塊を鍛造して $14mm$ 角棒にし更に $10mm$ 角、 $50mm$ 長さの試片に削り同時に削粉を採取した。其成分は第1表に示す、又加熱膨脹を測定して得たる曲線は第1~3圖であつて、之等より求めた變態點は第2表の如くである。 Al 及び Cr は共に Ac_1, Ac_3 を高め、且つ Ar_3, Ar_1 をも高める、就中 Al が多くなつて $1.6, 2.2\%$ になると Ac_1, Ac_3 が曲線では明瞭に分らぬ、且つ其範圍が廣くなる。又 Ni 、及び Mn が多くなるとオーステナイト鋼となる、例へ Al 及び Cr が約 1.5% 宛含有して居つてもである、 Mn が多くなつて 3.3% 以上になると冷却時變態點は常溫近くになり、 $5\%, 6.7\% Mn$

の鋼は同一の冷却速度でも常溫でマルテンサイト組織となる。 Ni は 3% になると急激に Ar_3, Ar_1 が下降し $5, 10, 15\%$ は冷却時マルテンサイト組織であり、 $20, 25, 30, 35\%$ はオーステナイトであるが、獨り 35% は Invar の性質を示して常溫より約 $200^\circ C$ 迄の膨脹率が甚だ小さい即ち Mn, Ni は Al, Cr と異なつて A_1, A_3 を下降せしめる事を明白に知るを得た。

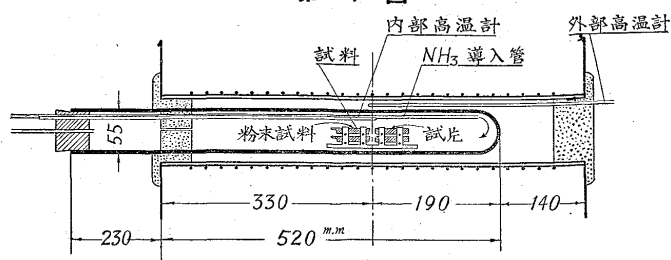
III 窒化試料の熱處理

$10mm$ 角、 $50mm$ 長さの試料に熱處理後窒化を施したが其熱處理方法は一括して第2表に示す、即ち Al の多いものは焼入溫度も從つて高く、 $Al 2.2\%$ のものは $1,050^\circ C$ に一定した。而して Ni, Mn を多く入れた種類ではパーライト鋼は $700^\circ C$ 、マルテンサイト鋼は $650^\circ C$ に焼戻し、オーステナイト鋼は焼入の儘とした。但し粉末試料は全部何れも鍛造後焼鈍状態のものより削り取つたのである。

IV 窒化並に窒素分析法

窒化は研究報告材試第284號に記載せるものと同一の裝置を使用した。即ち外径 $65mm$ 、内径 $55mm$ 、長さ $750mm$ の一端閉ぢた石英管を窒化函とし、一方の口より内径 $6mm$ の石英管で奥迄 NH_3 瓦斯を送り試料に接觸後放出せしめた、約 $1h$ NH_3 を送つて内部の空氣を逐ひ出した後に窒化函を豫め豫定の溫度に熱して置いた電氣爐の中に裝入した、又豫熱時間窒化後直に爐より窒化函を引出し冷却した。故に常溫より $500^\circ C$ 迄の加熱 $500^\circ C$ より常溫に

第 4 圖



冷却するに各々約 $20min$ を要した。粉末試料は $1gr$ 宛磁製小舟に入れ、4個を2列上下に純 Ni 鈑製の棚に乗せて

* 三菱航空機株式會社名古屋製作所

爐の中心に入れたのであつて第4圖に示す様各試料は何れも NH_3 の流れに對しては平等の位置にある。

窒素分析法は大川二十二氏¹⁾ のアルカリメトリーを採用した、詳細は研究報告材試第 284 號に記載しある、此の方法に依つてアームコ鐵中の窒素を分析するに 1" 丸棒は 0.0032%、1/16" 薄板は 0.0037% であつて 5 回の測定値は前者が 0.0031~0.0033%、後者が 0.0037~0.0038% の範圍であつて、窒素分析法としては正確なものと認める。

窒化前の粉末試料中の窒素含有量を分析すると第3表の如く Mn 多くなると窒素量は多くなるが Ni 量の多少では此の様な事は認められぬ。

V 500°C に於ける粉末試料の窒化量

ミーリングに依つて細く削づたものを更に壊し、且つ篩分けして 100 目篩より細いものを使用した。窒化温度は 500°C のみ、窒化時間は 2, 4, 10, 25, 50, 100h の 6 通りとした。結果は第 4~5 表に示す如く重量増加量と分析に依る窒化量とは常に後者は約 1% 少なく一致しない。

之は窒素定量法が Iodoeösin を使用する Alkalimetry で、本來 Wüst 及び Duhr の溶液蒸溜法である爲に Al, Cr 等の窒化物が完全に分解しない爲であらう²⁾。

諸之等の窒化の結果を考察すると短時間の窒化では Al-Cr の系統では Al を含むものが Cr を含むものよりは窒化される量、即ち窒化物中の窒素の量は多い、長時間窒化したものでも同一の傾向がある。即ち Cr 量の變化よりも Al 約 1%迄の含有量の大小が窒化物中の窒素量の多少に影響する。Al が 1% 以上になると 1% 以下程甚しく影響しない、例へば Al が存在しない時に Cr を 1% 含むものが 500°C-4h の窒化で漸く $\alpha+\gamma'$ の状態に相當する窒素量を得た時 Cr 0%, Al 1% のものは $\gamma'+e$ の状態となつて居る。而して 25h の窒化の時は両者は何れも $\gamma'+e$ で、100h 窒化のものは、前者は $\gamma'+e$ であるが、後者は e となつて居る。

又 Mn 及び Ni の影響は時間の短い窒化では不統一であるが、25h 以上の窒化を施した時には Mn 多い程窒化量は大になり Ni は多くなる程少くなる。之等は第 5, 6 圖にて明白である。故に Mn の窒化を助長すると云つても甚しいものではないが、Ni の窒化を防げる事は相當に大である。

VI 500°C 窒化の硬化層

試料としては第 2 表に記載せる如き熱處理を施し且其表

面を研磨紙で磨いた 10mm 角 50mm 長さのものを使用した。各々 25, 50, 100h-500°C で窒化後、表面より次第に削つて其所の硬度と深さの關係を測定したが、結果は第 7~17 圖に示す様である。

a) 硬度に及ぼす Al, 及び Cr の影響 硬化層の硬度に對する Al, Cr の影響は第 7~11 圖を比較すると分るが之を一括して圖式すれば第 12 圖の如くである。例へば Cr のみ含む鋼と Al のみ含む鋼の 100h 窒化後の最高硬度を摘出すると第 6 表の如く、即ち第 12 圖中の Al_0, Cr_0 、で示した曲線の通りである。故に Al は Cr の同一量に比して著しく最高硬度を高める。又 Cr の含有量 0.5~2.0% の範圍では Al 1% 迄の間は Al 増加するに従つて急激に最高硬度は大になるが Al 1% 以上になると其増加率は少くなる。一定の Al を含有するものに就ては Cr が増しても最高硬度は僅しか増加しない、殆んど Al の含有量に依つて制限されると言つてよい。但し Al 1% 以下の時は Cr の 1% 迄の増加に従つて硬度は可なり大となる。結果として最高硬度に對しては Al の含有量の差異に依る爲め影響が Cr に依る影響よりは遙に大であり、且つ Al 少量の時は Cr の増加に依つて可なり影響されるが Al が 1% 以上の量になると左程甚しい差異を生じない事が明白となつた。

故に Al, Cr 含有量に依る最高硬度の等高線を示せば第 13 圖の如くなる。³⁾

b) 硬化層に對する Al, Cr の影響 窒素硬化層の實用價值ある所は著者の研究に依ると⁴⁾ 脆性なる e を含有せざる専ら $\alpha+\gamma'$ よりなる層である。一例を挙げると硬度と深さの關係を示せる第 11 圖に就て表面より少し内部に入つての最高硬度を越えた部分である。一方滲炭に依つて硬化された面では Vicker's 硬度約 800~850 位が最高である、此の硬度は鑢では疵が付かない。故に Vicker's 硬度で 850 以上の硬化層を有するには 25h 窒化の際は Al 0.65% 以上、Cr 0.4% 以上を含有する事が必要である。50h 窒化の際は Al 0.65% 以上、Cr 0.4% 以上若くは Cr を含まぬものでは Al 2% 以上を必要とする。

100h 窒化の際は Al 0.65% 以上、Cr 0.4% 以上若くは Al 單獨で 1.57% 以上含む事が必要である。Cr 單獨では 2% 位含有しても且つ 100h 窒化でさへ最高硬度 720 程度であつて實用上の價值は少い。

即ち Al 0.65% 以上、Cr 0.4% 以上は主要なる條件の

¹⁾ 大川二十二氏：— {水曜會誌 第4巻第10號
第5巻第5號

²⁾ 前田六郎氏—探鐵冶金月報、昭和8年6月 P 178~182

³⁾ 研究報告材試 第295號 第13圖參照 昭和6年8月

⁴⁾ 研究報告材試 第357號 昭和8年2月

一つである。

c) 硬化層に及ぼす *Mn* の影響 *Mn* の含有に依つて生ずる硬化層の硬度の變化は第 14, 15, 16 圖に示す如くである。但し M 20 は高炭素なる爲他のものに比して窒化状態が異常を呈して居る。故に之を考へに入れなければ、*Mn* 1% 迄は窒化層の最高硬度を高め且つ硬化層を厚くするが 1% 以上では反つて硬度も低く、厚さも薄くなる。即ち一括すると第 17 圖の如く、*Mn* は約 0.5% は含有する必要があるが、夫れ以上は何等利ある所がなく、1.5% 以上は反つて窒化には不利である事が分る。

d) 硬化層に及ぼす *Ni* の影響 *Ni* の含有に依る硬化層の硬度と深さの變化は第 18, 19, 20 圖に示す如くである。パーライト鋼は最高硬度が約 1,000~1,160 程度であるが、マルテンサイト鋼では 750~800、オーステナイト鋼では 200~350 の範囲であつて、明確に 3 群に分れる。之を要約すると第 21, 22 圖に示す如く *Ni* 3% 迄は其硬度は大差ない。硬化層の厚さも亦最高硬度と同様パーライト鋼、マルテンサイト鋼、オーステナイト鋼の三つに區別せられる。即ち *Ni* 3% 迄はパーライト鋼で其硬化層の厚さは一樣であつて *Ni* の含有量の大小に依つて厚薄の差異がない。然るに 5% 以上は硬化層が薄くなり 20% 以上になると何れも 0.1mm 以下である。故に最高硬度及び硬化層の厚さの差異より見ると *Ni* 3% 迄は窒化を防げないがマルテンサイトになる程、尙更にオーステナイトになる程多量に含有されると著しく窒化は防げられる。

VII 組 織

窒化後、硬度の變遷を測定した 10mm 角材試料の硬化層の組織を見るに PL-I, II, III に示す如く *Al* 約 1.7% 以上含有すると白色多角形の Ferrite が現出して來るが、之は *Cr* が多くなると減少してソルバイト組織のみとなる、故に此の様な Ferrite が存在しない範囲としては 1.3% 以下の *Al* 含有量である事を必要とする。窒化層の組織は一例を挙げると AOA 100h 窒化のものでは最外表面より 0.004mm 位が ϵ 相で、次で 0.004mm 位が $(\epsilon + \gamma')$ 相、更に約 0.008mm 位が (γ') 相である、之等の層の内部が實用價值ある所である。又 *Al* の多い A 15 D の 100h 窒化したものは (ϵ) 相の存在する層は約 0.036mm である、之は曲線第 10 圖でも認める事が出来る。*Mn* 量 13.49% の M 150 はオーステナイトであつて其表面鼠色の所が窒化されて居るのである。他の *Mn* を色々と含有せしめたものは、例へば M 40 の如く通常の窒化された窒化鋼に比して何等著しい變化を見出さない。

Ni 3% 以下は通常の窒化鋼と何等差異がない。オーステナイト組織のものは前の M 40 と同様、一例を示すと N 300 の如く表面より少し鼠色せる所が窒素を熔解せる (γ) 相の固溶態である。

VIII 結 論

窒素硬化に及ぼす *Al*, *Cr*, *Ni*, *Mn* の各要素の影響に就ては次の様な結論を得た。

(1) 粉末試料を 500°C で窒化せしめると、短時間の時は *Al* を含むものは *Cr* を含むものより窒素含有量が多くなる。且つ *Al* 1% 迄は *Al* の多少が甚だしく影響するが、1% 以上になると左程差異がない、長時間の窒化の時も此傾向がある。

(2) 硬化層に就ては *Al* は *Cr* の同一量に比して最高硬度を大ならしむるに有力である。

(3) *Al* と *Cr* とが共存の時は *Al* 1% 以上と以下とは格段に状態が違ふ。1% 以下の時は *Cr* に依つて可なり、最高硬度が増大されるが *Al* 1% 以上になると *Cr* に依つて影響される所は少い。全般的には *Al* 含有量の多少に依つて最高硬度が決定される。

(4) 實用上價值ある $(\alpha + \gamma')$ 相を得るには *Al* 0.65% 以上と *Cr* 0.4% 以上を含む事が必要である。*Cr* 單獨では例へ 2% 位存在しても 100h の窒化後でさへ最高 720 V.P.H の硬度で價值は少くない。

又 *Al* は最高 1.2% 迄で充分である夫以上含有する時は脆弱なる (ϵ) 相を含む層が厚くなつて不利である。

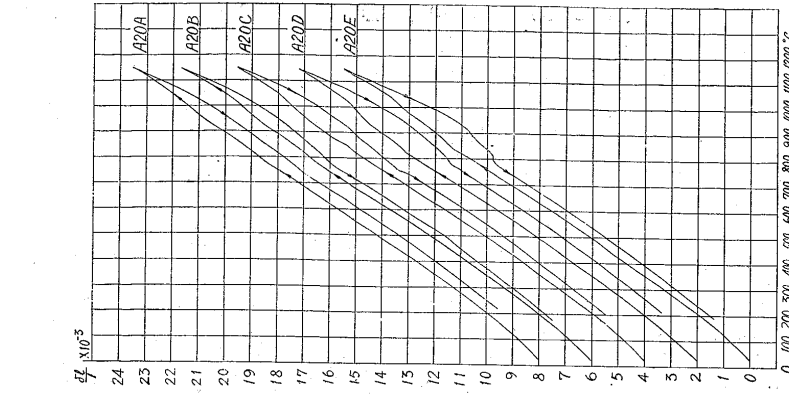
(5) 故に *C* 0.3~0.4%, *Mo* 0.25~0.35% を含む *Al*, *Cr* 窒化鋼の最も實用上價值ある成分範囲としては *Al* 0.65~1.2%, *Cr* 1.0~2.0% である。

(6) 又 *Mn* 及び *Ni* は *Al*, *Cr* とは全然別個の作用をなすもので、粉末試料に依る重量増加量より考へる *Mn* 多くなる程窒素量多くなり *Ni* 多くなる程少くなる。

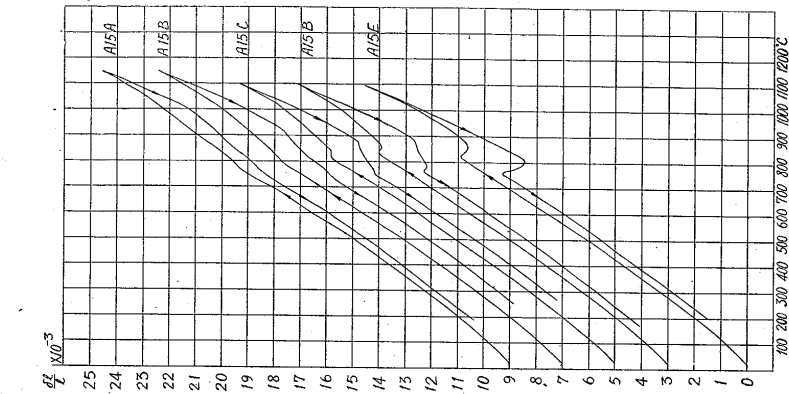
(7) 硬化層に對しては、其厚さは *Mn* 1% 迄は厚くなるが、夫以上多くなる程薄くなる。*Ni* は 3% 迄は何等厚薄を生じないが、夫以上になると厚さは薄く *Ni* 量の如何に關せず殆んど一定である。此特徴が窒化用函に使用される所である。

(8) 最高硬度に對しては *Mn* 1% 迄は變化がないが夫れ以上は次第に低下する。*Ni* はパーライト、マルテンサイト、オーステナイト組織の範囲毎に一定であるが、三者の間には格段の差異があつて、パーライト鋼が最硬でオーステナイト鋼が最も軟かい。

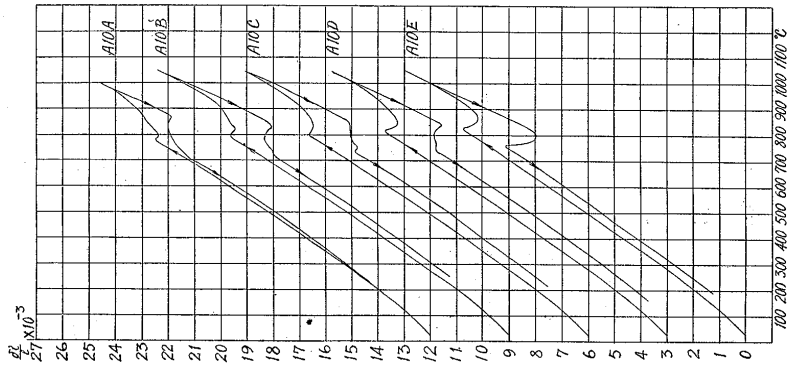
第1図 e A 20



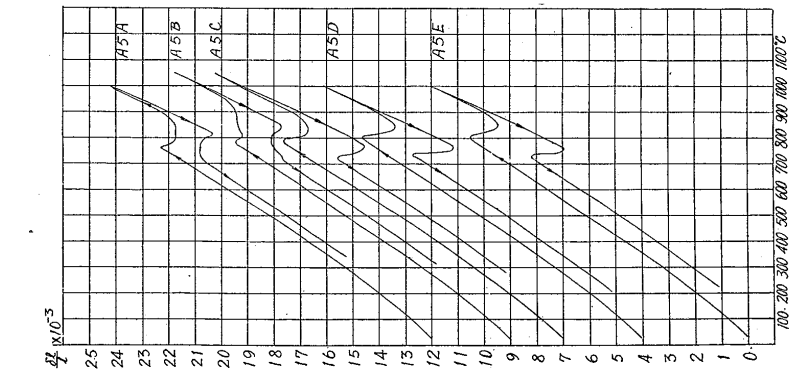
第1図 d A 15



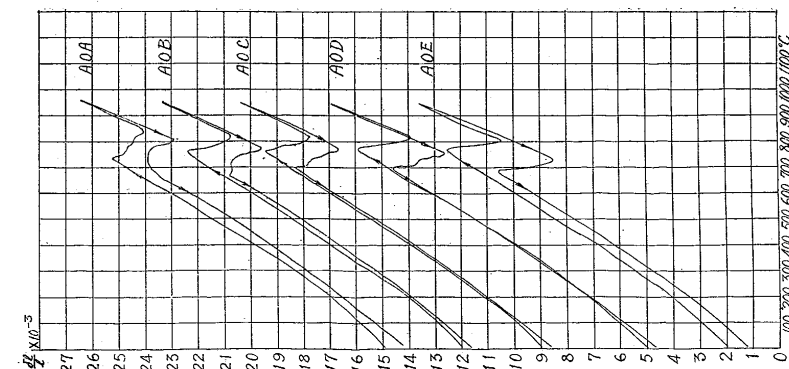
第1図 c A 10



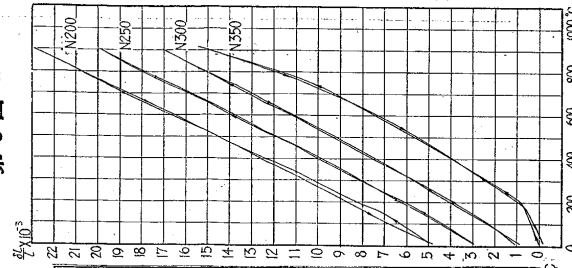
第1図 b A 5



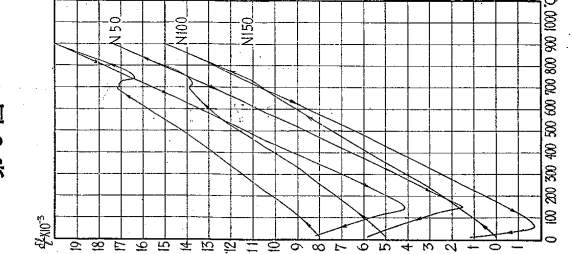
第1図 a A 0



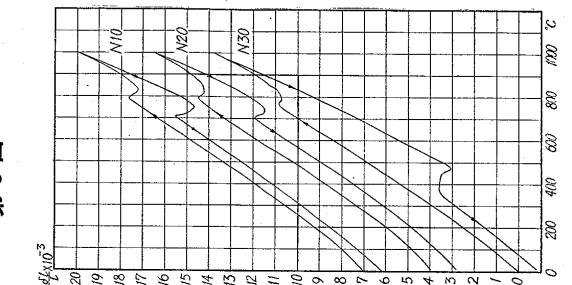
第3図 d



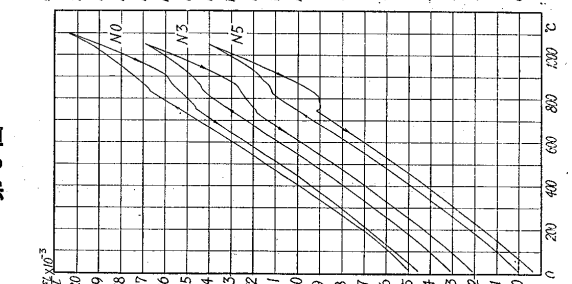
第3図 c



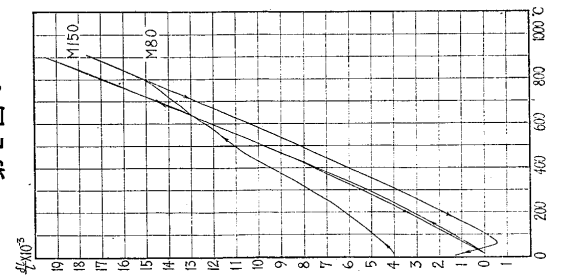
第3図 b



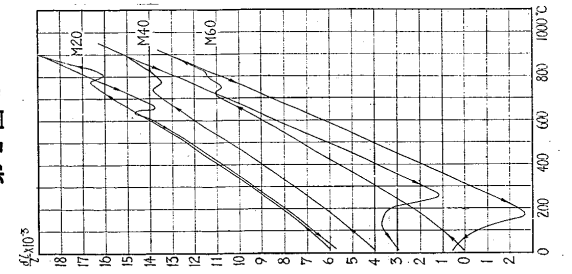
第3図 a



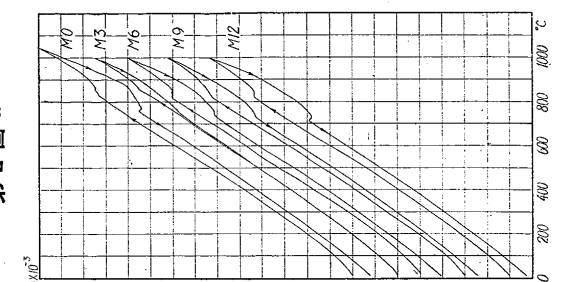
第2図 c

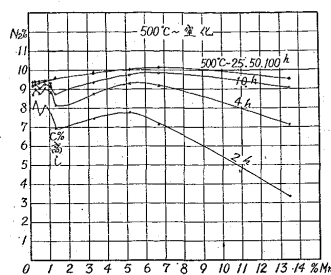
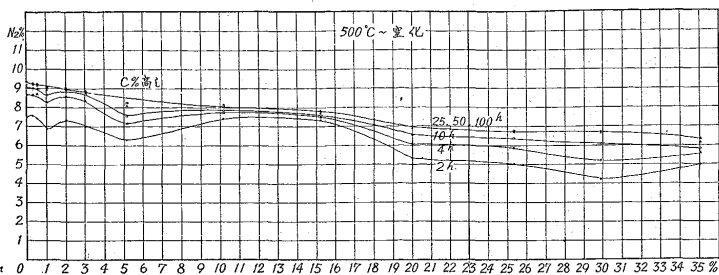


第2図 b

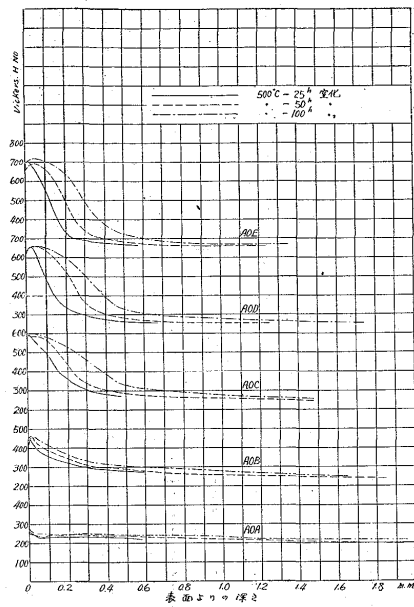


第2図 a

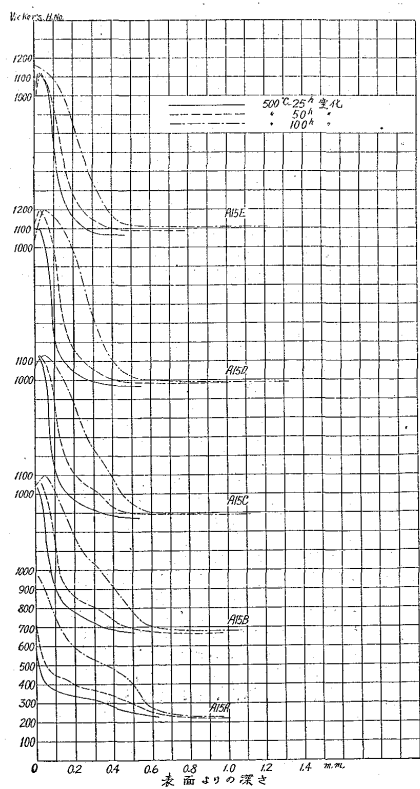


第5圖 N_n の影響第6圖 M_i の影響

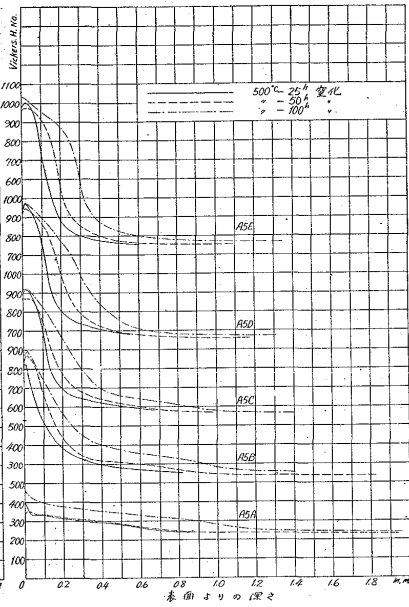
第7圖



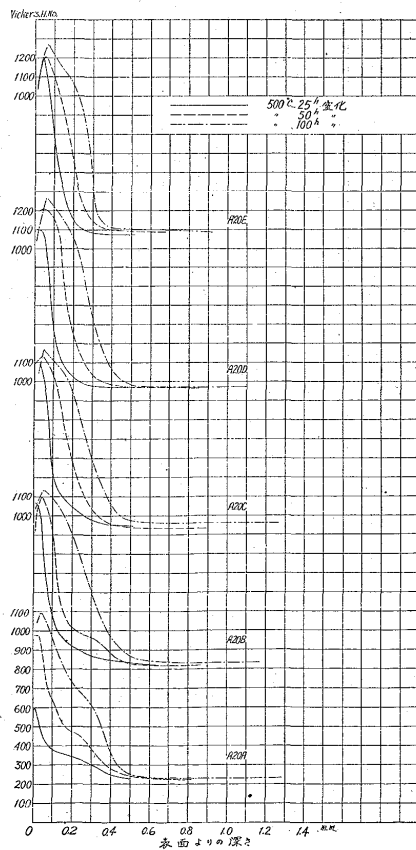
第10圖



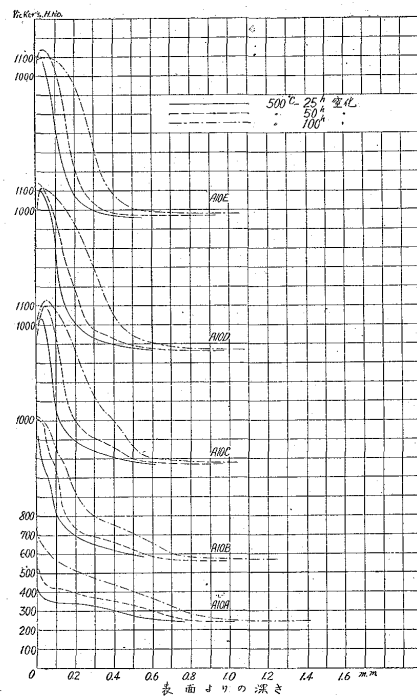
第8圖



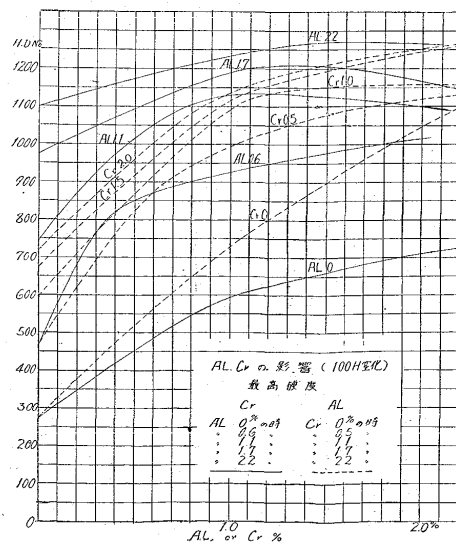
第11圖



第9圖

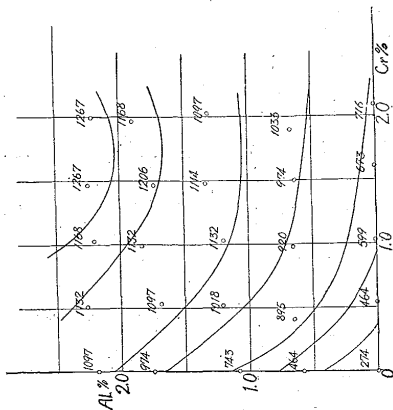


第12圖

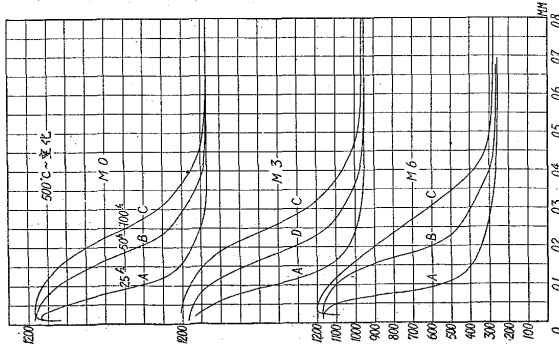


第 13 圖

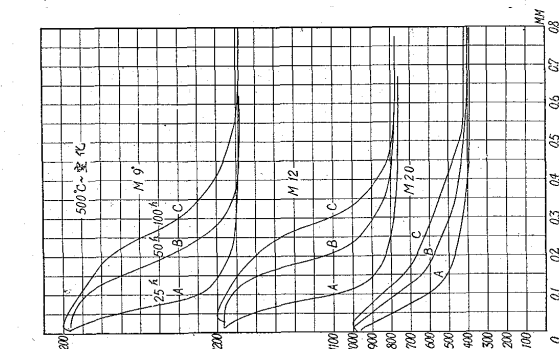
Al, Cr の影響 (100h 窒化)
最高硬度等硬線



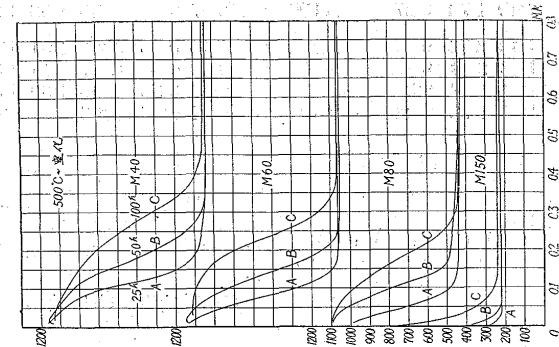
第 14 圖



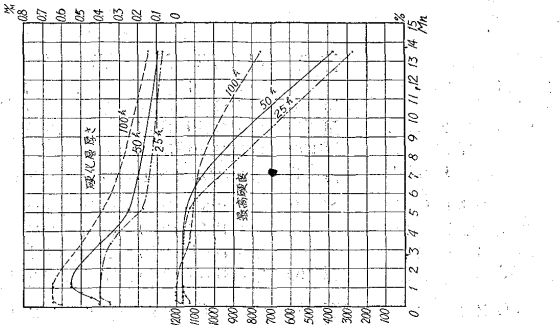
第 15 圖



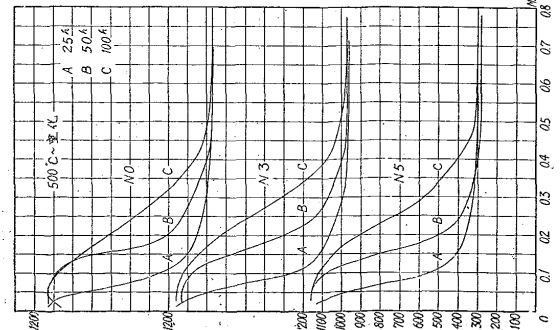
第 16 圖



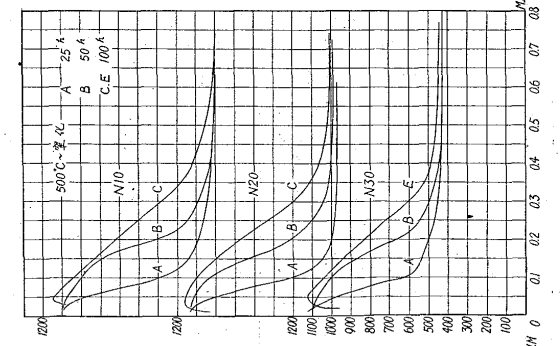
第 17 圖



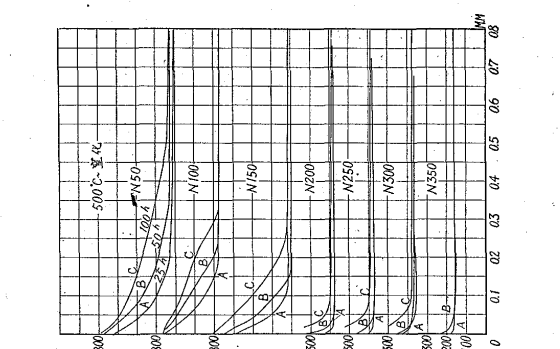
第 18 圖



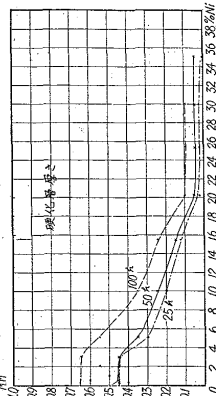
第 19 圖



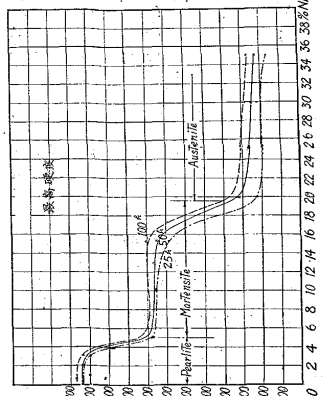
第 20 圖



第 21 圖



第 22 圖



第 1 表 試 粉 成 分

符號	C	Si	Mn	Ni	Cr	Al	Mo	符號	C	Si	Mn	Ni	Cr	Al	Mo	符號	C	Si	Mn	Ni	Cr	Al	Mo	
	%	%	%		%	%	%		%	%	%	%	%	%	%		%	%	%	%	%	%	%	
A0-A	0.23	0.30	0.30	0	0	0	0.36	B	0.31	0.43	0.26	0	0.53	1.68	0.51	M 60	0.33	0.61	5.16	0	1.58	1.24	0.27	
B	0.31	0.28	0.38	0	0.54	0	0.34	C	0.33	0.40	0.26	0	0.99	1.83	0.38	M 80	0.46	0.80	6.71	0	1.56	1.83	0.24	
C	0.26	0.34	0.32	0	1.02	0	0.33	D	0.30	0.45	0.27	0	1.47	1.73	0.57	M150	0.34	0.80	13.49	0	1.44	2.21	0.24	
D	0.30	0.41	0.36	0	1.61	0	0.33	E	0.37	0.60	0.28	0	1.97	1.89	0.54	N	0	0.30	0.53	0.51	0	1.49	2.01	0.34
E	0.33	0.43	0.34	0	2.09	0	0.34	A20-A	0.27	0.43	0.30	0	0	2.19	0.51	N 3	0.26	0.37	0.47	0.36	1.49	1.79	0.28	
A5-A	0.39	0.35	0.30	0	0	0.58	0.46	B	0.23	0.40	0.28	0	0.51	2.26	0.38	N 5	0.34	0.48	0.49	0.57	1.49	1.72	0.33	
B	0.21	0.30	0.28	0	0.41	0.65	0.45	C	0.26	0.40	0.30	0	1.03	2.20	0.44	N 10	0.35	0.41	0.45	1.07	1.54	1.48	0.27	
C	0.38	0.36	0.30	0	0.98	0.65	0.43	D	0.28	0.45	0.26	0	1.47	2.24	0.40	N 20	0.27	0.36	0.45	2.03	1.53	1.68	0.34	
D	0.41	0.30	0.33	0	1.50	0.63	0.41	E	0.31	0.48	0.27	0	2.00	2.21	0.38	N 30	0.27	0.41	0.42	3.06	1.52	1.74	0.30	
E	0.31	0.35	0.35	0	1.80	0.66	0.45	M0	0.39	0.41	0.18	0	1.49	1.53	0.27	N 50	0.62	0.66	0.62	5.13	1.58	1.98	0.33	
A10-A	0.29	0.45	0.28	0	0	1.08	0.40	M3	0.24	0.36	0.27	0	1.48	1.68	0.28	N100	0.36	0.52	0.52	10.12	1.53	1.69	0.30	
B	0.29	0.41	0.24	0	0.51	1.20	0.54	M6	0.32	0.41	0.53	0	1.49	1.72	0.27	N150	0.32	0.57	0.56	15.25	1.56	1.97	0.24	
C	0.32	0.40	0.31	0	1.03	1.19	0.38	M 9	0.30	0.50	0.77	0	1.49	2.06	0.31	N200	0.41	0.48	0.58	20.08	1.61	1.90	0.34	
D	0.27	0.39	0.26	0	1.48	1.32	0.45	M12	0.28	0.52	1.09	0	1.48	2.04	0.27	N250	0.43	0.52	0.56	25.37	1.14	1.59	0.31	
E	0.32	0.40	0.31	0	2.03	1.30	0.48	M20	0.79	0.55	1.27	0	1.64	1.87	0.30	N300	0.33	0.66	0.38	29.90	1.39	1.35	0.25	
A15-A	0.24	0.37	0.26	0	0	1.75	0.40	M40	0.36	0.69	3.31	0	1.61	1.73	0.22	N350	0.78	0.84	0.58	35.03	1.47	1.47	0.31	

第 2 表 變態點並に熱處理溫度

符號	變態點				窒化試料		熱膨脹測定後の状態		符號	變態點				窒化試料		熱膨脹測定後の状態	
	Ac ₁	Ac ₃	Ar ₃	Ar ₁	燒入	燒戻	パーライト	織		Ac ₁	Ac ₃	Ar ₃	Ar ₁	燒入	燒戻	パーライト	織
	°C	°C	°C	°C						°C	°C	°C	°C				
A 0-A	730	840	810	700	875°C-½h油	700°C-1h油	組	織	E	850	1050	1000	790	"	"	"	"
B	760	820	770	665	850	"	"	"	M 0	830	980	860	760	1000°C-½h油	700°C-1h油	パーライト	組織
C	760	815	770	695	"	"	"	"	M 3	830	900		750	950	"	"	"
D	770	820	760	695	"	"	"	"	M 6	820	870		730	"	"	"	"
E	770	810	730	690	"	"	"	"	M 9	820	870		730	"	"	"	"
A 5-A	760	850	815	710	900°C-½h油	700°C-1h油	"	"	M 12	820	860		730	"	"	"	"
B	785	900	845	710	950°C-½h油	"	"	"	M 20	775	810	660	630	900	"	650°C-1h油	"
C	790	880	770	720	900°C-½h油	"	"	"	M 40	735	775	260	常溫以下	"	"	"	マルテンサイト組織
D	805	880	765	735	"	"	"	"	M 60	710	820	170	"	"	"	"	"
E	805	880	760	730	"	"	"	"	M 80	480	780	650	"	"	"	"	"
A10-A	780	990	835	710	950°C-½h油	"	"	"	M150	オーステナイト性				"	"	"	オーステナイト組織
B	795	950	835	710	"	"	"	"	N 0	830	1040	900	740	1100°C-½h油	700°C-1h油	パーライト	組織
C	800	1,000	850	735	"	"	"	"	N 3	810	1000	860	740	1000	"	"	"
D	815	1,000	840	740	"	"	"	"	N 5	820	940	820	740	950	"	"	"
E	825	1,000	800	750	"	"	"	"	N 10	790	900	760	710	"	"	"	"
A15-A	770	1,000	990	720	1000°C-½h油	"	"	"	N 20	780	900	750	700	"	"	"	"
B	800	1,030	910	720	"	"	"	"	N 30	760	840	480	950	"	"	"	"
C	810	1,030	880	750	"	"	"	"	N 50	690	740	150	常溫以下	800	"	650	マルテンサイト組織
D	835	1,000	890	770	"	"	"	"	N100	690	750	150	"	"	"	"	"
E	830	1,000	810	760	"	"	"	"	N150	650	730	60	"	"	"	"	"
A20-A	780	1,040	1,000	720	1050°C-½h油	"	"	"	N200	オーステナイト性				"	"	"	オーステナイト組織
B	790	1,050	1,000	750	"	"	"	"	N250	"	"	"	"	"	"	"	"
C	830	1,070	1,000	750	"	"	"	"	N300	"	"	"	"	"	"	"	"
D	830	1,050	990	780	"	"	"	"	N350	"	"	"	"	"	"	"	"

第 3 表 窒化前の粉末試料中の含窒素量

	最高値	最低値	平均値		最高値	最低値	平均値		最高値	最低値	平均値		最高値	最低値	平均値
	%	%	%		%	%	%		%	%	%		%	%	%
M 0	0.00777	0.00764	0.0078	M 40			0.0132	N 5	0.01326	0.01246	0.0129	N150			0.0091
M 3	0.01045	0.01018	0.0102	M 60			0.0198	N 10	0.00884	0.00841	0.0087	N200			0.0090
M 6	0.01259	0.01219	0.0125	M 80			0.0246	N 20	0.00777	0.00764	0.0077	N250			0.0090
M 9	0.01023	0.01010	0.0102	M150			0.0221	N 30	0.00710	0.00678	0.0069	N300			0.0059
M 12	0.00871	0.00804	0.0084	N 0	0.00814	0.00737	0.0078	N 50			0.0182	N350			0.0036
M 20			0.0180	N 3	0.01045	0.00960	0.0097	N100			0.0095				

4 表 窒化後の窒素量

試料	2h 窒化		4h 窒化		10h 窒化		25h 窒化		50h 窒化		100h 窒化		摘 要	
	重量増加	分析	重量増加	分析	重量増加	分析	重量増加	分析	重量増加	分析	重量増加	分析		
A 0-A	6.227	5.699	6.376	5.827	7.304	6.614	7.902	6.919	8.071	7.011	8.559	7.633	NH ₃ 瓦斯量	排氣中殘留NH ₃
B	6.350	5.474	6.881	6.229	7.689	6.726	8.156	6.835	8.248	6.882	8.617	7.334	170~190°/分	74~83%
C	6.147	5.522	6.200	5.554	7.149	6.132	7.885	6.635	8.206	6.857	8.442	7.119	削粉は全て 100mesh 以下一定量を	
D	6.560	5.686	6.925	6.052	7.587	6.518	8.029	6.635	8.374	6.820	8.667	7.017	磁製ボートに入れて所要時間窒化	
E	7.253	6.357	7.621	6.598	7.933	6.790	8.525	6.928	8.542	7.098	8.983	7.970		
A 5-A	6.077	5.602	6.612	6.116	7.493	6.758	8.130	7.036	8.383	7.376	8.767	8.164	計算上=	
B	7.313	6.678	7.868	7.208	8.517	7.594	8.776	7.653	8.917	7.761	9.126	8.512	窒化後重量-窒化前重量	×100
C	7.106	6.598	8.054	7.304	8.692	7.689	9.089	7.700	9.173	7.823	9.326	8.317	窒化後重量	
D	7.893	7.015	8.676	7.689	9.256	8.027	9.535	7.946	9.877	8.070	9.690	8.317		
E	8.113	7.320	8.867	7.866	9.461	8.299	9.600	8.348	10.442	8.456	9.845	8.926		

(第4表の續き)

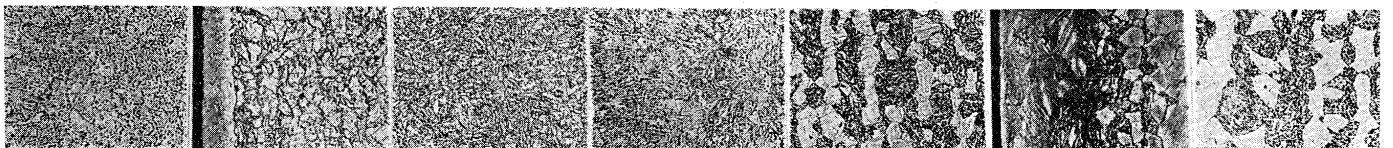
試料	2h 室化		4h 室化		10h 室化		25h 室化		50h 室化		100h 室化	
	重量増加 %	分析 %	重量増加 %	分析 %	重量増加 %	分析 %	重量増加 %	分析 %	重量増加 %	分析 %	重量増加 %	分析 %
A10-A	6.847	6.405	7.672	7.111	8.282	7.593	8.726	7.792	9.600	7.946	9.041	8.229
B	7.664	7.160	8.324	7.641	8.942	8.107	8.324	7.946	9.910	8.793	9.739	8.904
C	7.809	7.208	8.775	7.962	9.772	7.869	9.600	8.039	9.641	8.711	9.861	8.926
D	8.333	7.609	9.124	8.155	9.469	8.299	9.755	8.502	9.853	8.548	10.007	9.122
E	8.122	7.095	8.934	7.786	9.468	8.107	9.658	8.255	9.869	8.255	9.649	8.969
A15-A	6.821	6.604	7.970	7.240	8.534	7.594	9.008	7.993	9.182	8.008	9.297	8.207
B	7.149	6.534	8.617	7.930	8.950	8.203	9.198	8.317	9.817	8.707	9.470	8.904
C	8.274	7.594	9.083	8.251	9.346	8.460	9.609	8.471	10.120	8.710	9.715	8.904
D	7.843	6.919	8.609	7.609	9.025	7.818	9.551	8.070	9.821	8.370	9.666	8.599
E	8.667	7.866	9.313	8.251	9.519	8.492	9.715	8.487	10.700	8.887	9.780	9.013
A20-A	8.130	7.594	8.701	7.898	9.033	8.219	9.453	8.209	9.207	8.193	9.568	8.336
B	8.892	8.155	9.313	8.299	9.453	8.476	10.056	8.517	9.707	8.802	9.991	8.884
C	9.461	8.524	9.707	8.637	9.707	8.653	10.386	8.733	9.967	8.822	10.209	9.102
D	8.900	8.010	9.404	8.299	9.560	8.428	10.402	8.548	9.894	8.788	10.977	9.422
E	8.759	8.018	9.576	8.492	9.934	8.492	10.370	8.656	10.977	8.733	10.579	9.324
M	0	8.442	7.966	9.264	8.696	9.527	9.126	9.600	9.163	9.861	9.310	10.104
3	8.458	8.378	9.543	9.013	9.706	9.238	9.649	9.238	9.902	9.365	10.080	9.343
6	8.080	7.648	9.297	8.770	9.576	9.088	9.843	9.307	9.877	9.327	10.313	9.343
9	8.701	8.116	9.698	9.070	9.845	9.275	9.975	9.406	10.023	9.343	10.394	9.371
12	8.257	7.704	9.494	8.826	9.772	9.126	9.837	9.238	9.934	9.302	10.322	9.371
20	7.990	6.935	8.784	8.114	9.272	8.738	10.555	9.635	10.658	9.608	10.571	9.622
40	7.851	7.417	9.223	8.724	10.096	9.316	10.587	9.783	11.040	9.881	11.190	9.818
60	8.248	7.802	10.153	9.294	10.778	9.783	10.024	10.086	11.420	10.096	11.731	10.051
80	7.553	7.155	9.959	9.205	10.873	9.866	11.261	10.410	11.637	10.155	11.855	10.154
150	3.494	3.316	7.493	7.100	9.837	9.068	10.543	9.563	11.135	9.513	11.348	9.515
N	0	8.021	7.480	9.256	8.677	9.584	9.088	9.715	9.200	9.877	9.316	10.040
3	8.509	7.592	9.231	7.592	9.551	9.013	9.692	9.200	9.804	9.288	9.983	9.260
5	7.851	7.405	9.231	8.714	9.551	8.995	9.692	9.182	9.845	9.260	10.015	9.260
10	7.356	6.882	8.834	8.242	9.223	8.639	9.428	8.901	9.633	9.054	9.803	9.095
20	7.851	7.349	9.124	8.527	9.371	8.808	9.346	8.929	9.633	9.027	9.812	9.054
30	7.124	6.938	8.892	8.322	9.206	8.639	9.239	8.714	9.519	8.834	9.666	8.848
50	6.647	6.261	7.613	7.100	7.877	7.513	8.391	8.050	8.676	8.200	8.717	8.200
100	8.046	7.368	8.391	7.686	8.341	7.775	8.475	8.050	8.659	7.995	8.609	8.010
150	7.834	7.224	8.021	7.444	7.961	7.470	8.122	7.636	8.248	7.639	8.223	7.631
200	5.571	5.303	6.255	6.013	7.647	6.522	7.244	6.908	7.510	6.989	7.390	6.989
250	5.172	5.022	6.244	5.876	6.751	6.385	7.253	6.729	7.261	6.727	7.193	6.733
300	4.352	4.169	5.473	5.174	6.428	6.054	7.141	6.660	7.322	6.691	7.253	6.706
350	5.222	4.981	5.927	5.587	6.129	5.793	6.594	6.109	6.376	6.308	6.358	6.220

第 5 表

符號	Al	Cr	最高硬度
A0-A	0	0	274
" -B	0	0.54	455
" -C	0	1.02	599
" -D	0	1.61	673
" -E	0	2.09	716
A5-A	0.58	0	464
A10A	1.08	0	743
A15A	1.75	0	974
A20A	2.19	0	1097

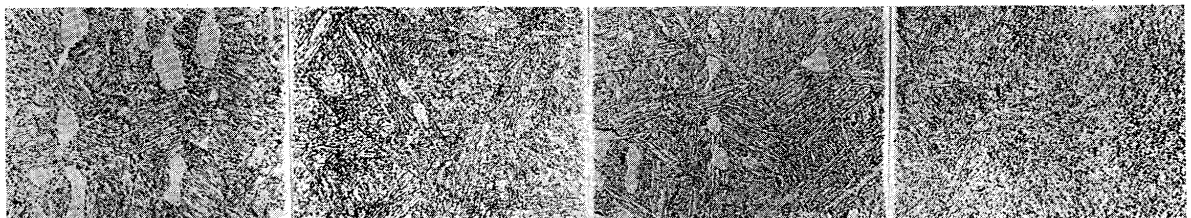
PL-I

Core A0A A0A100h—500°C 室化 Core A5A Core A10A Core A15A A15A 100h—500°C 室化 Core A20A



PL-II

Core A15B " A15C " A15D " E



PL-III

500°C—100h 室化 M40 Core M40 500°C—100h 室化 M150 " N30 Core N30 500°C—100h 室化 N100 Core N100 500°C—100h 室化 N300

