

窒化作用を鋼の表面硬化に應用の研究

(昭和 3 年 11 月日本鐵鋼協會第四回講演大會講演)

小 藪 重 行

ABSTRACT

Taking ten kinds of carbon and special steels, the author treated them with current of ammonia at various temperatures to obtain hard layers by the formation of nitrides.

He tested the specimens at the temperatures from 560°C to 580°C, the times being 5, 15 and 30 hours and determined the scratch hardness and the length before and after the treatment.

According to his observation, the increments of hardness and length varied from 200 to 460 in Brinell hardness number and from 0.003 to 0.09 in mm. respectively.

He next examined the shock test on the nitrated specimens and also observing the variation of their hardness in annealing at the temperatures from 300°C to 800°C, found that the hardness did not decrease up to about 600°C in general.

Lastly, the photomicrographs of various specimens before and after the treatment are shown.

1. 緒 言

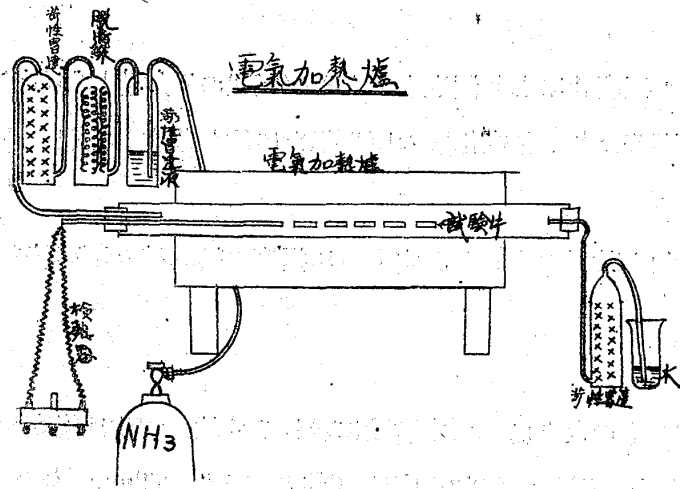
窒素の鐵に及ぼす影響に就いては既に多數の人々によりて研究され 600 乃至 700°C に於て鐵をアンモニア氣流中にて窒化作用を行はしむるときは其の表面に幾多の窒化物の數層を生成するものにして即ち窒化鐵 Fe_4N , Fe_2N 等の化合物が存在することは周知の事實に屬す。

鐵—窒素系合金の状態圖に關しては Sawyer, Fry 提出せるものの外最近村上、岩泉兩氏の研究發表せるものあり、而して此の窒化作用の應用として表面硬化法あり、從來實施せる滲炭法に依り鋼の表面硬化を行ふときは往々にして粗大なる結晶組織の生成及滲炭後引續き行ふ焼入作業の爲め膨脹變形又は焼割等に依る損害を受くることあり、今之に代ふるにアンモニア瓦斯の如き窒素化合物を適當なる方法に依りて作用せしめ表面を窒化せしむるときは滲炭法による全利益を保持し且つ夫れに因る損害を除去し得、これに關し Fry の研究報告あるも實用化するに當りては材質、溫度、時間、其の他諸種の條件ありて現在不明の點尠からざるを以て本研究に於ては主としてこの方面に關する實驗を行ひたり。

2. 實施の要領

試験の爲め選定せる材料の附表第 1 に示す如き成分を有する材質にして之を標準状態に焼鈍したる後之より試片を製作するものとす、硬度及寸法の測定には方 $10\text{ mm}^2 \times 60\text{ mm}$ の小片を製作し其の表面を精密に研磨し之を測長器 (プラツト・エンド・ホイットニー製、精密度 1/1000 mm) にて數箇所の寸法を測定し次にショアー硬度計により硬度を測定す之を圖の如き装置中に入れアンモニア瓦斯の氣

流中に於て 560 乃至 580°C 並に夫れ以上の温度に加熱し窒化作用を完結せしめ再び寸法の測定及シヨアー硬度を測定す。



第 1 圖

シヨアー硬度を測定す。

試験片は其の一端 10 mm に於て切斷し断面は充分研磨しマルテンス、スクラッチ硬度計に依り内外面に搔痕を附し後之を擴大撮影 (300 倍) して寸法を比較測定す尙窒化作用を行ひたる試料に就き加熱温度と硬度の變化 (ピツカース硬度計を使用す) の測定並に衝擊試験をも行ひたり、窒素の滲入程度及組織を知る爲めに顯微鏡的試験を爲せり。

3. 經過及成績

(1) 窒化作用に依る硬度の増加並に寸法の變化

實施の要領に記載せる如く試験片を製作し寸法及シヨアー硬度測定後石英硝子製燃焼管中に挿入し液化アンモニア瓦斯をボンブより發生し苛性曹達を以て清淨にしたる後之を通じ常温の儘約 10 分間に完全に管内を置換せしめ之を豫め加熱調整し置きたる電気加熱爐に裝し所要温度 560 乃至 580°C に夫々 5 時間、15 時間、及 30 時間持續し後燃焼管を爐外に出し瓦斯を通しつゝ放冷したる後前の如く寸法及シヨアー硬度を測定す、然る後之を一端より約 10 mm に於て切斷したる試験片に就き其の切斷面は精密に研磨し窒化面と共にスクラッチ硬度計に依り搔痕を附し之を顯微鏡寫眞に依り 300 倍に擴大撮影し印畫搔痕の巾を測定し標準曲線圖に依りブリネル硬度計に換算す、此の標準曲線圖は豫めブリネル硬度計により測定したる標準鋼の數箇を前記要領を以てスクラッチ硬度計にて處理し其の幅員を横線、ブリネル硬度を縦線にとり兩者の關係を曲線にて現はせるものにして附圖第 1 に示す如し。

(イ) 硬度の増加に就て

附表第 2 に表示する如くシヨアー硬度計に於ては増加數一致せざるもの多く特に概して原地金硬度の低きもの (軟鋼、極軟鋼) は著名ならず、之に反しクロームを含有するものクローム、チタニウム鋼、クローム鋼 A、B は稍々著しき増加を示せり。

然れども今回實驗したる 30 時間以内の窒化作用時間に於てはシヨアー硬度は普通行はるゝ滲炭法の増加の如き數値を示さず。

スクラッチ硬度計に依れば明瞭に硬度の増加を示し本試験に對する良結果を與へたり即ち附圖第 2 の線圖の如し。

之によれば全般に加熱時間 15 時間のもの最も成績良好にして之より長く加熱したる 30 時間のものは反つて之より硬度の低下を示せり。

此の硬度の増加は金質及時間に依り區々なるも 15 時間加熱のものはブリネル硬度 200 乃至 460 の

増加を爲せり。而して金質に就て云へばクローム鋼 B 第 1 位にして極軟鋼クローム、チタニウム鋼の順位なり。

極軟鋼はショアー・ピカース又はロツクウェル硬度計により測定するときは硬度の増加著しからざるもスクラッチ硬度計に依るときは硬度の増加顯著なり。是窒化層の厚さ薄きに依り差違を惹起するものと思惟せらる。

スクラッチ硬度計に於ては窒化せざるものゝ如き軟質のものを測定するに搔痕の輪廓稍々不明瞭なるものあり。

(ロ) 寸法の變化及表面光澤變化狀況

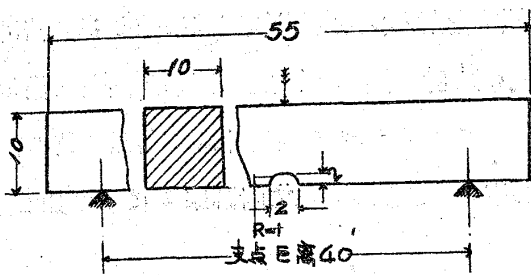
窒化作用の生成物に因り僅微の膨脹は免れざるものなり而して本試験に於ける寸法の變化は附表第 3 に掲ぐる如くにして作用時間と共に漸次増加しあり而して増加程度は 0.003 乃至 0.09mm なり。

表面光澤は地金によりて若干の變差はあるも 30 時間以内に於て概して灰白色を呈し窒化作用急激なる場合は粗鬆なる表皮を生し易く殊に炭素鋼に於て然り。然れども此の薄膜表皮は磨研布等にて直に除去し得て光澤ある硬質の金屬面を顯出し普通鏽を以て搔痕を生せず。

斯の如き事實に徴するに之を極めて精密を要する検査具等に應用する場合は窒化作用後に於て再び研磨を必要とす可し。

(2) 衝擊試験

試験片は下圖の如き寸法を有するものにして之を前項と同一要領に依り 560°C に 15 時間作用せし



第 2 圖

めたるものに就きシャルピー試験機 (容量 25 kgm) を以て試験を実施せり。

試験結果は附表第 4 に掲ぐる如し。

之によれば衝擊値は著しく削減せらるゝものにして約 60% 以下に減少するを知る可し。

衝擊により破斷されたる破面を検するに窒化作用を行ひたるものと然らざるものとは大に趣をを異にす即ち前者は其の變形少きも後者は其の變形比較的大なり。(寫眞圖第 13 参照)

(3) 加熱による窒化表面の硬度の變化

窒化作用に使用したると同一の電氣爐中に於て充分に密閉し 300 乃至 800°C の各温度に 1 時間加熱したるものに就きピツカース硬度計を以て硬度を測定したるに其の變化は附表第 5 及附圖第 4 に示す如し。

フリー氏の研究によれば純鐵の窒化物は 500 乃至 600°C に於て大部分の窒素は分離せられ 700 乃至 800°C に於ては完全に分解す。

又其の他の元素の窒化物は一般に 500 乃至 600°C より分解を開始し 900 乃至 1,000°C に加

熱さるゝも純窒化鐵の如く完全に分解し盡くすことなし本試験に於ては 600°C 迄は分解による硬度の低下を認むる能はず 700°C に於ては極軟鋼及軟鋼を除き他は總て著しき硬度の低下を示し 800°C に於ては例外なく總て急激に硬度の低下を來せるを以て此の溫度に於て分解熾烈なるものと認めらる、然れ共窒化前の硬度に復歸せしもの僅 2 筒 (検査用具鋼 1 號及クローム滿掩鋼) ありたるに過ぎず。

(4) 加熱溫度及作用時間と滲炭組織との關係

顯微鏡寫眞第 1 乃至第 12 の各圖に見る如く 560°C 、 580°C 、 610°C 、 670°C を比較するに溫度の上昇と共に表皮と内部との差異甚しく明瞭となり且滲入程度漸次増大す、而してクロームの少き程特に炭素鋼にありては其の滲入組織の確然たる層の存在を認む (第 11 参照) 610°C 以上にして組織明瞭なる部分は研磨に際し脱落甚し是要するに外膜は硬度の最も高き窒化鐵 Fe_3N を構成するも内部との差異甚しき爲め恰も鍍金膜の如き内外兩部の結著性乏しき状態となりしならん、之等は實用に適せざること明にして斯の如く高溫度に於て作用せしむるは組織研究上興味ある事實なるも表面硬化の目的に合致せず、是れフリー氏の研究に係る線圖附圖第 3 により了解せらるる所にしてこれによれば 580°C 以上に於ては窒化物 Fe_3N の薄層を生成するを以て表面硬化溫度は該溫度以下なるを要す、寫眞圖第 10 に見るクローム鋼 B 組織の如く漸次内部に及ぼせるもの最も堅硬にして實用に適するものならん。

時間に就ても各表に見る如く 5 時間は各試験片共或る程度迄滲入しありて 15 時間以上に於ては組織に於て内外の差異大なれども溫度の項に述べたる如く實用上疑義を存す。

而して溫度及時間による組織と硬度の關係に就ては附表第 2 スクラッチ硬度計に依る増加數値により明白なり。

(5) 窒化作用を表面硬化に適應する普通鋼材の成分

窒化鐵に関する文獻は多數見受くる所にして既に周知のことに屬するも之を表面硬化に應用することは比較的晩近のことにして獨逸クルツプ會社技師フリー氏の研究によれば炭素鋼に施すときは硬度不充分にして實用に適せずとし特殊の合金 (=ニトラロイ) を特殊の装置を使用して窒化せしむることを推舉せり然れども斯の如き特殊設備は事實上到底不可能の事なるを以て今比較的得られ易き附表第 1 分析成績表の如き鋼材 10 種を試験片となし異なる溫度及時間を以て窒化作用を施し其の硬度を測定せしに附表第 2 に表示せらるる如くにしてスクラッチテストを基準とすればクロームを含有せるもの概して好結果を收めたりクローム鋼 B、極軟鋼、クローム、チタニウム鋼の順位にて特に有望なるは極軟鋼及軟鋼の比較的良好なる結果を得たることなり。

次に含有炭素量も無視し難き所にしてクローム 0.905% を含有する検査用具鋼 2 號の硬度頗る低きは含炭素 1.611% なるに基因すべし唯異例と認むるべきはクローム鋼 A にして他地金の成績と合致せざる點あり。尙衝擊値より考察するに窒化後の衝擊値と窒化前の衝擊値との比 S_2/S_1 は硬度の場合

に於ける如くクローム鋼 B、極軟鋼、クローム、チタニウム鋼の順位にして夫々 0.56, 0.39 及 0.35 なり。

以上の結果により將來適當と思惟する鋼材は比較的炭素量の少なるとクロームの適量を含有しあるを第 1 位とし次は含炭量僅少なる炭素鋼なり。

4. 總 括

1. 試験に使用せる材料は附表第 1 に示す如き成分を有する金質にして窒化作用温度は 560 乃至 670°C にして時間は 5, 15, 及 30 時間とせり。
2. 窒化作用により堅硬なる表皮を得るに適する温度は 560 乃至 580°C にして是以上の温度に於ては内外組織の變化明瞭にして外縁に於ては恐らく Fe_3N に近き化合物を生成し硬化表面は脆弱にして實用に適せざるべし。
3. 窒化作用を可及的深く滲入せしむる爲めには長時間實施するを要するも其の表面硬度の増加は或る程度以上に於ては不可能の如し實驗の結果によれば 15 時間附近を最大とす。
4. 窒化作用に依る長さの膨脹を測定したるに其の膨脹程度は概ね時間に比例して増大し 0.003 乃至 0.009 mm の範圍にあり。
5. 硬度試験に於て良好なる成績を示せる鋼材若干を選定し 560°C に於て 15 時間窒化作用を行ひたるものに就き衝撃試験を行ひたるに窒化後の衝撃値は何れも窒化前の夫の約 0.6 以下なり。
6. 加熱による窒化表面硬度の變化を検したるに 700°C 以上に於ては硬度の低下を見たるも 600°C 以下に於ては硬度の低下を認めず。
7. 本研究に於て使用せる材料中窒化作用に依り表面硬化に適合するものは低炭素クローム鋼を最良とす。
8. 硬度測定にショアー、ピツカース及スクラッチ硬度計を使用したるに表面硬化面の硬度測定にはスクラッチ、テストに依るを可とす。

附表第 1 各種鋼材分析成績表

成 分	炭素	硅素	磷	硫黄	滿 俺	銅	ニッケル	クローム	チタニウム
品 名									
クローム滿俺鋼	0.549	0.359	0.059	0.021	0.629	0.429	0.914	1.392	—
クロームチタニウム鋼	0.367	0.612	0.069	0.049	0.265	0.369	0.603	1.279	痕跡
硅素滿俺鋼	0.438	0.925	0.061	0.032	0.845	0.471	0.451	0.139	—
検査用具鋼 1 號	0.909	0.273	0.023	0.021	0.489	0.195	0.156	—	—
同 2 號	1.611	0.425	0.023	0.014	0.513	0.207	0.280	0.905	—
軟鋼	0.358	0.018	0.017	0.024	0.538	0.177	痕跡	0.026	—
自動車鋼 3 號	0.326	0.225	0.025	0.024	0.315	0.129	4.266	0.322	—
極軟鋼	0.142	0.020	0.031	0.016	0.522	0.188	痕跡	—	—
クローム鋼 A	0.576	0.594	0.054	0.028	0.381	0.300	0.514	2.480	—
同 B	0.727	0.734	0.048	0.023	0.373	0.297	0.512	3.358	—

附表第2

硬 度 の 變 化

區 分 試 料	窒化作用 5 時間			窒化作用 15 時間			窒化作用 30 時間		
	作用前 の硬度	作用後 の硬度	硬度の 増 加	作用前 の硬度	作用後 の硬度	硬度の 増 加	作用前 の硬度	作用後 の硬度	硬度の 増 加
クローム満俺鋼	190 (29)	420 (34)	230	187 (28)	480 (40)	293	180 (26)	432 (44)	252
クロームチタニウム鋼	160 (22)	485 (36)	325	136 (21)	496 (47)	360	130 (20)	432 (45)	302
珪素満俺鋼	158 (22)	321 (34)	163	158 (23)	515 (41)	357	163 (22)	380 (38)	217
検査用具鋼1號	191 (25)	445 (32)	254	191 (25)	490 (32)	299	191 (26)	353 (32)	162
検査用具鋼2號	224 (29)	412 (32)	188	202 (26)	432 (34)	230	202 (27)	353 (32)	151
軟 鋼	156 (20)	400 (25)	244	156 (20)	432 (26)	272	165 (23)	432 (27)	267
自動車鋼3號	190 (25)	396 (40)	206	192 (29)	395 (45)	203	210 (30)	395 (39)	185
極 軟 鋼	142 (19)	512 (22)	370	142 (17)	568 (24)	426	158 (21)	480 (23)	322
クローム鋼 A	202 (19)	432 (34)	230	210 (21)	455 (45)	245	210 (26)	448 (48)	238
クローム鋼 B	180 (22)	568 (28)	388	190 (20)	650 (36)	460	190 (25)	568 (45)	378

摘要 (1) 硬度はスクラツチの幅よりブリネル硬度數に換算せるものを示す。

(2) 括弧内はシヨアー硬度數を示す。

附表第3

寸 法 の 變 化

區 分 試 料	窒化作用 5 時間			窒化作用 15 時間			窒化作用 30 時間		
	作用前 の寸法	作用後 の寸法	寸法の 増 加	作用前 の寸法	作用後 の寸法	寸法の 増 加	作用前 の寸法	作用後 の寸法	寸法の 増 加
クローム満俺鋼	$9\frac{953}{1000}$	$9\frac{958}{1000}$	$\frac{5}{1000}$	—	—	—	$9\frac{985}{1000}$	$10\frac{3}{1000}$	$\frac{12}{1000}$
クロームチタニウム鋼	$9\frac{958}{1000}$	$9\frac{966}{1000}$	$\frac{8}{1000}$	—	—	—	$9\frac{950}{1000}$	$9\frac{750}{1000}$	$\frac{9}{1000}$
珪素満俺鋼	$10\frac{69}{1000}$	$10\frac{71}{1000}$	$\frac{11}{1000}$	—	—	—	$9\frac{980}{1000}$	$9\frac{986}{1000}$	$\frac{6}{1000}$
検査用具鋼1號	$10\frac{100}{1000}$	$10\frac{22}{1000}$	$\frac{12}{1000}$	—	—	—	$10\frac{65}{1000}$	$10\frac{83}{1000}$	$\frac{18}{1000}$
検査用具鋼2號	$9\frac{915}{1000}$	$9\frac{921}{1000}$	$\frac{6}{1000}$	—	—	—	$10\frac{24}{1000}$	$10\frac{19}{1000}$	$\frac{35}{1000}$
軟 鋼	$9\frac{839}{1000}$	$9\frac{853}{1000}$	$\frac{14}{1000}$	—	—	—	$9\frac{885}{1000}$	$9\frac{933}{1000}$	$\frac{48}{1000}$
自動車鋼3號	$9\frac{912}{1000}$	$9\frac{925}{1000}$	$\frac{13}{1000}$	$9\frac{913}{1000}$	$9\frac{937}{1000}$	$\frac{24}{1000}$	$9\frac{871}{1000}$	$9\frac{912}{1000}$	$\frac{41}{1000}$
極 軟 鋼	$9\frac{897}{1000}$	$9\frac{900}{1000}$	$\frac{3}{1000}$	$9\frac{903}{1000}$	$9\frac{924}{1000}$	$\frac{21}{1000}$	$9\frac{918}{1000}$	$9\frac{956}{1000}$	$\frac{38}{1000}$
クローム鋼 A	$9\frac{985}{1000}$	$9\frac{999}{1000}$	$\frac{14}{1000}$	$10\frac{35}{1000}$	$10\frac{54}{1000}$	$\frac{19}{1000}$	$9\frac{990}{1000}$	$9\frac{52}{1000}$	$\frac{62}{1000}$
クローム鋼 B	$10\frac{29}{1000}$	$10\frac{35}{1000}$	$\frac{6}{1000}$	$9\frac{866}{1000}$	$9\frac{880}{1000}$	$\frac{14}{1000}$	$9\frac{865}{1000}$	$9\frac{882}{1000}$	$\frac{17}{1000}$

附表第 4

衝 擊 試 驗 成 績

試 料	硬 度 (H)	衝 擊 値 (S)	平 均		S ₂ S ₁	
			H	S		
クロム鋼 B	窒化前	235	5.60	226	5.4 (S ₁)	0.56
		228				
		215				
	窒化後	340	5.10	535	3.0 (S ₂)	
		545				
		523				
極 軟 鋼	窒化前	129	17.70	127	16.5 (S ₁)	0.39
		126				
		127				
	窒化後	164	2.25	166	6.4 (S ₂)	
		166				
		167				
検査用具鋼 1 號	窒化前	222	2.50	221	1.45 (S ₁)	0.21
		223				
		218				
	窒化後	281	0.44	283	0.31 (S ₂)	
		284				
		284				
クロムチタニウム鋼	窒化前	216	0.90	223	1.03 (S ₁)	0.35
		228				
		226				
	窒化後	388	0.34	392	0.36 (S ₂)	
		400				
		388				

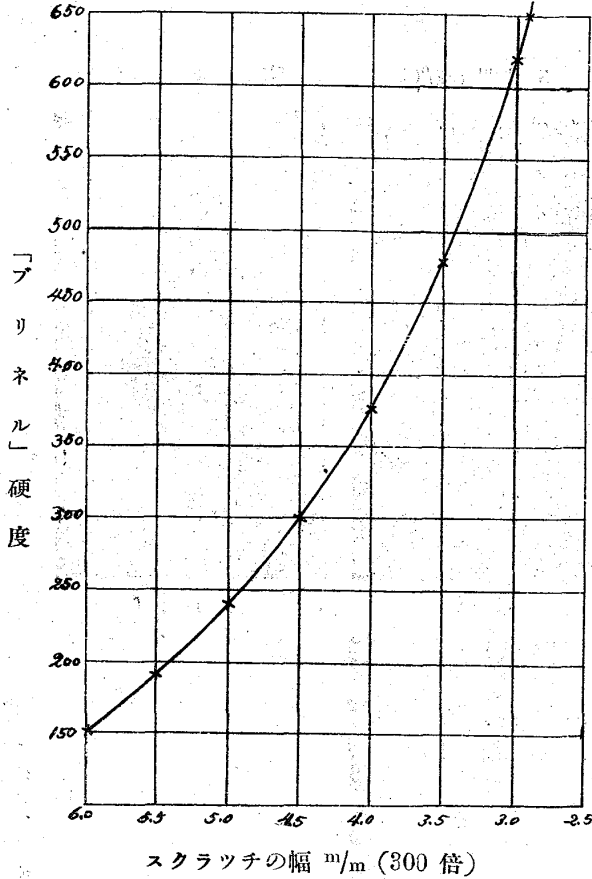
附表第 5

加熱による窒化表面の硬度の變化

試 料	加熱溫度							
	加熱前	300°C	400°C	500°C	600°C	700°C	800°C	700°C 終了 後窒化せざる面
軟 鋼	202	200	210	214	204	221	163	139
自動車鋼 3 號	275	303	312	321	303	275	244	212
極 軟 鋼	185	187	194	204	192	198	169	133
クロム鋼 A	424	427	419	429	439	334	236	198
クロム鋼 B	439	444	434	434	434	358	267	223
クロム満俺鋼	414	401	406	401	410	289	252	256
クロムチタニウム鋼	454	449	429	439	444	351	223	194
珪素満俺鋼	354	358	351	358	358	312	265	198
検査用具鋼 1 號	292	306	301	306	306	272	214	212
検査用具鋼 2 號	334	351	340	351	321	295	306	244

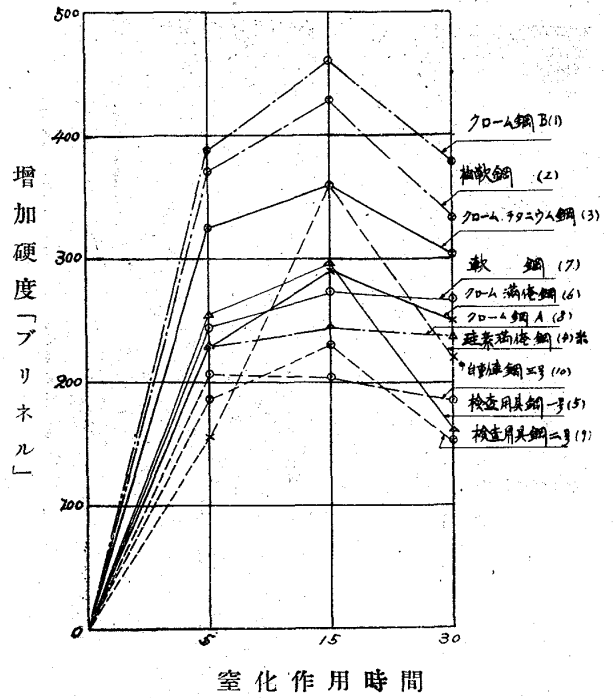
附圖第1

スクラッチの幅とブリネル硬度
の曲線圖



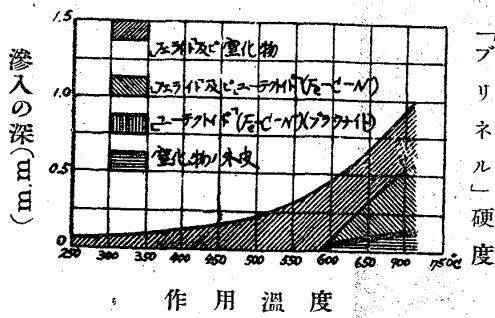
附圖第2

窒化時間と増加硬度数の關係圖
(硬度数はスクラッチをブリネルに換算)

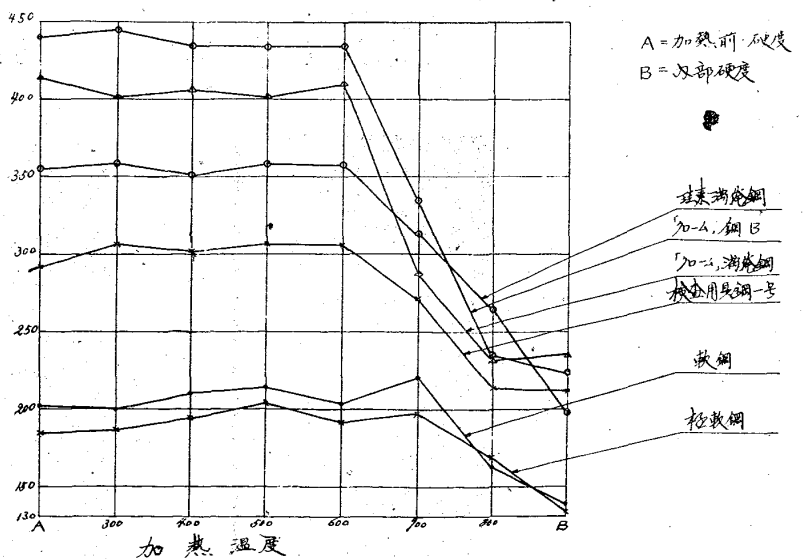


附圖第3

窒化物の成生と温度との關係



附圖第4



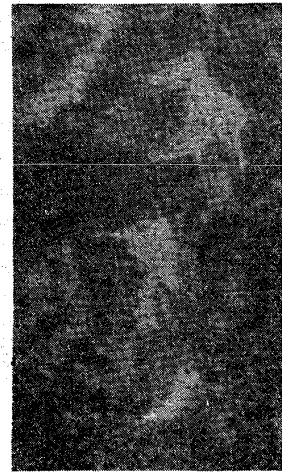
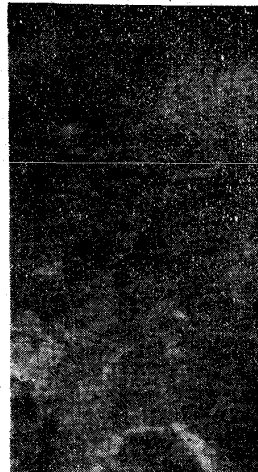
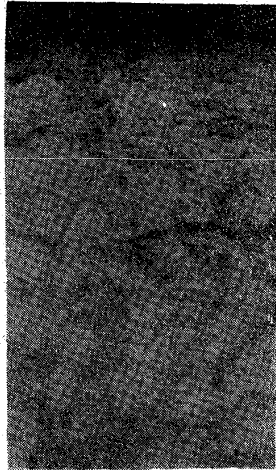
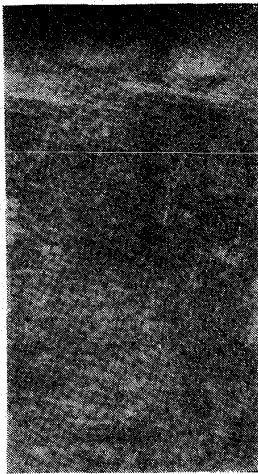
寫眞圖第*1 クローム満俺鋼 (×300)

30 時間 560°C

15 時間 560°C

5 時間 560°C

窒 化 前

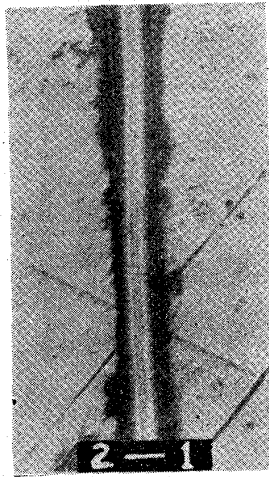


3-1

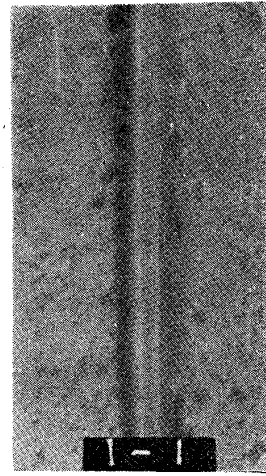
2-1

1-1

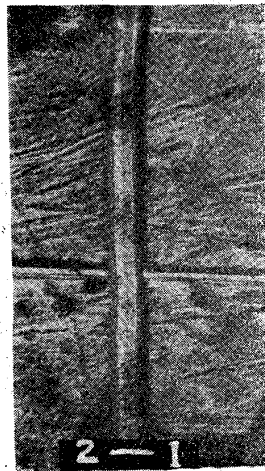
0-1



内 部 スクラッチ硬度 (×300)



内 部 スクラッチ硬度 (×300)



外 部



外 部

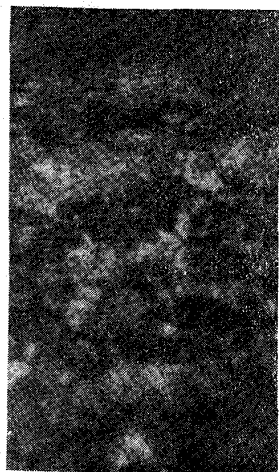
寫眞圖第2 クロムチタニウム鋼 (×300)

30 時間 560°C

15 時間 560°C

5 時間 560°C

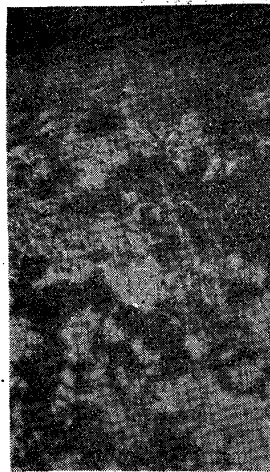
窒化前



3-2



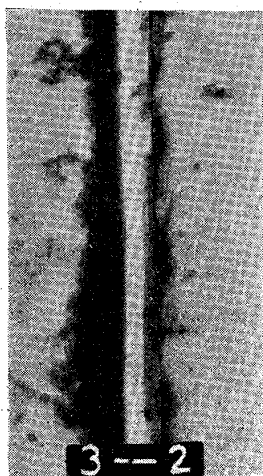
2-2



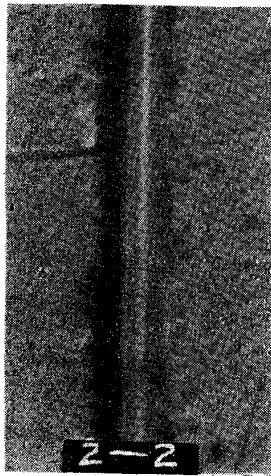
1-2



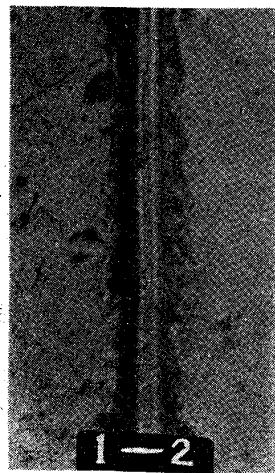
0-2



3--2



2-2



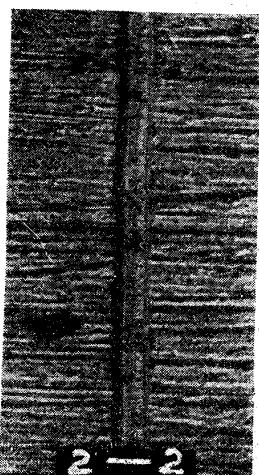
1-2

内部 スクラッチ硬度 (×300)

内部 スクラッチ硬度 (×300)



3-2



2-2



1-2

外部

外部

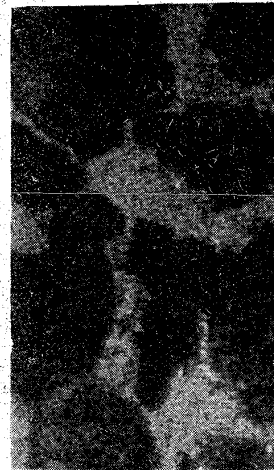
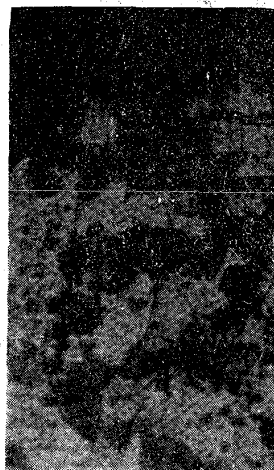
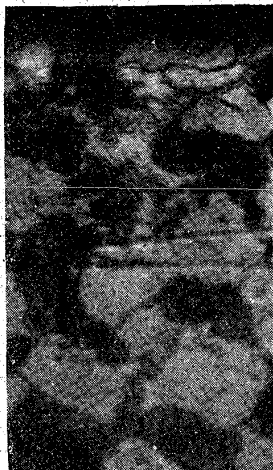
寫真圖第3 珪素滿俺銅 (×300)

30 時間 560°C

15 時間 560°C

5 時間 560°C

窒 化 前

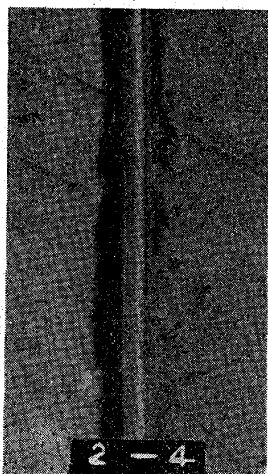


3-4

2-4

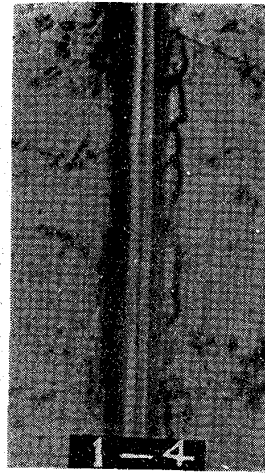
1-4

0-4



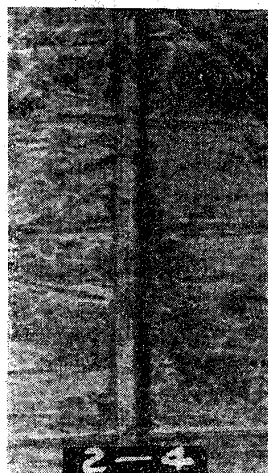
内 部 スクラッチ硬度 (×300)

2-4



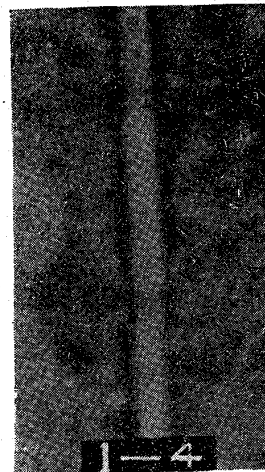
内 部 スクラッチ硬度 (×300)

1-4



外 部

2-4



外 部

1-4

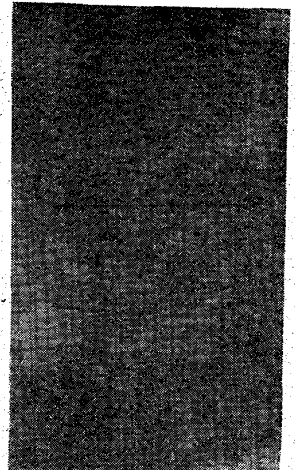
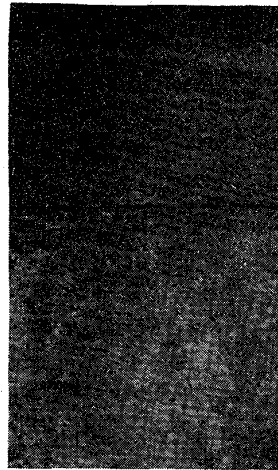
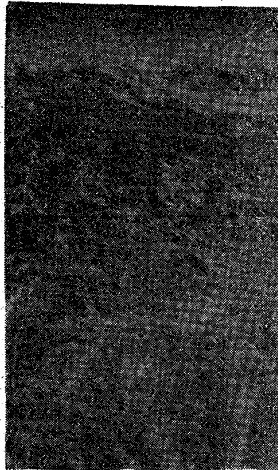
寫眞圖第4 検査用具鋼1號
(×300)

30 時間 560°C

15 時間 560°C

5 時間 560°C

窒化前

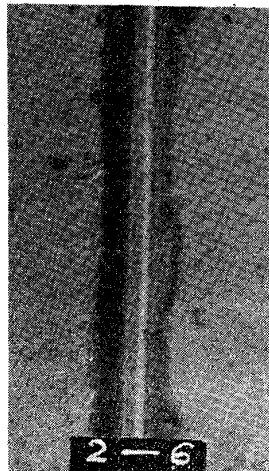
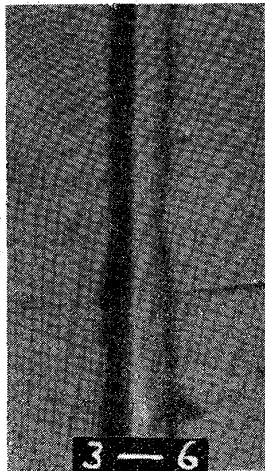


3-6

2-6

1-6

0-6



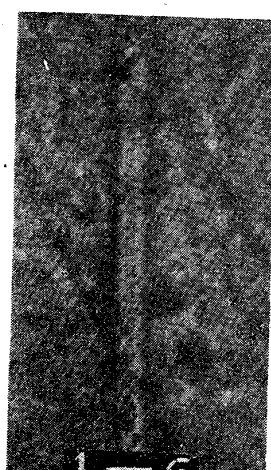
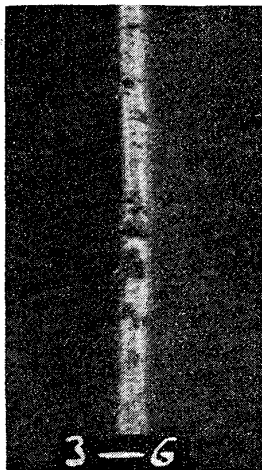
内
部
スクラッチ
硬度 (×300)

内
部
スクラッチ
硬度 (×300)

3-6

2-6

1-6



外
部

外
部

3-6

2-6

1-6

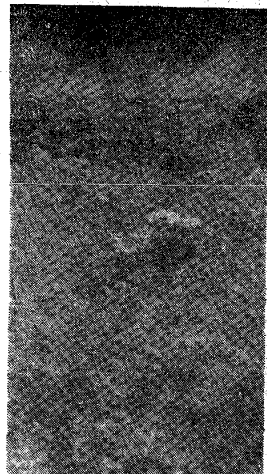
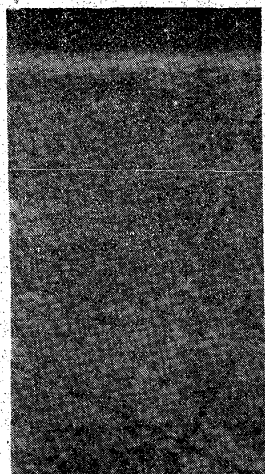
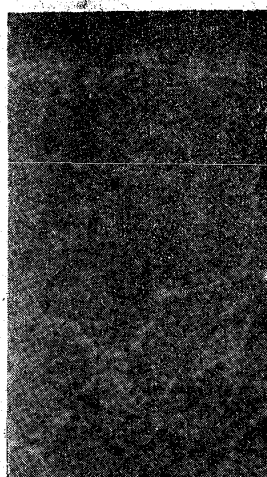
寫真圖第5 検査用具鋼2號
(× 300)

30 時間 560°C

15 時間 560°C

5 時間 560°C

窒 化 用

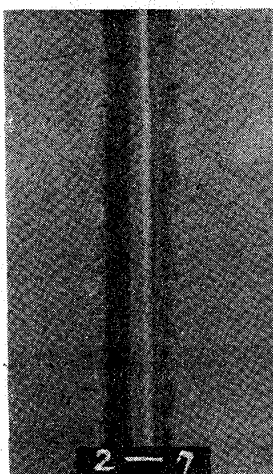
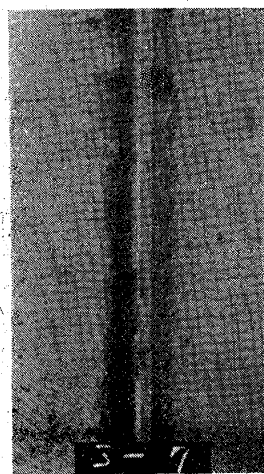


3-7

2-7

1-7

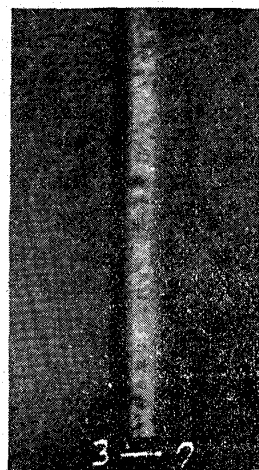
0-7



内
部
ス
ク
ラ
ツ
チ
硬
度

3-7

2-7



外
部

3-7

2-7

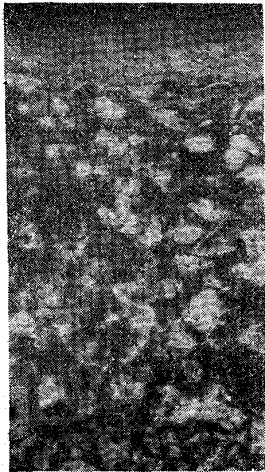
寫眞圖第6 軟鋼 (×300)

30 時間 580°C

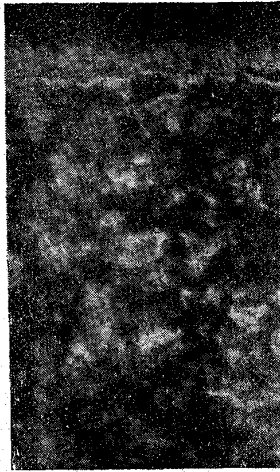
15 時間 580°C

5 時間 580°C

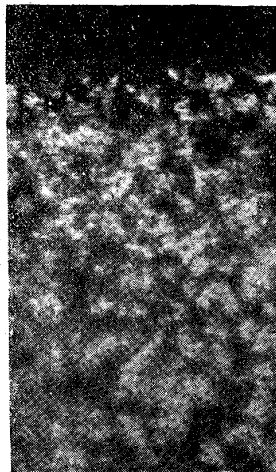
窒化前



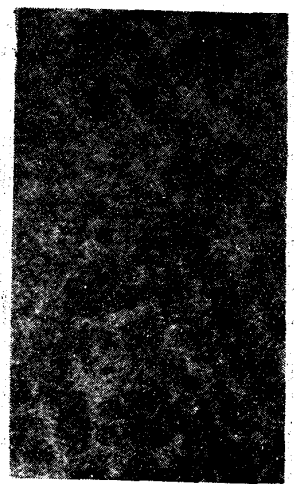
8-1



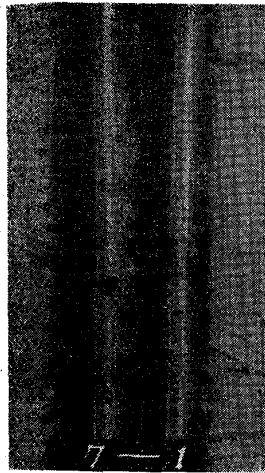
7-1



6-1

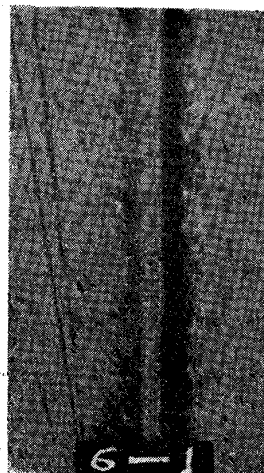


1



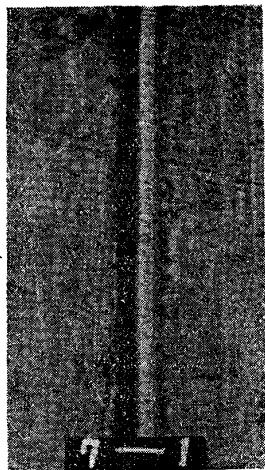
7-1

スクラッチ硬度 (×300)
内 部



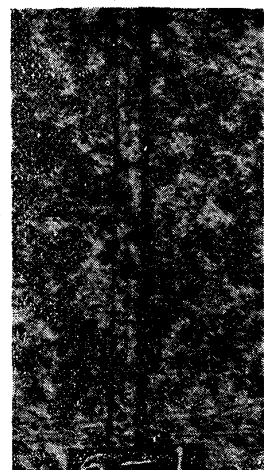
6-1

スクラッチ硬度 (×300)
内 部



7-1

外 部



6-1

外 部

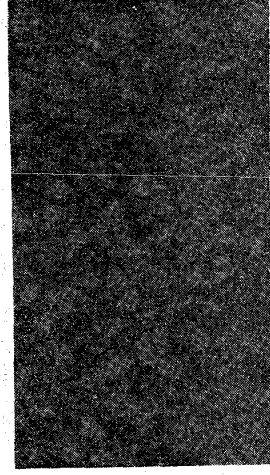
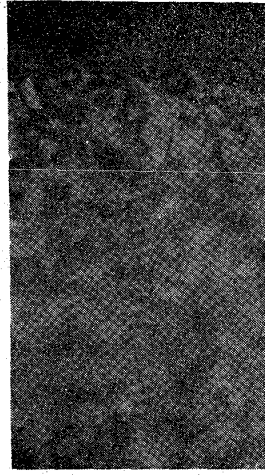
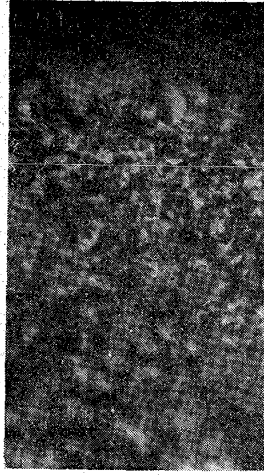
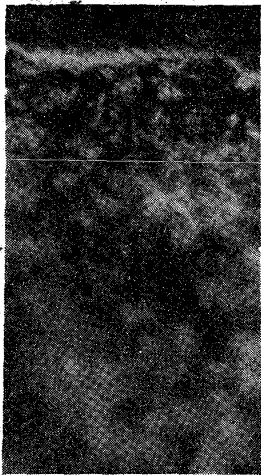
寫眞圖第7 自動車鋼3號
(×300)

30 時間 580°C

15 時間 580°C

5 時間 580°C

窒 化 前

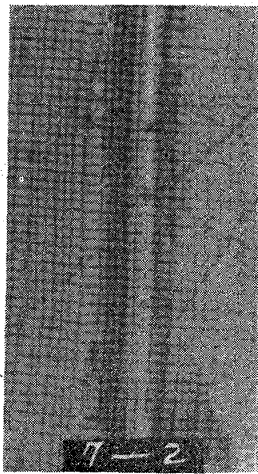


8-2

7-2

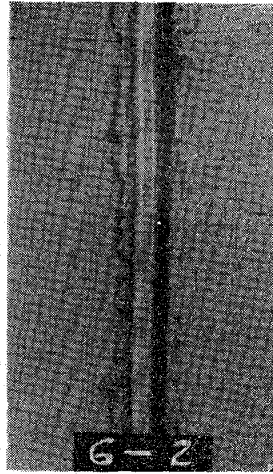
6-2

2 1-0



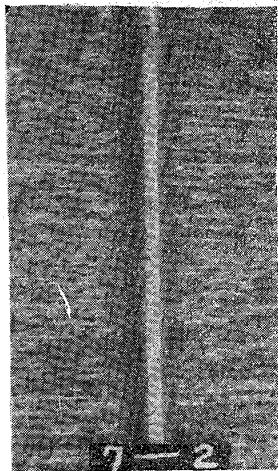
ス
ク
ラ
ツ
チ
硬
度
(×300)
内
部

7-2



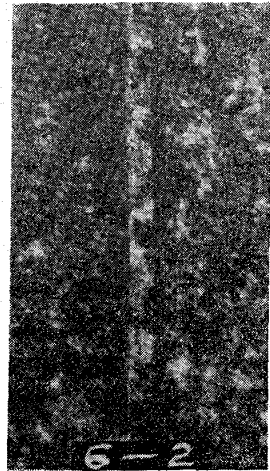
ス
ク
ラ
ツ
チ
硬
度
(×300)
内
部

6-2



外
部

7-2

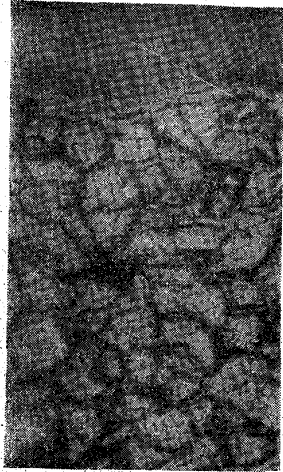


外
部

6-2

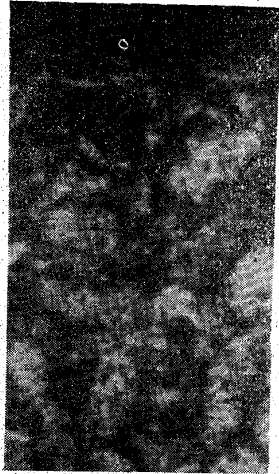
寫眞圖第8 軟極鋼 (×300)

30 時間 580°C



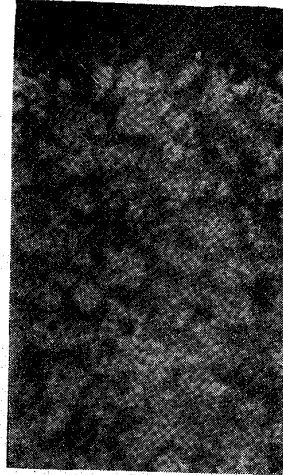
8-3

15 時間 580°C



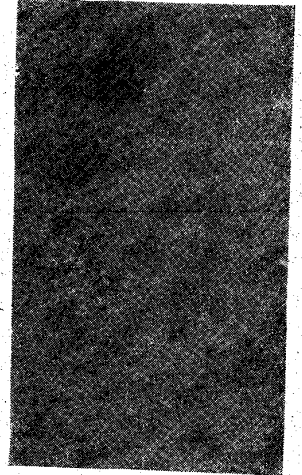
7-3

5 時間 580°C

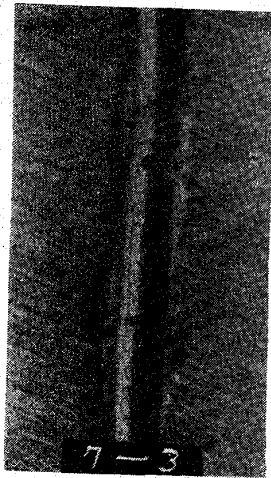


6-3

窒化前

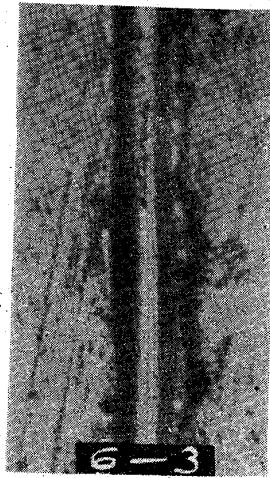


3



7-3

スクラッチ硬度 (×300)
内 部



6-3

スクラッチ硬度 (×300)
内 部



7-3

外 部



6-3

外 部

寫眞圖第 9

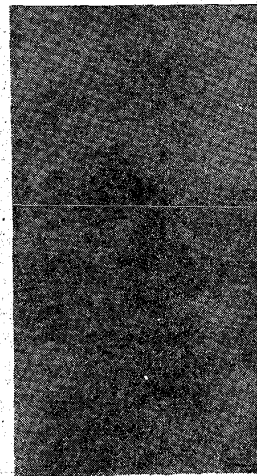
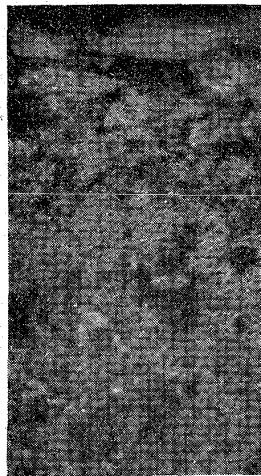
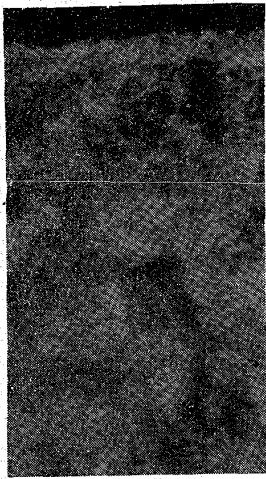
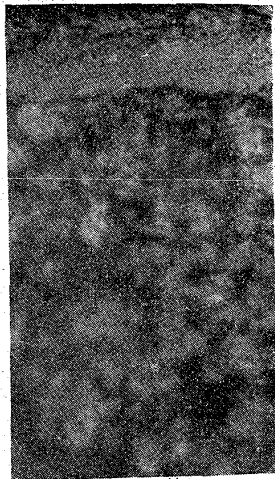
クローム鋼 A
(×300)

30 時間 580°C

15 時間 580°C

5 時間 580°C

窒 化 前

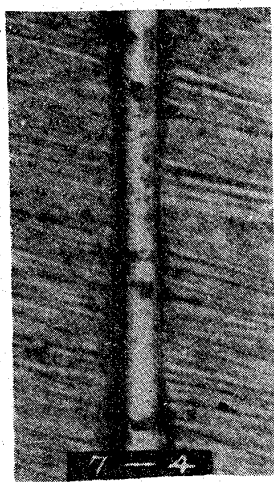


8-4

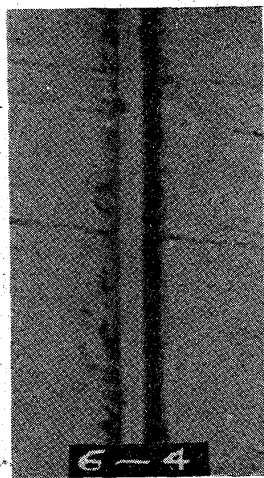
7-4

6-4

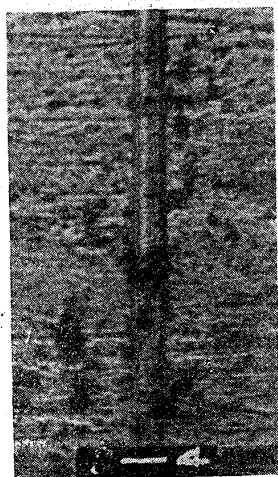
4



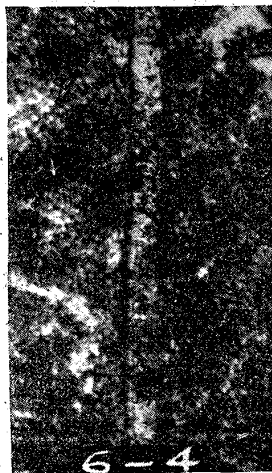
内
部
スクラッチ硬度 (×300)



内
部
スクラッチ硬度 (×300)



外
部



外
部

寫眞圖第10

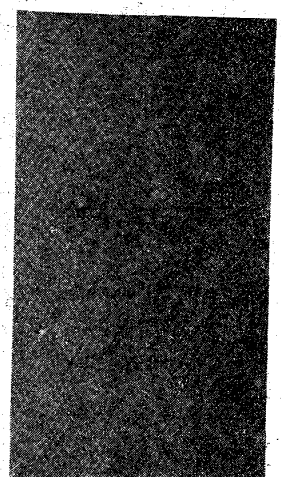
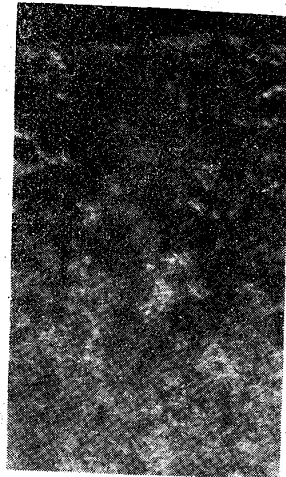
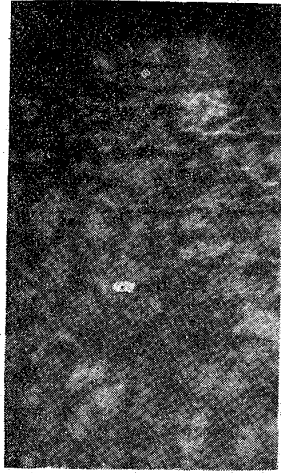
クローム鋼B
(×300)

30 時間 580°C

15 時間 530°C

5 時間 580°C

窒化前

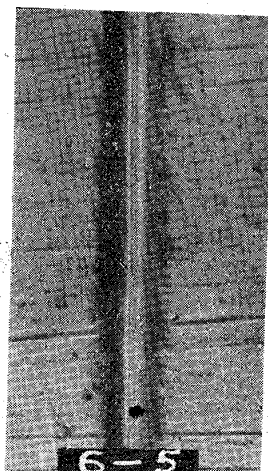
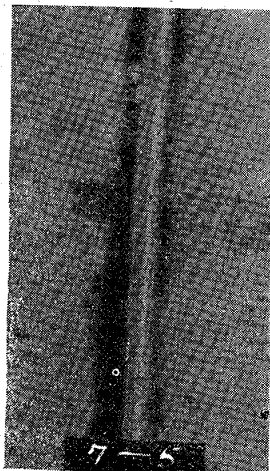
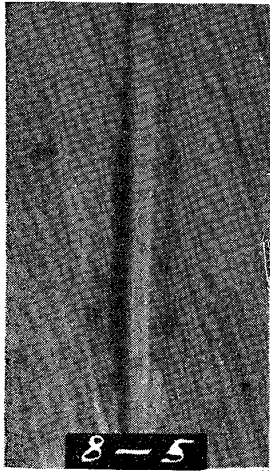


8-5

7-5

6-5

5



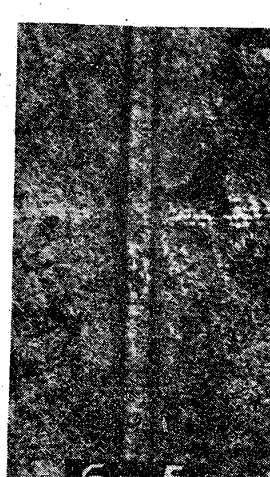
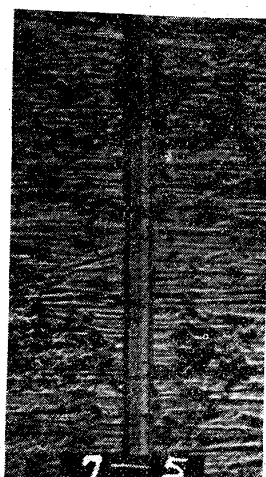
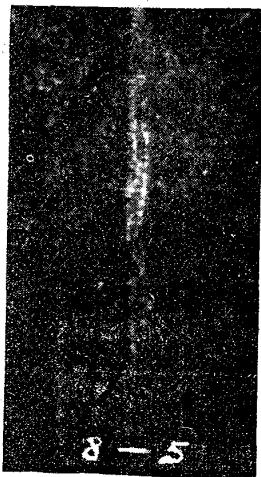
内
部
スクラッチ
硬度 (×300)

内
部
○スクラッチ
硬度 (×300)

8-5

7-5

6-5



外
部

外
部

8-5

7-5

6-5

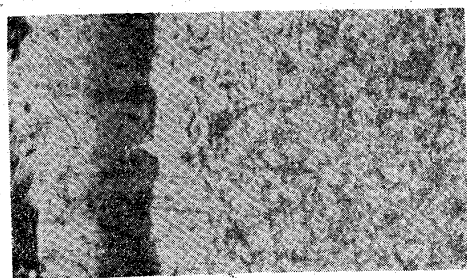
寫真圖第 1 1

610°C

5 時間

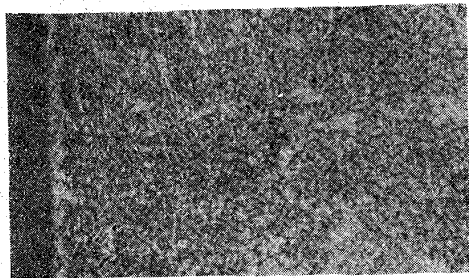
(各 ×300)

軟 鋼



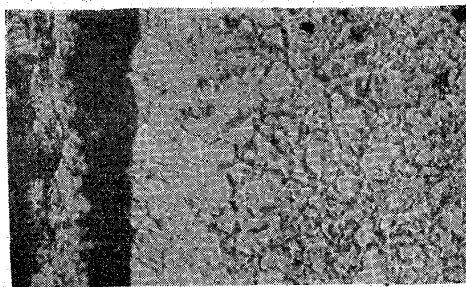
10-1

檢査用具鋼 2 號



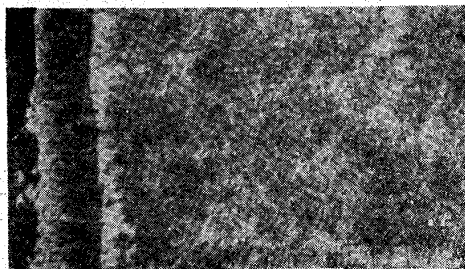
11-7

極 軟 鋼



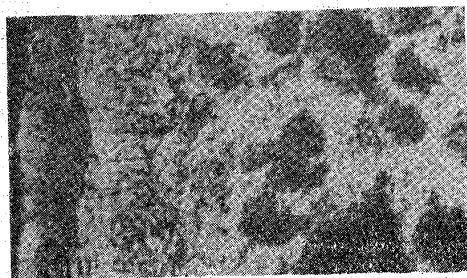
10-3

檢査用具鋼 1 號



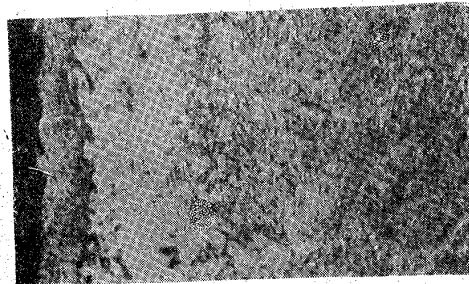
11-6

珪素滿俺鋼



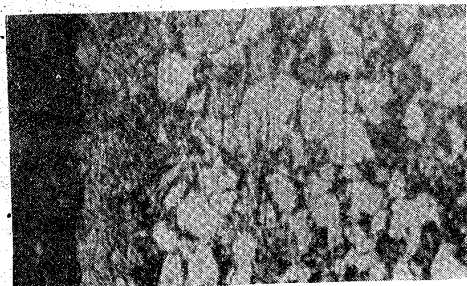
11-4

自動車鋼 3 號



10-2

クロムチタニウム鋼



11-2

クロム鋼 B



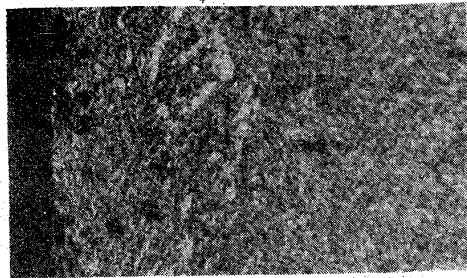
10-5

クロム滿俺鋼



11-1

クロム鋼 A



10-4

寫眞圖第 1 2

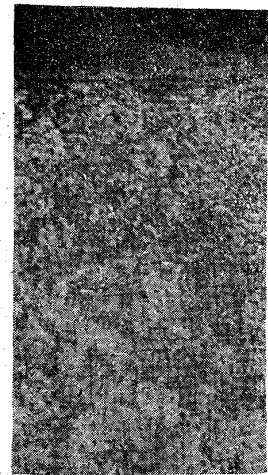
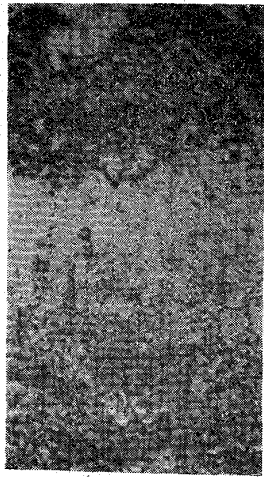
670°C

5 時 間 (各 ×300)

自動車鋼 3 號

クロム鋼 B

クロム鋼 A



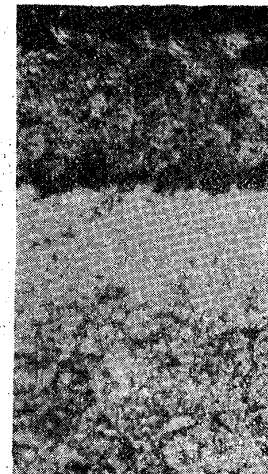
9-2

9-5

9-4

鋼 軟

極 軟 鋼



9-1

9-3

寫眞圖第 1 3

衝擊試料、破面



クロム鋼
窒化前

極軟鋼
窒化前

検査用具鋼
窒化前



クロム鋼
窒化後

極軟鋼
窒化後

検査用具鋼
窒化後