

### 3) 鍛材の缺陷に就て

(日本鐵鋼協會第 11 回研究部會講演)

吳海軍工廠製鋼部 伊木常世  
海軍造兵大尉 工學士

#### ON THE PROBLEM OF THE DEFECTS EN LARGE STEEL FORGINGS.

**SYNOPSIS:**—There are many kinds of defects in large special steel forgings and it is required for metallurgists and engineers to ascertain the cause or origin of these defects and take suitable measures against them.

A number of researches have been carried out in regard to this subject but superficially in former years. Recently every work in our country has given its attention to this problem and several papers have been published about it.

The author discripts mainly the condition of the occurrence of these defects and gives some discussions about the cause or origin of defects and its precautionary measures.

The contents of this paper are divided into the following sections:

- (1) Sand marks
- (2) Ghosts
- (3) Over-heating
- (4) Longitudinal fissures
- (5) White spots.

#### I. 緒言

特殊鋼材は國防上の兵器即ち造兵、造機、航空等の主要材料たるのみならず一般の機械構造上又重要なものなりとす。之に對する材質上の要求益々増大するに従ひ之が検査の方法も愈々嚴密の度を加へたり。然るに特殊鋼材の鍛造は頗る困難なることに屬し砂疵、ゴースト、白點等の如き缺陷の爲に不合格品を出すこと屢あり。

一概に鋼材の缺陷（地疵と通稱す）と稱するも其の發生し得べき時期を探究するに

1) 熔解鑄造作業 2) 鍛鍊作業 3) 熱處理作業の如く區別することを得べし。然るに缺陷の一、二を除くの外其れが上述の何れの階程に於て發生せるものなるや判然と區別し難く或は又其の何れの作業中に於ても發生し得と認めらるべきもの多し。例へば後述せんとする白點の如きは其の一例にして従て其の除去に對する方策も汎く各作業に涉り研究せらるべきものなりとす。

抑も熔解作業、鑄造作業は鋼材製造の根本とも稱すべく此の際に享有すべき鋼材の性質は之を人間に例せば先天性のものにして能ふる限り優秀なる鋼を生み出すことが爾後の諸作業に好影響を及ぼすべきこと論を俟たず、中にも氣泡、夾雜物等は當然、熔解鑄造技術者の全責任を以て排除すべき性質のものなりと謂ふも過言ならず。

更に又以下順次述べんとする諸缺陷に就ても從來其の責任を熔解技術者に歸せんとする傾向多き理由は其の原因の

明瞭ならざるものは得て其の責任を熔解技術者に歸せしむることの最も容易なるを以てなり。

熔解技術者にして氣泡、夾雜物等の除去に對して何等確信ある對策なしとせば鍛材に發生する諸缺陷を盡く此の兩者に關聯し説明せらるるとも敢て之に對し抗辯の餘地なしと謂はざるべからず。

鋼材に發生する缺陷の中其の第 1 階程とも稱すべきは氣泡なるが是等は鑄鋼塊の缺陷と認めらるべきものにして前 2 回の製鋼研究部會に於て山崎章氏、堀江鐵男氏、小平勇氏等に依て充分説明せられし所なるを以て筆者は實作業に於て從來屢々遭遇せる高級鍛鋼材の缺陷主として地疵と稱せらるるものに就て説明し併て之が對策に關して些か私見を述べんとするものなり。

#### II. 各論

(1) 砂疵 優秀鋼材中には可及的非鐵夾雜物（通常砂疵と稱す）を含有すべからざること當然なりと雖も鋼も工業的製品たる以上分子的砂疵の全然存在せざる大鋼塊を製造することは現在の冶金技術上不可能なることに屬す。砂疵は從來常に使用者側と材料供給者側との間に於て最も論争の中心となるものにして砂疵の出現せる材料の使用の能否に就きては當事者の公平適切なる判定を要するものなり一般に砂疵と稱するも其の成因を尋ぬるに

- (イ) 裝入物及爐體構造物より來れる非金属性物質
- (ロ) 熔解中に鋼の酸化に依て生ずるもの

- (ハ) Fe-Si, Fe-Mn 及特別の Mn-Si 合金、Al 等による脱酸生成物
- (ニ) 鋼滓の混入に依るもの
- (ホ) 注型作業中に機械的に入りたるもの

の如く種々原因を異にし従て出現状態も其の性質も趣を異にするもの多し。寫眞 1~3 は特殊鋼に現れたる砂疵の硫黄印畫にして仕上面に粟粒大の黒點となりて密集して現れ鋼塊の外側に近く存在し内部に進むに従ひ減少するを普通とす。又一般に砂疵は鋼塊の底部に近き位置に最も多く密集する場合多し。

砂疵が鋼材の機械的性質に及ぼす影響を調査する爲砂疵により廢品と決定せる材料につき抗張試験、反復屈曲試験を施行せる結果を示せば第1表及第2表の如し。

砂疵出現の状況は又鍛鍊法によりても異り圓筒材の如く

第1表 砂疵の材力に及ぼす影響 (特殊鋼)

	抗 張 試 験				反復屈曲 試験 屈曲回数
	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 %	断面收 縮 %	
外部の砂疵現 出せし箇所	87.0	97.2	11.4	25.3	225(5本)
外部の砂疵な き箇所	84.4	93.7	16.9	44.8	556(3本)
内部の砂疵現 出せし箇所	84.9	90.2	12.7	25.0	269(5本)
内部の砂疵な き箇所	75.8	85.6	16.5	42.4	498(3本)
備考	抗張試験成績は何れも2本宛の平均値を示す。 抗張試験片寸法径7mm 標點距離 25mm 反復屈曲試験片寸法(字留野式)厚2mm 幅 5mm 長さ 60mm				

第2表 砂疵(輕微なる)の材力に及ぼす影響 (特殊鋼)

	抗 張 試 験			反復屈曲 試験 屈曲回数
	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 %	
砂疵ある部	95.8	103.6	11.7	1,030
砂疵なき部	98.5	108.1	14.2	1,383
備考	3~6mm 以下の砂疵散在し使用差支へなしと認めらるるもの。 試験片寸法、抗張試験片、厚さ2mm 幅 5mm 長さ25mm 反復屈曲試験片、厚さ2mm 幅 5mm 長さ 60mm			

第3表 大中空圓筒外面の砂疵

		砂 疵 の 大 き (mm)						計
		3~95	1~1.9	2~2.9	3~3.8	4~4.2	6	
砂 疵 数	外國製 Ni鋼(A)	4,693	609	45	7	4	1	5,359
	外國製 Ni鋼(V)	1,937	130	13	1	1	1	2,084
備考	上記材料は何れも酸性平爐鋼にして其の機械的性質には殆ど砂疵の影響を認めず。							

長く鍛鍊するときは砂疵は長く伸ばされて現出すること寫眞4の如し。

之を要するに砂疵は鍛材を充分仕上て見るときは肉眼にても容易に検出し得べく或は又微細なるものも硫黄印畫法によれば容易に發見することを得、而して斯る鍛材の採否は砂疵出現の状態及製品の使用目的箇所等を充分考慮して決定すべきこと勿論なり。

第2表は長年使用して異状なかりし圓筒材の外部を仕上て肉眼にて幾何の砂疵を検出し得べきやを調査したる一例なり。

又第1圖は圓筒材料の砂疵分布状況を示すものにして砂疵は何れも大體に於て鋼塊の底部に近き部分、圓筒材料の底部側 500 乃至 1,000mm の間に密集し居ることを示す。本鋼塊の切捨量は何れも押湯側 25% 底部側 5% なり。

砂疵發生の原因を考察するに上述の如く熔鋼の脱酸生成物より來る場合少からず。従て電氣爐鋼と平爐鋼の如く熔解法に相違ある場合は自づと砂疵發生の状況に相違あるべきことを豫想せらるべし。即ち湯熱其の他の條件は双方相等しと考ふるときは電氣製鋼法に於ける脱酸方法は主として瓦斯状態として行はるるが故に平爐製鋼法に比して理論上砂疵少かるべき筈なり。

第1圖 A, B は酸性平爐鋼、C, D は鹽基性電氣爐鋼にして上記の事實を裏書し居ることを示せり。

砂疵の除去法としては可及的銹鋼の過酸化を防止し多量の脱酸劑を使用せざる様にすること材質湯熱、鑄鋼塊の大きさ等を考慮し注型操作を適切に調節することに依り其の目的を達成し得べし。

(2) ゴースト ゴーストの種類竝に其の成因に關しては「鐵と鋼」第13年(昭和2年)7月~12月號に蒔田博士の貴重なる研究論文あり。筆者は此の項に於ては主として吾人の通常遭遇するゴーストの中コーナーゴースト、輪狀ゴースト(緋りゴースト)及V狀ゴーストとに就き其の二、三の例を説明するに止む。

蒔田博士の説に従へば偏析の程度重く不均質の甚しきものは之を地疵として取扱ふを可とし其の程度の輕きものは地疵と稱するに到らず。即ち偏析の程度重く地疵として識別し得るものがゴーストなりと説明せらる。

(i) コーナーゴースト 鋼塊を軸の方向に鍛壓したる鍛材の表皮層を削り去るとき其の表面に幽線現はれ軸の方

向に長く蟠り肉眼にて充分認識することを得。此の經歷を驗するに此の線は角型鋼塊のコーナーに相當する箇所に出現するを以て此の名ありコーナーゴーストは多角鑄鋼塊外層の角隅内方に發生するものにして鋼塊横断面上にては半徑の方向に線状をなして存す此の成因に關しては既に蒔田博士の論文に詳述しあるを以て此處に喋々せず第4表及第5表にコーナーゴースト部の機械的性質を示す。

第4表 コーナーゴースト部の機械的性質 (特殊鋼)

	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	延 伸 %			反復屈曲 試験回数
			標 點 10mm	15mm	20mm	
ゴ-コ部	83.7	95.0	22.0	20.0	17.1	503
均 質 部	84.0	94.7	18.3	19.5	17.0	724
備考	試験片寸法					
	抗張試験片			幅	厚	長
	反復屈曲試験片			4mm	2mm	20mm
抗張試験は何れも4本反復屈曲試験は5本の平均値なり						

第5表 コーナーゴースト部の機械的性質

蒔田博士調査

材 質	試験片位置		降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 %	收縮 %
炭素鋼 (C=2%)	本素地	横	23.8	44.8	29.0	54.9
	ゴ-スト部	横	25.3	41.5	13.4	10.2
Ni-Cr鋼 (C=2.7% Ni=3.41 Cr=.41)	本素地	横	48.0	65.0	13.2	28.7
	ゴ-スト部	横	55.5	70.1	10.7	24.1
備考	試験片寸法(mm)					
				長さ	徑	
	炭素鋼			200	13.0	
Ni-Cr鋼			100	1.38		

コーナーゴースト部の反復屈曲試験

Ni-Cr-鋼

	最 大	最 小	平 均
本 素 地	612	467	545
ゴ- ス ト 部	378	157	247

コーナーゴーストを除去するには第一に熔解に際し不純物少き装入物を擇ぶべきこと勿論にして次に注型温度は餘り高過ぎる様注意すべきなり。

コーナーゴースト疵と砂とは其の出現条件全く相反對にして前者は注型温度高過ぎる場合に發生し後者は注型温度低き場合に多く出現するものと見て差支なし。此の點熔解、注型技術上慎深なる注意と經驗とを要する處なり。又コーナーゴーストの發生原因より見て明なるが如く鑄型の形

状を適當に選擇すべきことも重要な防止法なり。

(ii) 緋りゴースト又は輪狀ゴースト 緋りゴーストと稱するは鋼塊中層部に發生するゴーストを謂ふものにして、鋼塊の外層に發生するコーナーゴーストが一般に深くして柱狀結晶の全面に渉る面を形成するに反し緋りゴーストは其の厚味深からず長さも大ならず(普通50乃至100mm程度なり)唯各班線が多數に集合して鋼塊中層部に輪狀形をなすものなり。之が成因に就きても前述の如く蒔田博士の論文あるを以て此處に省略することとす(寫眞6.7参照)

第6表 (甲) 緋りゴースト部の機械的性質

材 質	緋りゴーストの有無	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 %	收縮	ハイスレ ル 衝 撃 lbs/in <sup>2</sup>	
Ni-鋼	無 縦	29.7	46.4	22.2	48.8	18.3	
	有 縦	29.1	46.6	19.9	40.8	20.8	
Ni-Cr-鋼	無	横	57.0	75.0	19.4	45.4	26.8
		縦	60.0	77.0	22.0	59.7	
	有	横	59.0	76.5	20.4	52.8	25.0
		縦	58.5	75.5	23.0	58.7	

(乙) 緋りゴースト部の反復屈曲試験

材 質	N 緋りゴースト なき部	G 緋りゴースト あるもの	G N × 100%	備 考
Ni-Cr鋼	385	326	85%	5本の平均値
炭素鋼	304	188	62%	7本の平均値
試験片寸法	厚さ 2mm 幅 5mm 長さ 60mm			

第6表(甲)(乙)に緋りゴースト部の機械的性質を示す。

之を要するに緋りゴーストは機械的試験に對しては抗張、衝撃試験等に於ては其の影響微量なるも反復屈曲試験に於ては平均80乃至60%位に減するものもあるも大體に影響少く且現在の冶金技術上よりすれば大鋼塊の製造に當りては之を全く絶滅し得ざるを以て緋りゴーストに關しては肉眼にて明かに裂疵を見出し得る場合の外使用し差支なきものと認む。

(iii) V状ゴースト 鑄鋼塊縦断面の中軸にV字狀のゴーストを有することあり。之は鋼塊の截断面にては素地と大差なけれども硫黄印畫に依るときは其の形象を顯すことを得。V状線に沿ひて時として小なる空窩を伴ふことあり。此の部分は其質粗にして鋼塊頂部に近き部分には偏析の量多し。此の種のゴーストは鍛鍊に際し横割れを導くことあり。其の成因に關しては英國鐵鋼協會委員會(The Journal of the Iron and Steel Institute 1927.)の

調査に依れば鋼塊凝固の除終りの狭き部分の残留熔鋼は冷却に従い容積の収縮に應じて下降し V 字状の引けを起し茲に共存せる不純物を偏析して遂に凝固すとせり。

蒔田博士によれば鋼塊の髓は凝固域に於ける急激なる容積収縮に依り椀状に窪み縦断面に於ては V 状を呈し凝固域進行中全凝固に近きときは V 状収縮に沿ひ結晶組織の弛開生する場合に残存せる液體偏析物は此の間隙に侵入して V 状ゴーストを形成す。而して弛開の填充せられざるものは空隙として存在すと説明せられたり。

(3) 雲模様 鍛錬鋼材の表面荒削中に寫眞 8 の加く白き層が現出することあり。其の状雲の如く見ゆるを以て雲模様と稱し居れり。寫眞 9、10 は鋼材の外面に現はれたるもの、寫眞 11 は其の横断面の硫黄印畫なり。此の層は鑄鋼塊の外側と同一形状をなして一定の距離に紙の如く薄き層状を呈して存在す。

此の部分の機械的性質は第 7 表に示すが如く異状なき部分と全く差異を認めず。

第 7 表 雲模様部の機械的性質 特殊鋼

	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 %	反復屈曲試験 屈曲回数
雲 模 様 部	86.8	98.8	24.3	682
常 態 部	87.5	98.3	22.1	660
備考	抗張試験片寸法 幅 45mm 厚 2mm 長さ 10mm 反復屈曲試験寸法 幅 5mm 厚さ 2mm 長さ 60mm			

(4) 過焼 (Burning 及 Over Heating) 過焼は明かに鍛錬作業に於て發生する缺陷なり過焼部の鍛錬粗材面は樹枝状或は網目状をなす大小多數の龜裂を生じ甚しきは坑溝を形成し一見して鋼を過焼したることを認め得。又型鍛錬或は穿孔せられたものにして厚き酸化膜に覆はれ易きものは之を除去することにより意外なる此の種の裂疵を發見することあり。過焼部の旋削量少なき場合は鍛錬表面に近き爲裂疵は其の面酸化せられ或は酸化物を夾在す。又材料の深部に於て過焼の影響輕き部分は寫眞 12 に示すが如き顯微鏡的の裂疵を形成する部分あり。又熱錬による歪力の爲に肉眼的の白點類似 (後述) の裂疵を形成し之が旋削面に現はることあり。されど前記の如き裂疵は次の諸點によりて白點と大體區別することを得。

(イ) 過焼によりて生じたる裂疵の外観は結晶粒の劈開面に添ひて生ずるものなるを以て樹枝状に屈折す。但し局部的には直線をなすものあり。

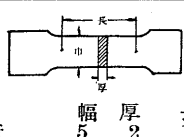
(ロ) 之を破碎すれば断面粗き結晶状をなし然も白點の

如く圓形となりて現れず。

過焼により結晶粒の劈開面著しく阻害せられたる部分は抗張試験に於て強度著しく低下し且其の成績に不同あり。又衝擊反復屈曲試験に於ても同様なり。

硬度試験に於ては其の程度抗張試験程著しからざるも脱炭による影響の爲か硬度數一般に低下す(第 8 表参照)

第 8 表 過焼材料試験成績の一例 特殊鋼

	抗張試験	抗張試験		伸 %	衝擊試験 アイ ゾット lb/ft	反復屈 曲試験 屈曲回 數	硬度 ブリ ネル
		降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>				
過焼部	横	—	87.2	3.0	12.5	784	202
	縦	—	65.9	0.7	43.5	80	
健全部	横	—	101.0	18.0	42.5	842	318
	縦	90.8	101.6	16.8	42.2	846	
試験片 の寸法 並に位 置					10 × 10 × 100 mm	5 × 2 × 60 mm	表面よ り 6-11 mm
	横	幅 5 厚 2		長 15			
	縦	幅 12 厚 3		長 40			

鍛材の過焼されたるものを調査するに圓筒材は概ね其の周囲の 1 部を長さの方向に侵され鋼材にありては過焼は殆ど全部縁又は角隅の部分に限らる。圓筒材にありては爐の火焰を最も強裂に浴する部分又鋼材に於ては縁或は角隅部が最も焼け易きは當然なり。灼熱爐に於ては最高灼熱温度に嚴格に保持せらるべきは勿論、爐のボートの位置と材料との關係等に就きては細心の注意を拂ふことを忘却すべからず。

(5) 鋼材の縦割 鑄鋼を注型の際熔鋼が甚しく荒れて居る場合或は注型温度が著しく高温過ぎし場合又は注型操作に失敗ありし場合等には鑄鋼塊其の物に縦割れ或は横割れの生ずることは周知の事實なり。

(i) 大型鍛錬の内部縦割の一例 (其の 1) 此處に述べんとするものは輕き荒鍛錬を施行したる大鋼塊を加熱せる場合に生じたる龜裂の原因を調査せる結果なり。

本材料は分析 C=26% Ni=3.35% Cr=73% なる普通の Ni-Cr 鋼に屬する大鋼塊なり。

割疵の發生狀況：一鋼塊を豫備加熱爐に於て 250°C に 2 晝夜保持し次に温度約 400°C の灼熱爐に於て鍛錬の爲を加熱せんとせしに入爐後間もなく音響を發したるを以て直ちに引出し檢したるに鋼材の内側に寫眞 13 の如き縦割を發見せり。

原因調査：—(イ) 硫黄印畫には異状なきが故に偏析とは

關係なし。

(ロ) 腔削しコアを破碎せるに甚だ粗き結晶を見る。(寫眞 14 参照) 依てコアより試験片を作り之を其の儘の状態と焼鈍替せるものと僅か鍛錬せる後焼鈍せるものと3様に比較試験を行ひたる結果は第9表の如し。

第 9 表 粗粒材料の試験成績 Ni-Cr 鋼

試片	熱 處 理	試 片 號	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 %	斷 面 狀 態
受入の儘	830°C×12時間 700°C×15時間 (溫度未詳)	縱 1	—	37.1	0.9	Cr
		縱 2	—	39.7	0.7	〃
		横 1	—	34.0	0.7	〃
		横 2	—	22.0	0.4	〃
焼鈍替	850°C×12時間 650°C×15時間	縱 1	39.7	58.7	4.1	G <sup>f</sup> FW
		縱 2	37.9	65.8	11.6	〃
		横 1	37.7	58.8	5.8	〃
		横 2	38.0	56.3	3.5	FG <sup>c</sup>
鍛錬直後焼鈍	850°C×12時間 650°C×15時間	縱 1	44.3	72.9	22.3	F
		縱 2	44.6	73.9	22.1	〃
		横 1	43.6	66.0	4.3	G <sup>f</sup>
		横 2	43.9	66.8	4.5	G

縦割れの原因竝に對策：—以上の結果より考察するに本鋼材に生じたる縦割れの近因は鋼材の豫備加熱にありたりとは云へ素因は原鋼塊が既に健全とは云ひ難かりしこと更に鑄鋼塊より鋼材とする道程の取扱即ち荒鍛錬及焼鈍操作の充分ならざりし點にありと認めらる。之が對策としては結局健全なる鋼塊の製造、大鋼塊に於ては中心部迄鍛錬の影響あるが如く荒延鋼材の寸法を定むること、荒延後の焼鈍を完全にすること、豫備加熱及灼熱には充分の注意を拂ふこと肝要なり。

(ii) 鍛材の内部縦割疵の一例(其の 2)

疵の發生狀況：— 本鋼材は Ni-Cr 大鋼塊を荒鍛錬後徑 360mm の腔削をし之を徑 775mm に盲鍛錬せる後頂部端の餘材 2,250mm を切斷せしに寫眞 15 に示すが如き裂疵現出せり。依て此の深さ、長さを檢する爲餘材を薄く切斷し疵の傾向を調査せる結果は第 2 圖の如くにして全長約 2,410mm 最大幅 360mm にして疵は大體に於て粗材断面の中心に位置し縦走するも鋼塊底部側に進むに連れて漸次中心を離れ側面に偏せり。

原因調査：—

(イ) 破碎試験 寫眞 16

(ロ) 硫黃印畫 裂疵部はスケールを咬まざる部分に於

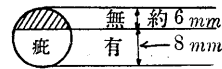
ても反應なく白線として現はるる外偏析状態に異狀を認めず。

(ハ) 裂疵部の化學成分 第 10 表(甲)

第 10 表(甲) 裂疵部の化學成分

	C	Si	P	S
疵 の 部 分	0.15	0.21	0.027	0.022
無 疵 部	0.27	0.19	0.026	0.022

第 10 表 (乙) 裂疵部の機械的性質

	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 %	收縮%	ブリネル 硬 度
無 疵 部	41.4	70.5	14.3	2.1	196
疵 部	—	28.0	2.0	4.2	197
備 考	疵部試験片切斷狀況 				

分析の結果疵の部分は C 含有量著しく僅少なり。之れ多少表面酸化の影響を受けたるものあらんも後述する如く裂疵部附近は不純物多數存在する結果炭素を排除し其の附近にフェライトの結晶層を作れるものなるべし。

(ニ) 物理的試験 裂疵部は全然強力を有せず。第 10 表(乙)

(ホ) 檢鏡試験 腐蝕せずに檢するに裂疵の兩側に沿ひて不純物の微粒多數存在するを見たり。ピクリン酸にて腐蝕せるに地は粗きパーライトにして裂疵附近は遊離フェライトなり。(寫眞 17 参照)

縦割原因の推定：—不純物の微粒が多數集積せる斷層が鋼塊の頂部中央縦方向に存在し之が鍛錬による外力又は内の移動の爲に、或は鍛錬前後の熱變化による歪力の爲に弱點部を基點とし穿孔内面に裂疵を生じ爾後の鍛錬が繰返されるに從ひ次第に其が發達せるものと認めらる。之は所謂白線ゴーストとも稱すべき性質のものなり。

(6) 白點 特殊鋼 殊に Ni-Cr 鋼材内部に出現する最も有害なる白點と稱する材質的缺陷は其の成因に關し現在も諸説あり。

(a) 定義、白點とは外國に於て Silvery spot, Snowflakes, Scab, Lemon spot, Goose eggs, Silverstreaks, Hair-Line Cracks, Flocken 等と稱せられ多くは寫眞 18, 19 に示すが如き白色の圓形狀を呈し鋼材(殊に Ni-Cr 鋼)の内部に出現する材質的缺陷なり。其の形狀は鍛錬の方向の如何に拘らず多くは圓形にして一般に偏析とは關係なく出現すれども時には偏析を起點として出現す

第 11 表 白 點 の 成 因 に 關 する 諸 研 究 者 の 意 見

研 究 者	論文發表の年代	白點を認めたる鋼種	白 點 の 成 生 原 因
Styri	1919	Ni-鋼 高 C-Cr-鋼	鋼滓の集積
Thuum	1919	—	同 上
Giolitti	1919	低合金鋼	フェライトの集積 $Fe_3C$ は鋼滓の集積によりて還元せられフェライトの集積を導く
Miller	1919	—	フェライトの集積但し鋼滓の少量が脱酸能大なるを疑ふ。
Sommer & Rapatz	1919	—	フェライトの集積
Clayton 其の他	1920	Ni-鋼	鍛冶温度高く部分的過熱合金成分及炭素の再溶 3 氏は鋼滓包蔵を初因とせず收縮及歪による裂罅、白點は鋼塊中の粗大結晶に沿ひ鋼滓は斯る樹狀晶と並行することあるも白點成生の主因ならず。 鍛冶中の冷却に依る歪を主因とし包含物も幾分乏に關す。
Rawdon, Howe, Crouse.	1920	Ni-鋼 Ni-Cr-鋼	
Hultgren	1920	Cr-鋼	
Bardenheuer	1925	Ni-Cr-鋼	冷却不同の際 $Ar_3$ にて生ぜし裂罅とし鋼滓は之を助成す。
K. W. Inst. für Eisenforschung	1925	Ni-Cr-鋼	$Ar_3$ を通過し冷却する際パーライト部及マルテンサイト部に起る容積變化の差によりて生ずる裂罅
Aichholzer	1928	Cr-鋼	熱間裂罅による粗大破面とす。
Benedicks	—	—	温度不均等に原因し $A_3$ にて生ずる裂罅とす。樹狀晶は内側部に於ける合金度高きものと粘着力小
Ashdown	1930	Ni-Cr-鋼 Ni-Mo鋼	質量効果を主因とし偏析は認むるも白點に關係なし。
武林	1931	Ni-Cr-鋼	鋼塊凝固の際の第一次結晶に關係あり。
Sauerwald, Gross, Neuendorf	1933	—	熱的歪、鍛壓の内力、體積の變化に伴ふ内力を主因とし偏析は二次的に之を助成す。

ることあり。然れども白點の名稱に種々あるが如く出現せる形状も必ずしも圓形ならず往々にして微小なる雪片状を呈し現出することもあり。吾人は圓形ならざるものを白色微小點と稱す。

白點の部分は純然たる割疵なるを以て抗張試験の際は著しく伸を低下せしむ。此の缺陷が一度出現するときは同一鋼塊全部に亘りて此の存在することを暗示するものにして重要な材料として使用することは危険なり。

(b) 白點の成因に關する諸説 白點が問題となり始めしは特殊鋼(殊に Ni-鋼)を廣く利用し始めし頃よりのことにして歐洲大戰後に多く此の問題に遭遇せしものと見て差支なし。従て之が成因等に關する文献も 1919 年以後に多く白點の成因に關しては從來諸説ありて今尙確説なし。第 11 表は各研究者の主張せる所を集録せるものなり。

第 11 表の諸説を要約するに結局白點の成因に關しては偏析、夾雜物等によると云ふ説及歪説とありて各論者の説く所夫々一理ありと雖も最近は歪説が次第に信ぜられつつある傾向あり。

殊に白點が鍛鍊の形状の如何に拘らず多くの場合圓形の輪廓を有し且平面なることは其の發生時期が鍛鍊終了後なることを示すものと見て差支なかるべく筆者も寧ろ此の説は賛成する者なり。

Ashdown 氏 (The Iron Age 1930 P. 1380) は 3 稜の鋼塊を中心より縦に割り片側を徑 150mm の棒に鍛鍊せり。斯る鍛造法に依れば丸棒の或側に於ては内部より却

つて外側部に偏析多しと考へらるるに實際は却つて棒の中心軸の周圍にのみ白點を發見せりと謂ふ。斯る事實より見るも白點が主として偏析或は夾雜物に起因すと謂ふ説には同意し難し。然れども吾人は偏析或は夾雜物も第 2 義的には白點殊に密集せる微小白點の生成には關係を有すべしと推察するものなり。

(c) 熔解鑄造法の白點發生に及ぼす影響 白點發生の時期如何に關しては上述の如くの異説あれども熔解鑄造法の影響も亦頗る大なりとす。吳海軍工廠製鋼部武林造兵中佐は「鐵と鋼」第 17 年第 5 號 (昭和 6 年 5 月號) に主として熔解技術者としての立場より見たる論文を發表せられたり。同氏に依れば白點の主原因は注型時に生じたる結晶粒に關係あるものにして高温注型をなすときは結晶粒粗大となり且鋼塊凝固の際は熔鋼の温度の高き程内外の凝固速度一樣ならず鋼塊内部に歪力を生じ之が爲に結晶粒の周圍に弱點を生じ鋼塊を荒鍛鍊後焼鈍冷却する際に斯る弱點が起點となりて割れ白點の素因を作るものなりと謂ふ。

熔解法の相違による白點發生の狀況に就きては Margeum 氏 (Metal Progress 1934 年 5 月號) は米國に於ては鍛鍊砲身鋼素材を酸性平爐に依りて製造したる場合よりも鹽基性電氣爐にて製造せる場合に白點を多く發生することを敘述せるが吾人の經驗に依るも同様の傾向あるやに見受けらる又 Ashdown 氏は熔解法の相違は必ずしも白點の發生に影響せずと謂へり (Metal Progress 1934. 8 月)

(d) 鍛造法の白點發生に及ぼす影響 白點の成因が質量効果による熱的歪に起因すと謂ふ説をなすものは鍛造法が白點の發生に重大なる影響を及ぼすもの如く考へ多く中空鍛鍊、中實鍛鍊の兩方法を比較せり。即ち Ashdown 氏、Greaves 氏等は中空鍛鍊、中實鍛鍊何れの場合にも同様に白點を發生すと謂ひ (The Iron Age 1930 P. 1381) T. M. Service 氏に依れば (The Iron and Coal Trades Review 1931 P. 358) 總計 49 本の粗材を同一狀況に於て熔解鑄造し内 25 本は中實鍛鍊、34 本は中空鍛鍊を施行せる處前者の中 13 本には白點を發見したるに後者に於ては全然白點を發見せざりきと發表せり。

又吾人の經驗に依れば中空鍛鍊法に依るときは絶対に白點を生ずる憂なしとは謂へざるも中實鍛鍊法に於ては白點廢品率が 38.1% なるに中空鍛鍊に於ては僅かに 7.3% なるを見ても中實鍛鍊法が白點現出の可能性多きことは明白なり。(第 12 表参照) 白點の發生原因が鍛造後の冷却法の如何にありとすれば中空鍛鍊せるものに白點の發生少きことは首肯し得べき事實なり。

(e) 白點部の機械的性質 白點部の機械的性質は白點の抗張試験片に現出する程度に依りて異なる。(第 13 表参照)




第 12 表 鍛造法と白點廢品率との關係  
Service (The Iron and Coal Trades Review Feb. 1931)

	中空鍛鍊	中實鍛鍊
粗材製造數	24	25
白點廢品數	0	13
白點廢品率	0%	52%

吳

	中空鍛鍊	中實鍛鍊
粗材製造數	41	21
白點廢品數	3	8
白點廢品率	7.3%	38.1%

第 13 表(甲) 白點部の機械的性質 Ni-Cr 鋼

	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	伸 %	收縮%	白點現出狀況	
常態部	57.1	76.0	22.6	54.0	なし	
疵部	(1)	49.4	53.5	3.8	—	 白點 <sup>1</sup> / <sub>3</sub> 60° 傾斜
	(2)	—	55.0	2.7	—	 白點 <sup>2</sup> / <sub>3</sub> 60° 傾斜
	(3)	—	40.7	2.7	—	 白點殆ど 全面 60° 傾斜

第 13 表(乙) 白點部の機械的性質 Ni-鋼

	降伏點 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	伸%	收縮%
規格下限	45.7	67	18	30
良試片	48.0	72.8	19.4	37.5
白點部	48.0	68.8	11.6	20.5
備考	成分 C=0.38% Ni=2.9% Cr=少量 (Chem. and Met. Eng. March 1, 1919)			

一般に抗張試験片に白點出現するときは著しく伸及斷面收縮率を低下せしむ。

(f) 再鍛鍊に依り白點を除去し得るや否や

Ashdown 氏 (Metal Progress 1933. Nov. P. 12) は次の如き理由に依り鍛鍊材に一旦白點の出現することあるも之を全然スクラップとする必要なしと謂へり。即ち内部に存在する白點は全く酸化し居らざるが故に鍛鍊溫度に於ては完全に熔接せられ斯の如く火造り直しせるものを肉眼或は顯微鏡を以て検するも組織は均質にして又横試験片を採取するも普通の物理的性質を示す。中實鍛鍊に於ては徑を小にし中空鍛鍊に於ては心金を入れて徑を膨大せしむ。但し再鍛鍊せるものは其の後再び白點の出現せざる様取扱に充分注意すべきこと勿論なり。

Eilender, Kriesler 兩氏も Ashdown 氏と同意見なり。

Margerum 氏 (Metal Progress May 1934 P. 36) は白點は再鍛鍊によりては全部消滅せしめ難しと謂へるが後述の如き吾人の經驗によるも白點は再鍛鍊により大部分は解消せしめ得たれども全然其の痕跡なしと斷ずること能はず。

再鍛鍊に依り白點が除去し得らるるやの實驗

(イ) 試材：一本實驗に使用せし試材は寫眞 20, 21 に示す如き破斷面に白點現出せる Ni-Cr 鋼 A, B なり。

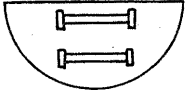

(ロ) 再鍛鍊及熱處理：一 要領第 3 圖の如し。

(ハ) 破碎試験：一 (ロ) の如き鍛鍊及焼鈍を行へる兩材を破碎して其の斷面を検するに寫眞 22 に示すが如く白點を認め得ず。猶兩材の横斷面を仕上て硝酸にて腐蝕せしも寫眞 23 に見るが如く肉眼的には白點特有の毛狀裂疵を認めず。

(ニ) 物理試験：一 上記兩材より抗張及衝擊試験片を採取し機械的性質を調査せり。(第 14 表参照)

上記の如き實驗の結果より考察するに再鍛鍊によりて白點は殆ど治癒し得べしと雖も顯微鏡的白點を絶無ならしむ

第 14 表

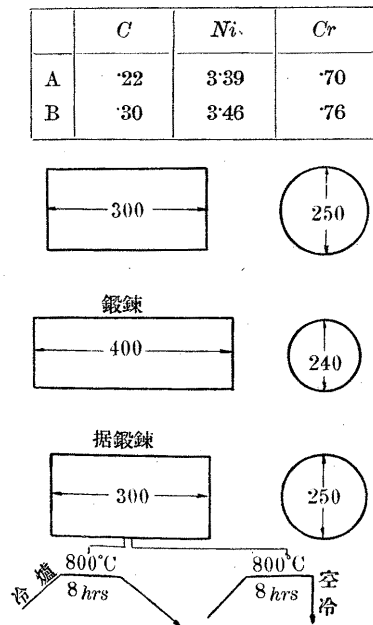
		降伏点 kg/mm <sup>2</sup>	抗張力 kg/mm <sup>2</sup>	伸%	断面收縮 %	衝撃値 ft-lb
A	1	45.5	69.8	21.0	44.3	48.4
	2	45.5	68.8	26.0	49.0	58.7
B	1	73.9	90.2	13.5	29.6	9.6
	2	74.1	92.0	12.0	30.8	9.1
備考		A の衝撃試験片断面に白色微小點存在す。 B の抗張試験片断面に " あり。				
試験片位置						

ることは不可能なるが如し。

(g) 熱處理と白點との關係

白點が鋼材内部に於ける龜裂なりと推定せらるる以上熱處理に依て之を消滅せしむること能はず寧ろ反對に白點は熱處理作業に於ても發生し得る機會あり。健全なる材料と

第 3 圖



雖も特に苛酷なる熱處理を施し大なる熱的歪を起さしむるときは白點を發生せしめ得べしとの推論の下に次の如き亂暴なる實驗を試みたり。

(イ) 供試材 Ni-Cr 鋼の徑 425 mm 長さ約 700 mm の材料を採り A は長さの方向に徑 180 mm 深さ 435 mm

穿孔し B は穿孔せず其の儘使用す。

(ロ) 實驗方法

A. 試材を煖爐にて 830°C に 4 時間加熱して後取出し穿孔部を下にし直立せしめ上半部は可及的冷却せざる様外部よりタウン瓦斯にて熱し下部よりシャワーを注ぎて冷却す。約 20 分にして其の表面温度は下部は 70°C 上部は 570°C 中部は 420°C に低下せり。

B. 同様に加熱して爐より取出し上部をタウン瓦斯にて加熱することは大なる効果なきを以て之を止め下半部より

シャワーを注ぐのみにて冷却せり。約 25 分間にして表面温度下部は 100°C 上部は 470°C に低下す。

斯る處理をせる材料の中央に近き部分より圓板を截取し破碎せるに試材 B には微小なる白點? を認めたり。即ち健全なる材料と雖も上述の如き苛酷的歪を起さしむるときは白點を發生せしむることを得べし。

(h) 白點の檢出法 粗材を仕上たる場合に細き毛狀龜裂の存在するときは白點の存在を裏書するものなれども望遠鏡等を以て内部を覗き其の存在を發見することは容易ならざることなり。白點を發見する方法としてはマクロ腐蝕をして見るときは容易に發見することを得。又 Ashdown 氏は磨きたる面を油にて浸し暫くせる後過剰の油を拭ひ去り表面に白粉を塗り少しく温むるときは白粉を塗りし部分が着色せしむることにより白點の存在を判定し得と謂へり。

大中空圓筒材等の内部検査には充分に疵見に對し熟練せる者をマツトに載せ其の内腔内に引込みて検査せしむること最も安全なりとす。

(i) 白點防止に關する所見 筆者は白點は鍛材の冷却に際し生ずる熱的歪に基因する裂罅にして鋼塊の偏析は第 2 次的に然も相當有效的に白點發生を助長するものなりと信ず、斯の如く原因を推定するときは特殊鋼に白點の發生し易きこと及大鋼塊に於て白點を多く認めらるること等は質量效果、偏析度等と相關聯して説明することを得べし。

之を要するに白點の原因が遠く溯りて熔解鑄造作業に關係ありとすれば其の如何なる鑄解方式たるを問はず (イ) 鑄鋼の温度を高くし (ロ) 之に充分なる熔解時間を與へ (ハ) 大鋼塊の鑄込に當りては可及的注型温度を低くし凝固時間を減少せしめ凝固による鋼塊内部の残留歪を極力少からしむる等周到なる注意が肝要なり。

又爾後の鍛鍊、熱處理等の作業に於ても特殊鋼は其の取扱を慎重にし Ashdown 氏の謂へるが如く鍛鍊後は特に徐冷することが白點防止の重要な一方策と謂ふべし。又或は鍛鍊後の冷却のみならず鍛鍊前に於ける灼熱も白點發生に重大影響あるを以て一定温度に長時間加熱し以て偏析物を擴散せしむべしと主張するものもあり。

事實論として良質鋼塊と雖も其の取扱を亂暴にするときは白點の發生することあるべく又相當不均質なる鋼塊と雖も爾後の處置が當を得たるときは必ずしも白點を發生するものに非ず。



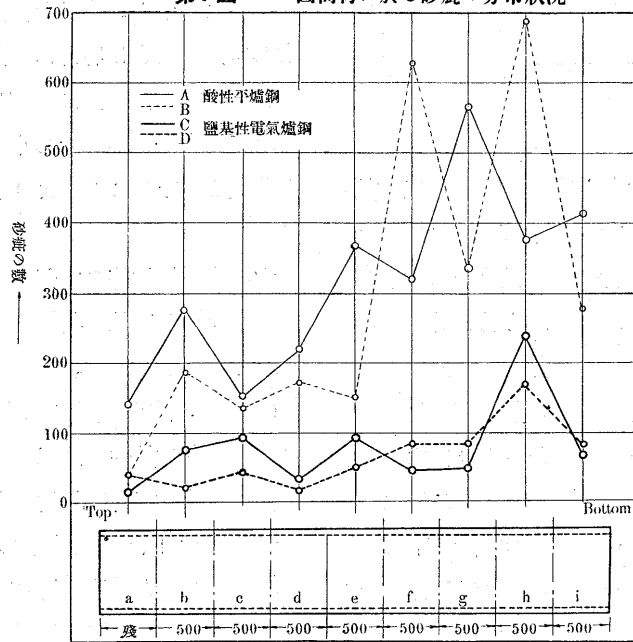
### III. 結 言

筆者は鍛材の缺陷の原因は上述の如く其の殆ど全部が熔解、鑄造、鍛鍊、熱處理等の諸作業に相關聯し従て缺陷の防止は或一局部擔當者のみの努力に依りて之を全うすべきものに非ず、要は各作業擔當者が其の分に應じ相互聯絡協調することに依りて始めて其の目的を達成し得べきものなることを信じて疑はず。

特殊鋼材の缺陷に關しては昨年學術振興會に於て特に小委員會を設置せられ之が原因竝に除去方策の探究に着手せられたることは誠に時宜を得たる企と謂ふべし。

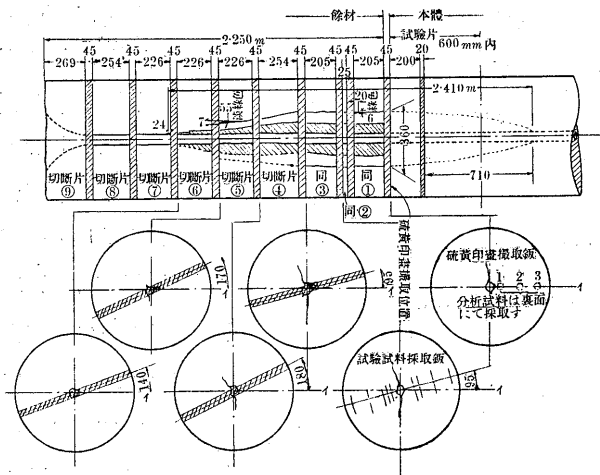
本報文は全く事實の羅列に過ぎず諸缺陷の確たる對策に就ては更に述べたる所なしと雖も多少なりとも關係者の參考ともならば幸甚なり。終りに本報文を纏むるに際し多くの御助言を與へられたる製鋼部長竝に宇留野技師以下製鋼部部員各位に深く感謝の意を表す。(終)

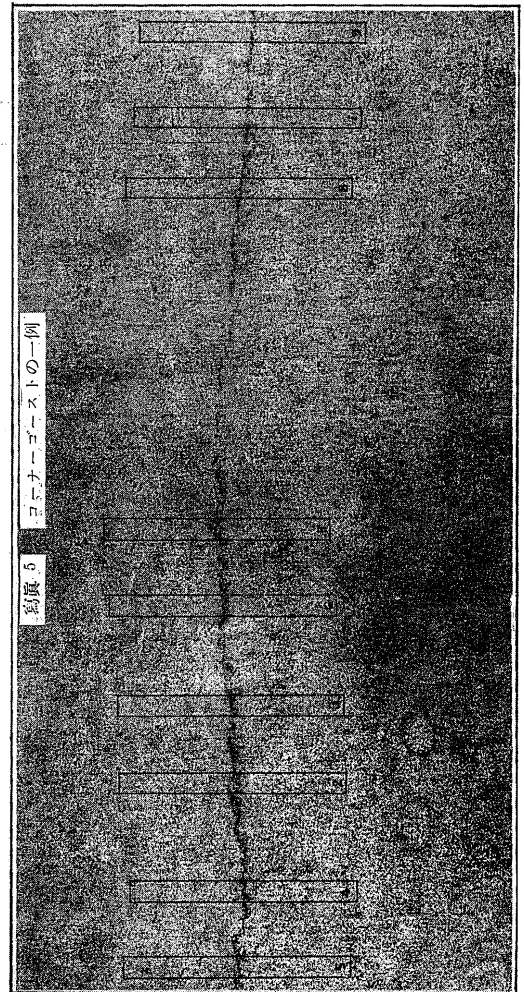
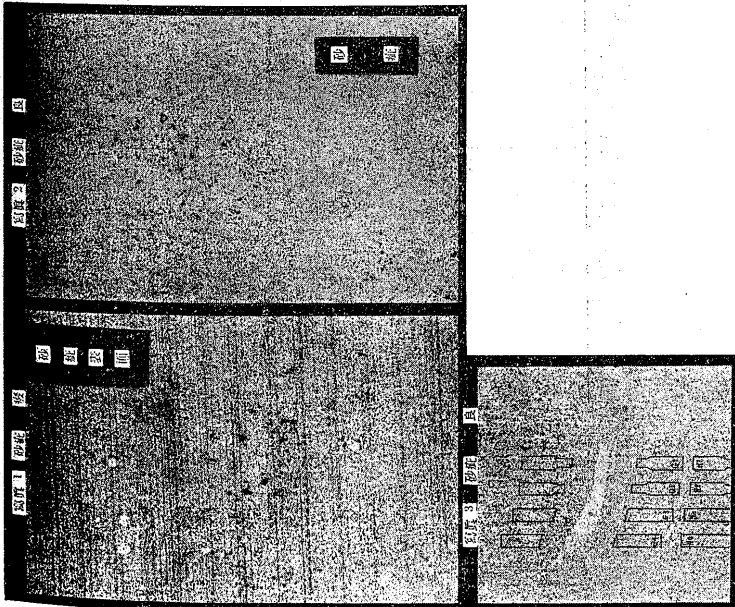
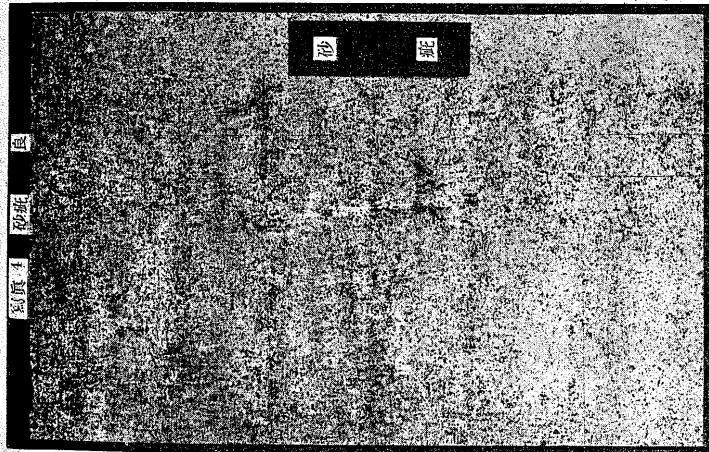
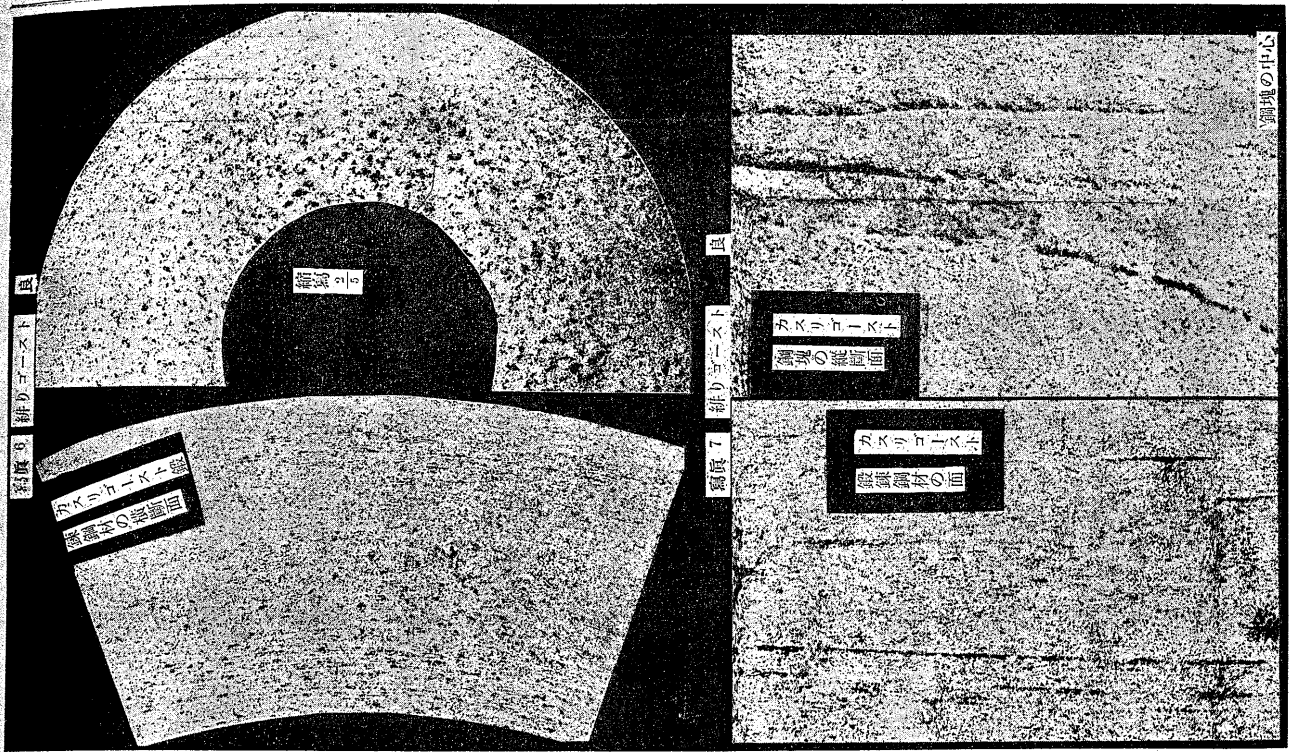
第1圖 圓筒材に於る砂疵の分布狀況



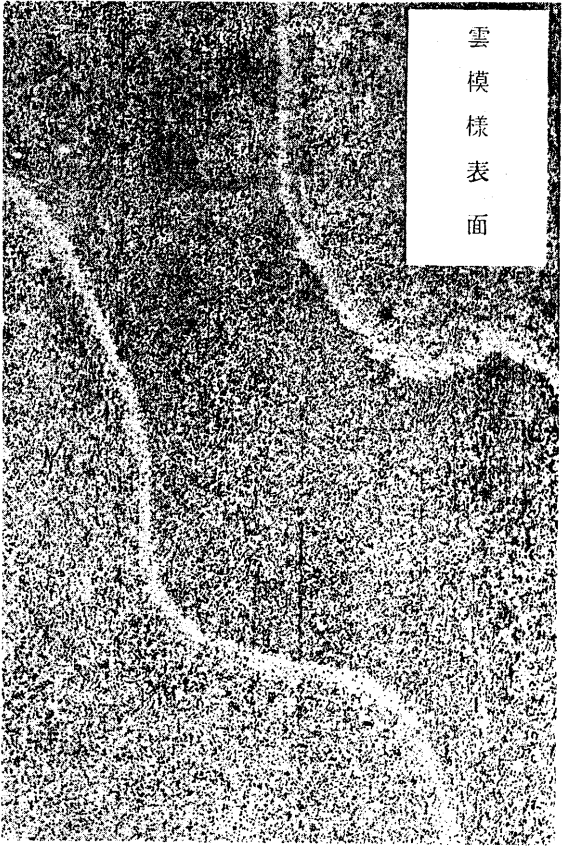
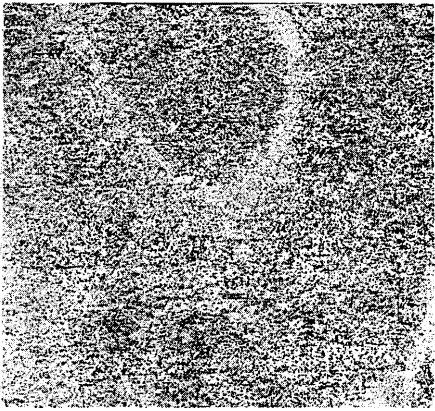
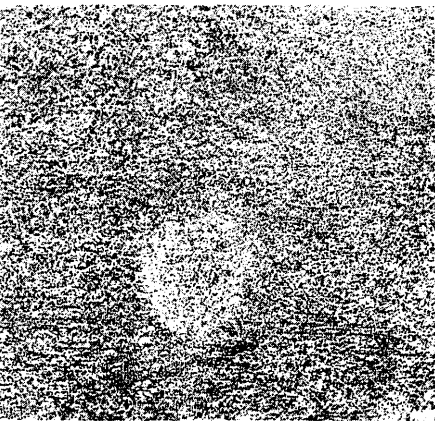


第2圖 圓筒材裂疵部の形狀見取圖

- ~~~~~ 裂疵部(破碎斷面に於ける)形狀を示す
- ..... 裂疵存在位置の想像圖を示す
- //// 切斷位置を示す





寫眞 8 雲模様(荒削表面) 良	
輪狀鍛鍊材内部のカスリゴースト	
	
寫眞 9 雲模様 良	寫眞 10 雲模様 良
 <div style="position: absolute; top: 50%; left: 50%; transform: translate(-50%, -50%); border: 1px solid black; padding: 2px;">雲 模 樣 表 面</div>	 

寫眞 11 雲模様 良

鋼材の横断面に表はるる雲模様

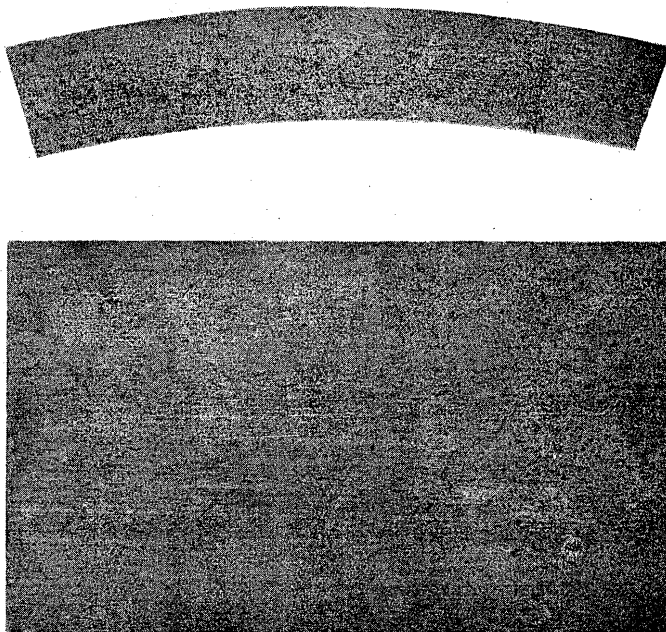


Brinell H. N	
A 表面より 6 m/m	B 表面より 11 m/m
	302
	302
300	302
302	300
300	300
300	301
302	302
	302
	302
平均 301	平均 302

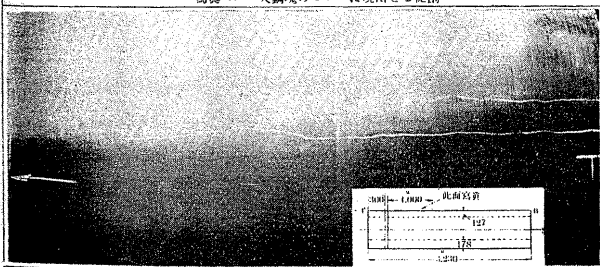


寫眞 12 過熱材料

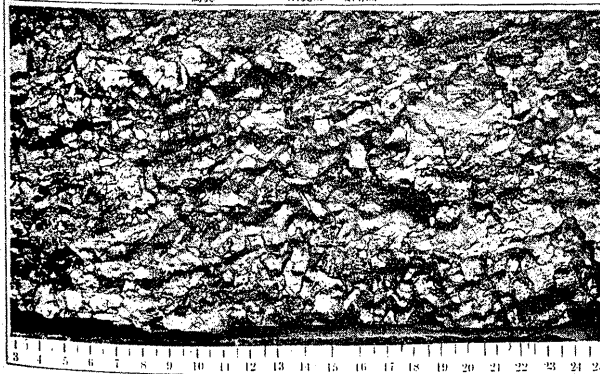
昭和 5-11-15



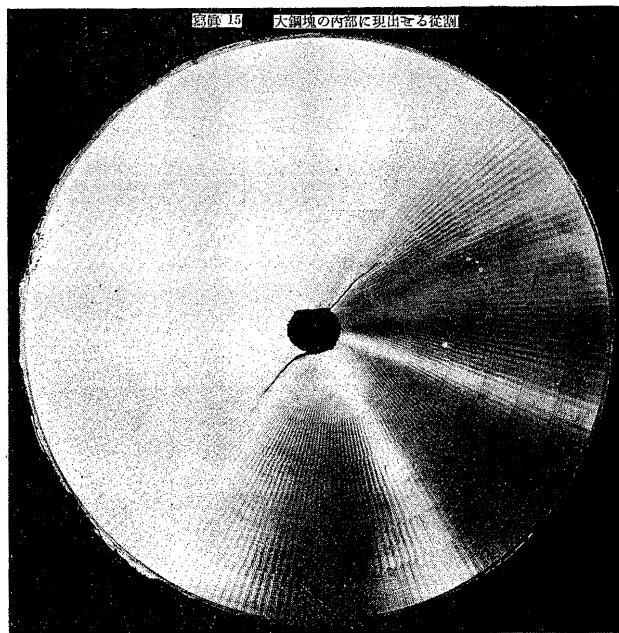
寫眞 13 大鋼塊のコーに現出せる従割



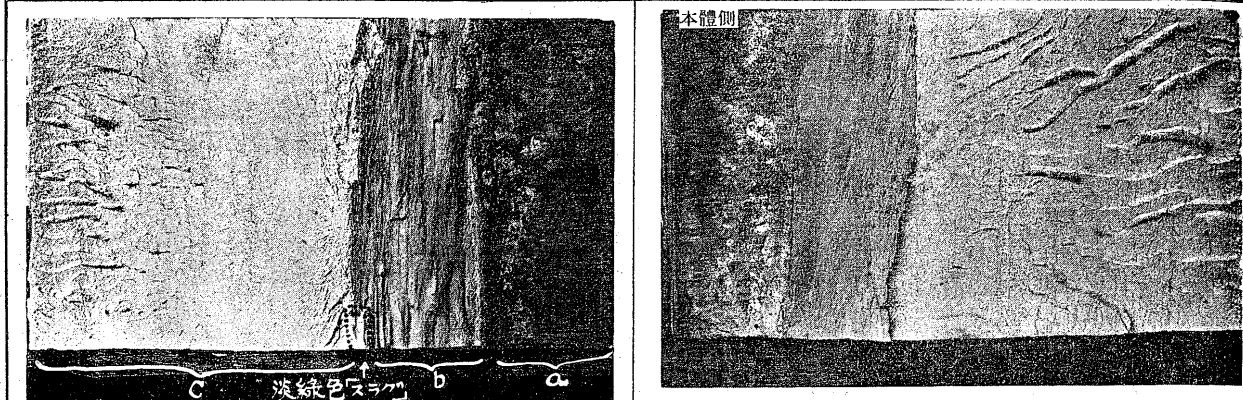
寫眞 14 13 の割疵部の破断面



寫眞 15 大鋼塊の内部に現出せる従割



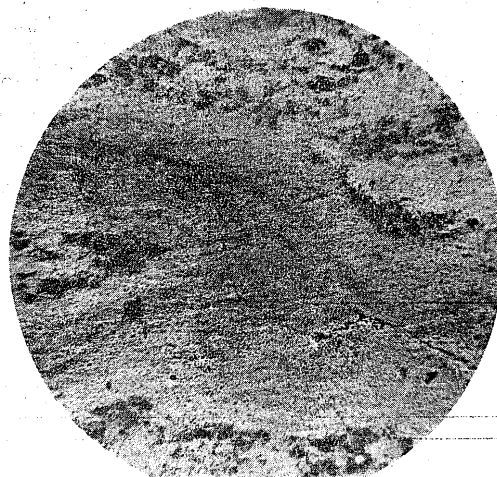
寫眞 16



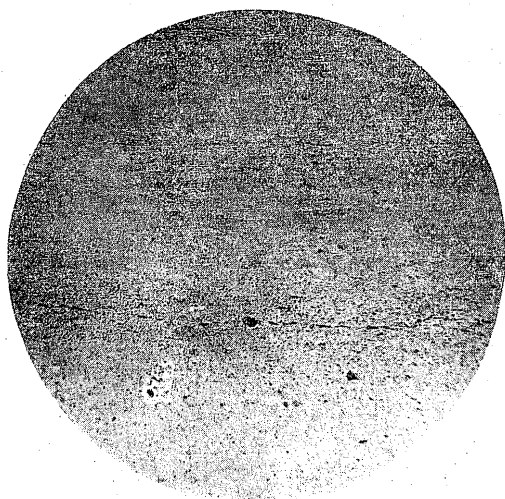
寫眞 17 裂疵部顯微鏡寫眞(ピクリン酸×30)

A 試料 M<sub>3</sub>

C 試料 M<sub>2</sub>

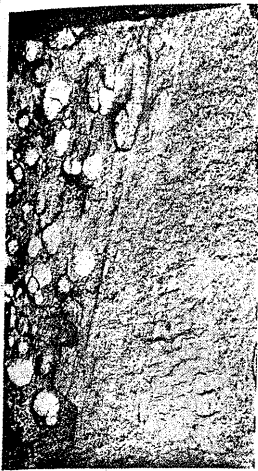


B 試料 M<sub>2</sub>



寫眞 18 白點

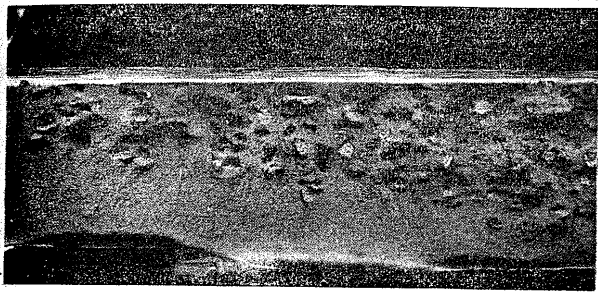
圓筒鍛鍊材を横に切斷したる面



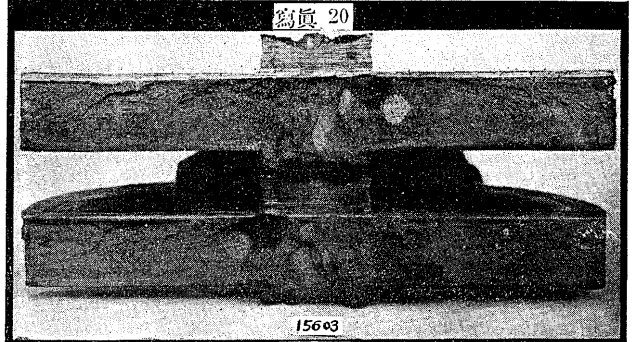
圓筒鍛鍊材を縦に割りたる面



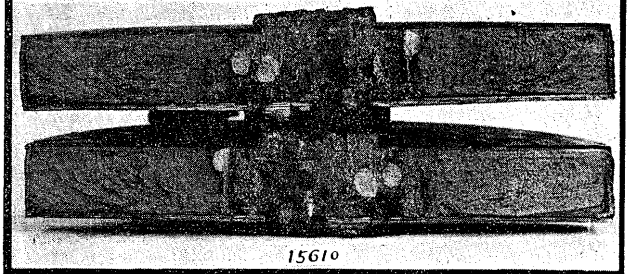
寫眞 19



寫眞 20

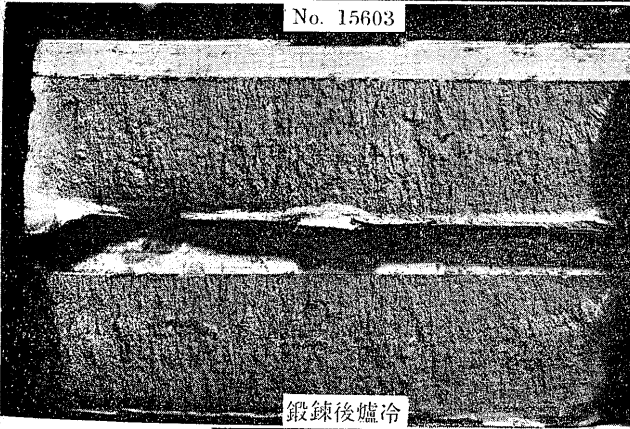


寫眞 21

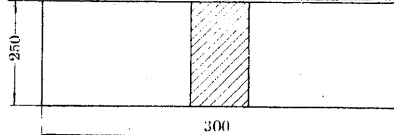
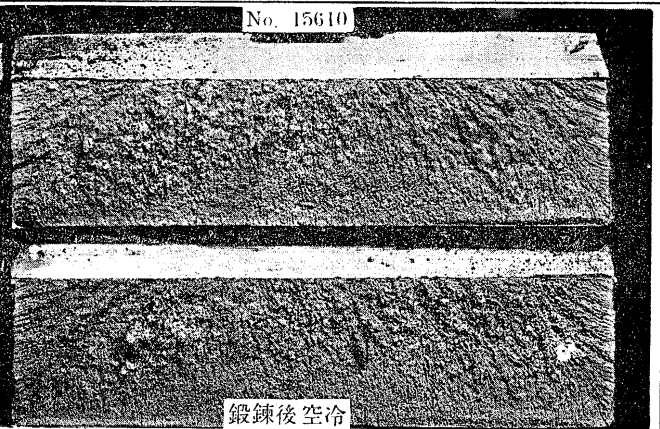


寫眞 22

No. 15603



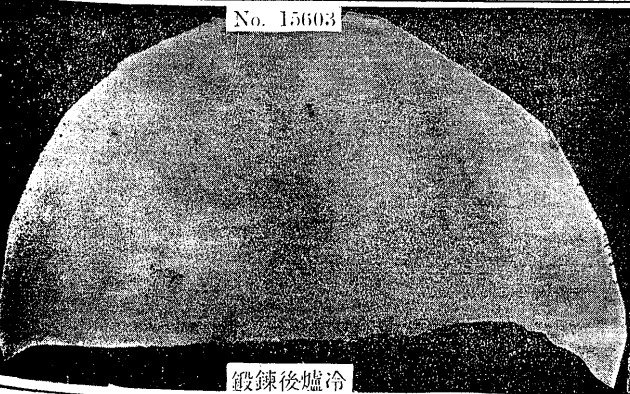
No. 15610



白點あるものを長さ 100 耗に鍛延し  
再び 300 耗(元寸法)に据鍛鍊せり

寫眞 23

No. 15603



No. 15610

