

## 低満俺鋼の機械的性質に関する研究

(昭和2年11月日本鐵鋼協會第三回講演大會講演)

濱 住 松 二 郎  
上 田 孝 嘉  
諸 岡 鼎

M. Hamasumi; T. Ueda and U. Morooka.; A STUDY ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF LOW MANGANESE STEEL.

The author deals, in this article, with the mechanical properties of 21 low manganese steels varying in composition from 0.1 to 0.4% of carbon and from 0.4 to 5% of manganese.

After examining the microstructure of fully annealed samples a so called structural diagram is advanced which much differs from the Guillet's diagram.

Good properties in static tests are gained with the sorbitic structure, while the dynamic test i. e. the notched bar impact test at low and high temperatures shows also maximum toughness with steels containing 1 to 2% of Mn, which are sorbitic.

From both mechanical tests the best composition for so called Ducol Steel is raised.

The author also explains the cold-brittleness and the blue shortness of steel by the newly introduced relationship between maximum normal resistance and maximum slip resistance on the gliding planes of a crystal.

## 緒 言

普通鋼の含有する Mn 量は 0.4 至 0.8% の間にあつて特に多量の満俺鐵を追加しない限りは製鋼作業上自然此程度に極限せられるのである。而して低炭素鋼に就ては Mn が之れ以上 1.5% 前後に及ぶも延伸率或ひは断面收縮率を減ぜずして却て抗張力を増す事を屢々文献に見るのであるが斯く多量の Mn を加ふる時は此ために少からず復炭する故に勢ひ地鋼の含炭量を 0.1% 前後極軟鋼の域に低下せしめなければならぬ、此事は製鋼作業上種々の不便を惹き起す。

然るに近年普通鋼にして Mn 1.5~2% を含有する物が一種の低廉なる特殊鋼として“Ducol Steel”なる名稱の下に擡頭使用せられつゝあるものを見る。

著者の見解によれば若し低満俺鋼に此事實即ち靱さを減ぜずして強さを増す事がありとすればそは地鐵中に固溶せる Mn に基く物である。凡そ金屬固溶體は種々の性質に於て特異の點を有し混合の法則によると豫想し能はない物がある。例へば 7:3 眞鍮が純銅よりも強力であつて而も延伸率が之よりも大きく、Al 7% 程度を含むアルミニウム青銅にも略々之と同様の性質が認められて居る。

所で金屬の靱さを見るには靜的試験の外に衝擊試験を以てし延伸及断面收縮の大なる物必ずしも衝擊エネルギーの大なる物ではない。例へば Greaves<sup>(3)</sup>の研究によれば上記 7:3 眞鍮の衝擊試験値は寧ろ純銅に比して小さく、アルミニウム青銅に就ても同様である。此相違が何によつて起るかの理由に就ては今の所尙不明であるが著者は之等の文献に鑑る所あつて低満俺鋼の機械的性質特に有溝衝擊試験を企圖し稍精密に此目的を達したつもりである。

(1) H. S. Rawdon &amp; F. Sillers: Scientific Papers of Bureau of Standard. No. 464, 1922.

(2) Carpenter &amp; Edward. Inst. Mech. Eng. 1912, 319, 441.

(3) Greaves &amp; Johns. Inst. Metals. 1925. No. 2, 85.

## 第一章 試材と其顯微鏡組織

試材を鑄製するために次の如き材料を適宜配合し全量約 6kg をアルミナを以て内部皮覆せる 8 番坩堝を用ひクリプトル電氣抵抗爐を以て鑄解した。

	C	Mn	Si	S	P	Cu
アーム鐵	0.03	0.04	0.08	0.03	—	0.05
瑞典鋼 I.	0.10	0.38	0.02	—	—	—
瑞典鋼 II.	0.20	0.39	0.02	—	—	—
瑞典鋼 III.	0.29	0.44	0.30	—	—	—
金屬滿俺(メルク鐵入)	—	94.40	1.61	(Fe 1.14; Al 0.95)		

此中金屬滿俺は最後に投入し充分攪拌の後金型に鑄造し 50×5×5 cm、重量約 4kg の鋼塊を製作した。此鋼塊は電熱爐に於て充分軟化した後表皮數耗を削り去り 15 mm 角の棒に鍛鍊後各 20 cm に切斷し之を鐵箱中に收め黑鉛粉末を充願し“Hevi duty”爐に於て加熱し 900°C に 2 時間保ちたる後約 24 時間を以て常溫迄爐中冷却した。

斯様にして鑄製した試材 21 種 (No.6 より No.26迄) の分析を第 1 表に掲げる。表中 Si, P, S 等を定量して居ないが之等は原料中極めて少量含まるるに止まるを以て之以上を出でない物と假定し省略した。試材 No.1 乃至 No.5 はアーム鐵及瑞典鋼其儘を鍛鍊し他の試材と全く同様に軟化した物である。

第 1 表 試料分析表

試験番号	C	Mn	Si	P	S	試験番号	C	Mn	試験番号	C	Mn	試験番号	C	Mn	試験番号	C	Mn
1 (アーム鐵)	0.03	0.04	0.11	0	0.03	7	0.11	2.00	12	0.15	1.15	17	0.20	1.15	22	0.35	1.30
2	0.11	0.38	0.02	—	—	8	0.11	2.88	13	0.16	1.95	18	0.22	1.85	23	0.36	2.04
3	0.20	0.39	0.02	—	—	9	0.13	4.13	14	0.16	3.39	19	0.26	3.62	24	0.37	3.09
4	0.29	0.44	0.30	—	—	10	0.10	4.87	15	0.17	4.15	20	0.25	4.15	25	0.36	3.84
5	0.40	0.43	0.33	—	—	11	0.09	4.21	16	0.20	4.64	21	0.26	5.11	26	0.50	5.25
6	0.12	1.03	—	—	—												

今之等 26 種の試材を便宜上次の系に別ける。

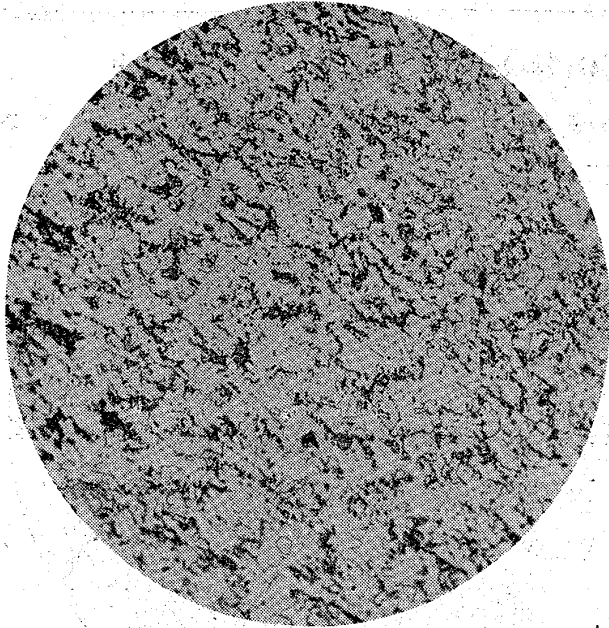
第 1 系普通鋼 (No.1~No.5) 第 2 系 C 0.1% 鋼 (No.6~No.11) 第 3 系 C 0.15~0.2% 鋼 (No.12~No.16) 第 4 系 C 0.20~0.26% 鋼 (No.17~No.21) 第 5 系 C 0.35~0.37% 鋼 (No.22~No.25)

偕て Guillet の滿俺鋼組織圖に従へば上記成分範圍に屬する物は總て波來土鋼である。然るに上記軟化試材を見るに事實上波來土組織を示す物は C 0.10% 系に於ては Mn 約 4% 以下、C 0.15~0.2% 系に於ては Mn 2.5% 以下、C 0.35~0.37% 系に於ては Mn 1.5% 以下に屬し其他の成分範圍の物は地鐵の外に吐粒洲或ひは麻留田を含み Guillet の結果と甚だ一致しない。従つて特殊の軟化例へば赤熱状態に於て 1 週間或ひは數週間に亘る如き長期軟化を施す場合は別とし普通行はるゝ鋼材軟化作業の程度に於ては Guillet の結果は極めて不當の物である。

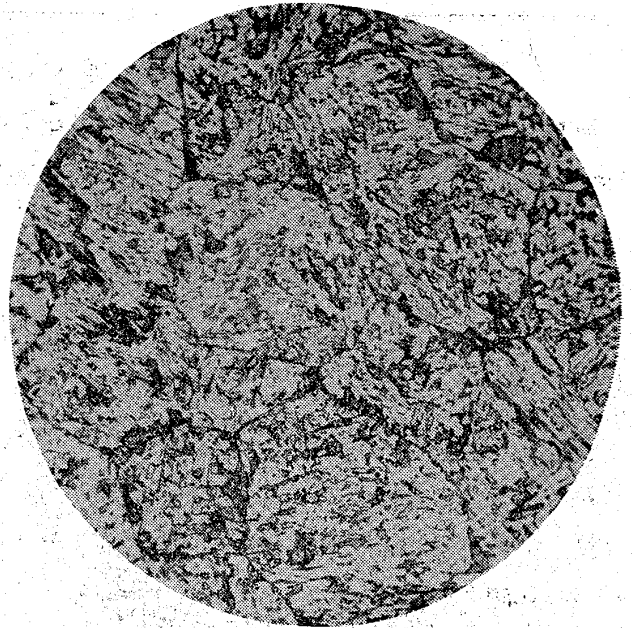
寫眞第 1 圖乃至 5 圖は第 2 系の顯微鏡組織を示し寫眞第 6 圖乃至 10 圖は第 4 系の組織を示す物である。

凡そ之等低滿俺鋼の組織を見るに恰も低炭素鋼を稍急激に冷却した場合の如く波來土部分は分散し

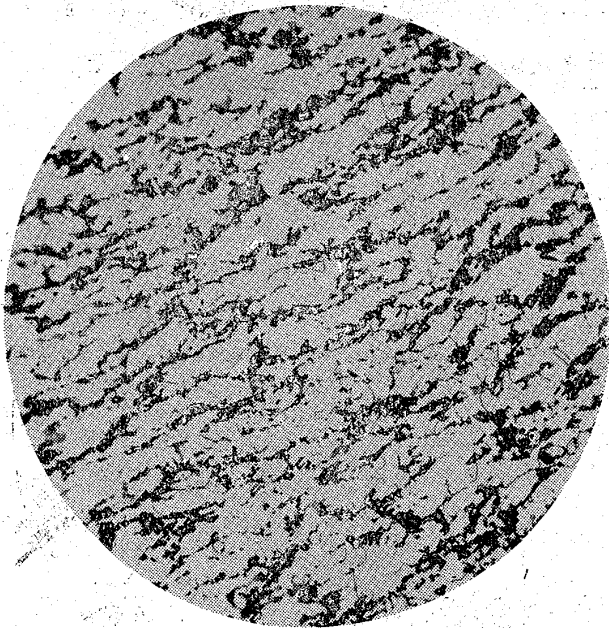
寫眞第 1 圖 C 0.12%; Mn 1.03%  
×150



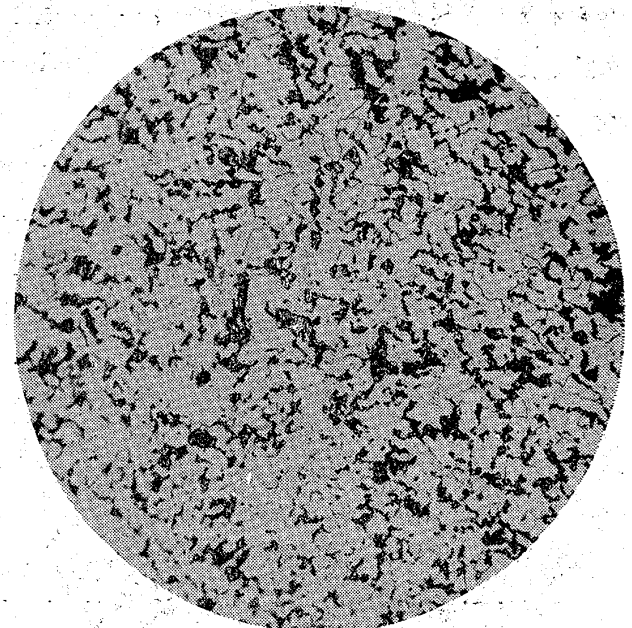
寫眞第 2 圖 C 0.77%; Mn 2.00%  
×150



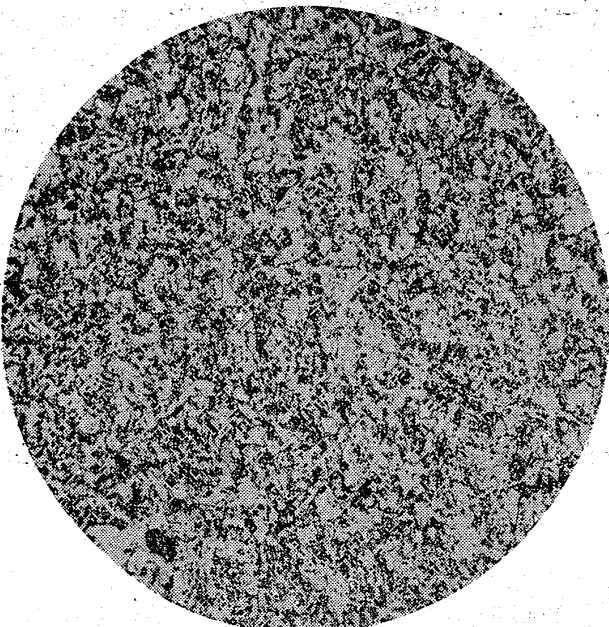
寫眞第 3 圖 C 0.77%; Mn 2.88%  
×150



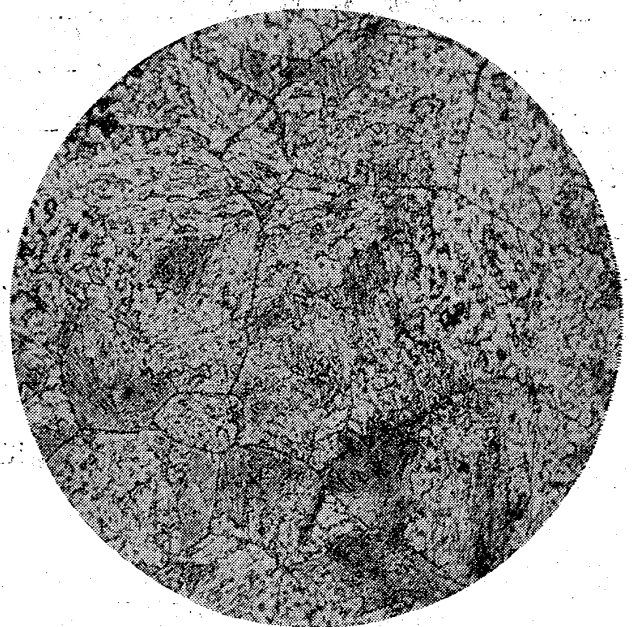
寫眞第 4 圖 C 0.13%; Mn 4.73%  
×400

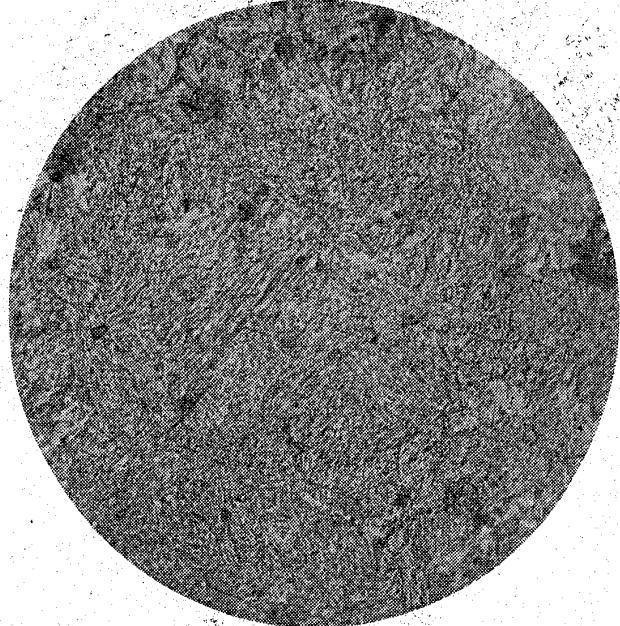
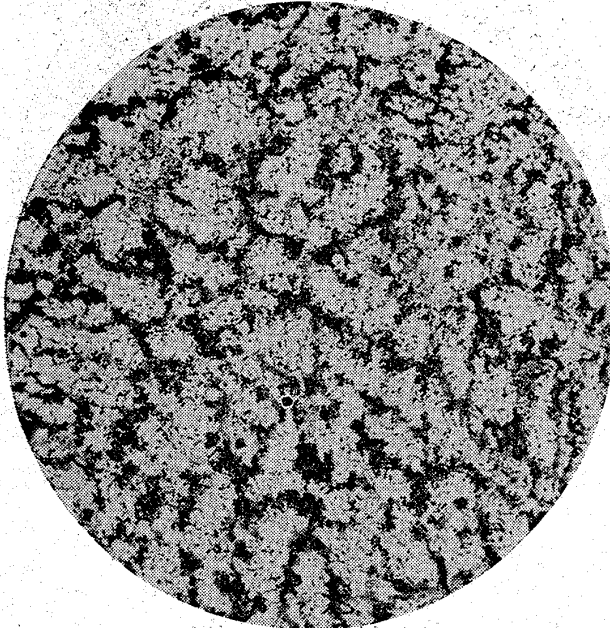
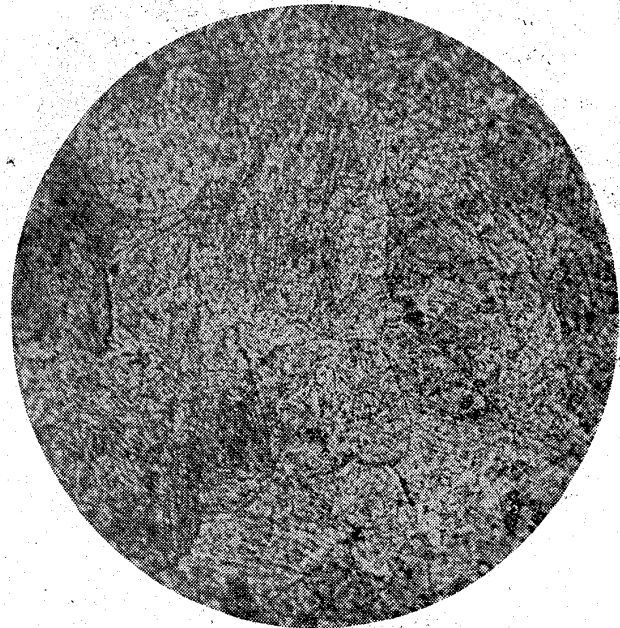


寫眞第 5 圖 C 0.70%; Mn 4.87%  
×400



寫眞第 6 圖 C 0.20%; Mn 1.15%  
×150



寫眞第 7 圖 C 0.22%; Mn 1.85%  
×150寫眞第 8 圖 C 0.26%; Mn 3.26%  
×400寫眞第 9 圖 C 0.25%; Mn 4.15%  
×400寫眞第 10 圖 C 0.26%; Mn 5.11%  
×400

て地鐵其間を埋め頗る渾沌として判別し難い。而して斯く分散した部分を見るに粗粒陂的の物（寫眞第 3 圖、8 圖）吐粒洲的の物（寫眞第 4 圖、9 圖）或は麻留田と見るべき物（寫眞第 5 圖、10 圖）がある故に之等を一概に波來土と斷定する事は早計である。

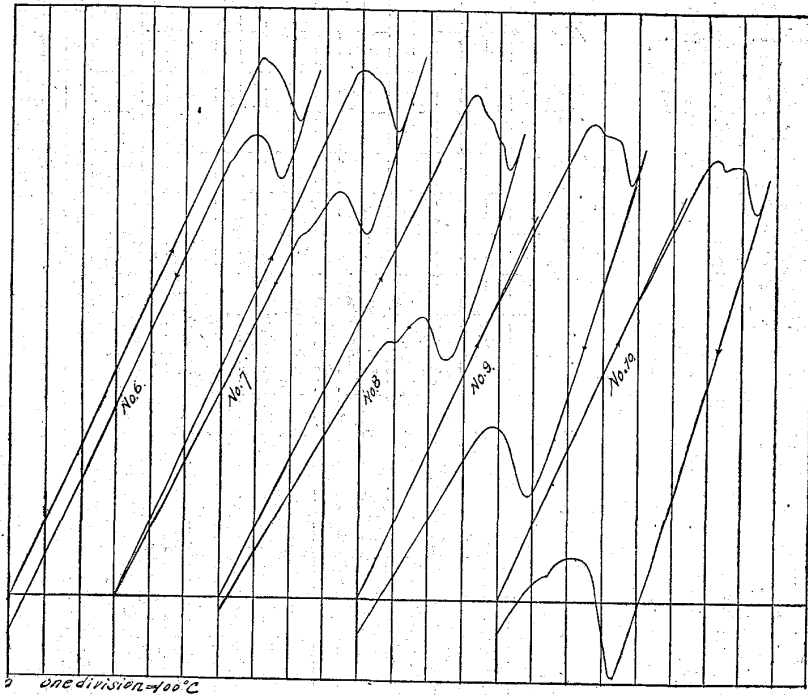
殊に 1,000 倍以上に擴大して仔細に試料を觀察するに前記の如く 900° に 2 時間を保持し緩漫冷却するも尙炭素は均一に擴散せずして偏析を残し高炭素部分は麻留田、低炭素部分は粗粒陂的組織を呈する物がある。寫眞第 8 圖は即ち此一例であつて灰色部中に濃淡あるは之がためである。

著者は上記顯微鏡検査による麻留田の存在を確むるために前記軟化試料を旋削して徑 5 mm, 長さ

200 mm の試片を製作し本多式熱膨脹計を用ひ毎分 3° の加熱速度を以て温度上昇による長さの變化を測定した。

第 1 圖曲線 6, 7, 8, 9, 10 及び第 2 圖曲線 17, 18, 19, 20 及 21 は夫々同番號試材の熱膨脹曲線であつて之等を觀るに  $Ac_{1-3}$  變態の開始温度は Mn の増加と共に下降し終了温度は此成分範圍に於て

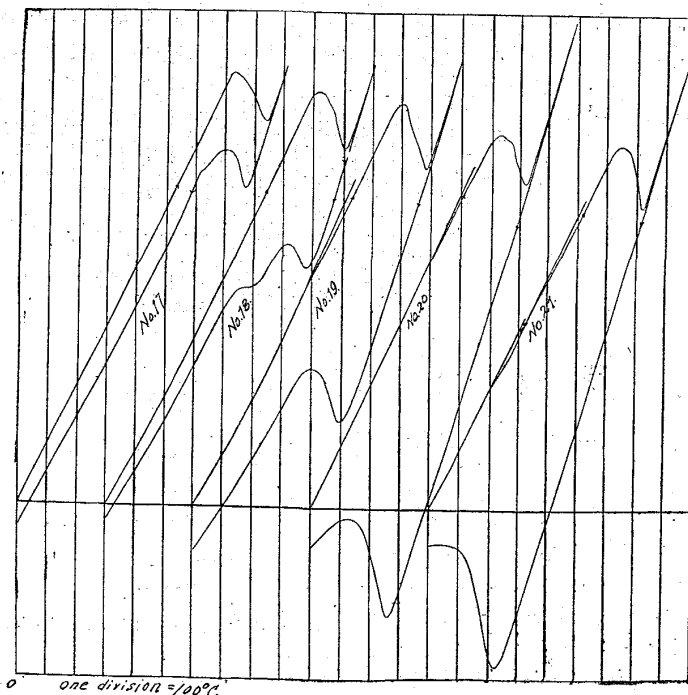
第 1 圖



は大差なく而も曲線 9, 10, 19, 20, 21, の如く Mn 量の高き物は凡そ 350° 乃至 400° 附近に於て異常の屈曲を示す。此屈曲は即ち軟化試材中に殘存する麻留田の焼戻に因る物であつて上記顯微鏡検査の結果と一致する。

圖中の冷却曲線は爐中冷却に於て測定した物であるけれ共加熱に比較すれば極めて急激である故に  $Ar_{3-1}$  變態點は Mn の増加と共に著しく下降して居る。

第 2 圖



各試材に就て全部同様の顯微鏡検査及熱膨脹試験を施し其組織を決定した結果第 3 圖の如き組織圖を得た。圖中の番號は試材番號、○印は 波來土 + 地鐵 若くは 粗粒陵 + 地鐵 □印は 吐粒洲 + 麻留田 + 地鐵 △印は 吐粒洲 + 麻留田 の組織を表はす。之に依つて此成分範圍を圖の如く 3 つの區域に別つ事が出来る。

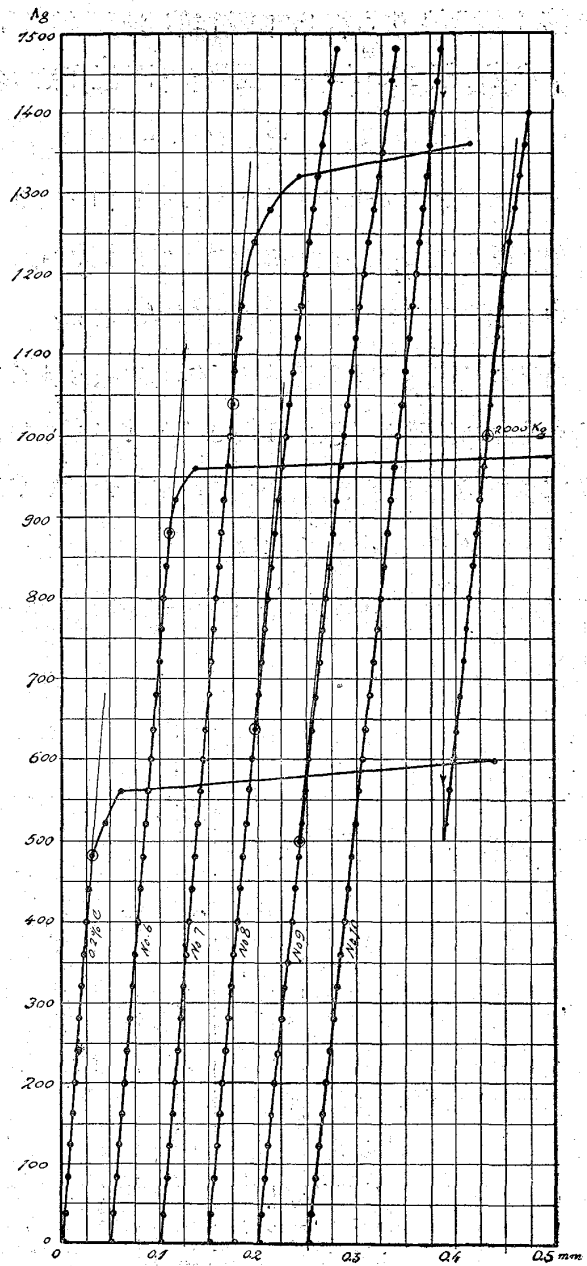
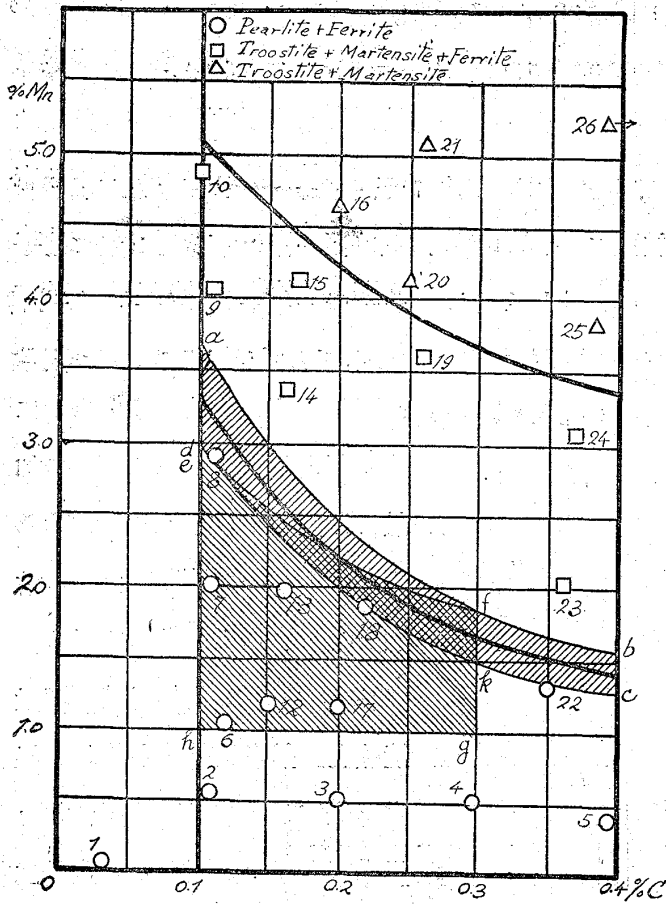
### 第二章 靜的牽引試験

前記軟化試材を旋削して徑 7 mm 標點距離 50 mm 第 4 圖 a

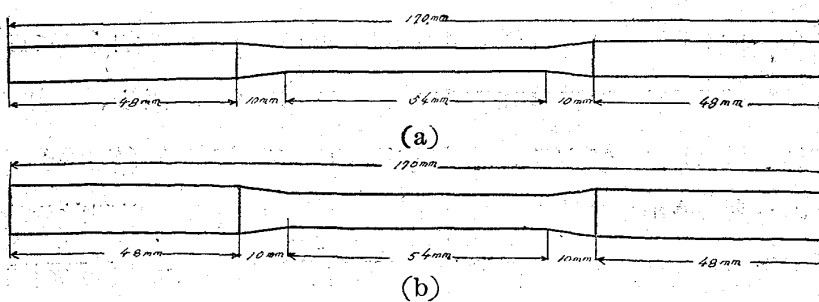
の如き抗張試験片を製作し次章に述ぶる衝擊試片の都合上試料の豊富でない物は徑 5 mm 標點距離 50

第 5 圖

第 3 圖



第 4 圖



mm 第4圖 b の如き試験片を製作した。

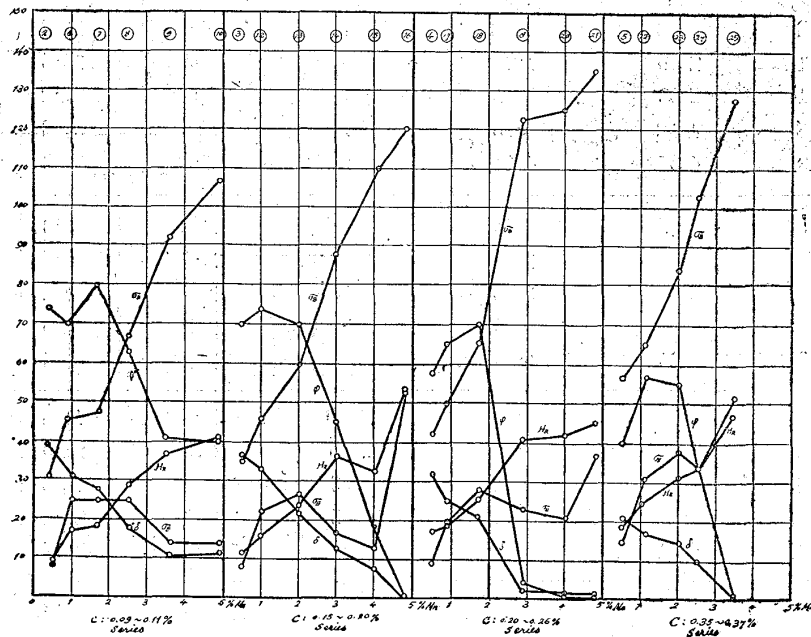
牽引試験には Mohr & Fedehaff 20 噸機を用ひ Martens 廻轉鏡式延伸計を以て各 30 kg 宛荷重して比例限を定め抗張試験圖を作製した。

第5圖は抗張試験圖の一例であつて降伏點以後は鏡装置を取り去つて試験を續行した。第5圖に見る如く比例限は各系共 Mn 2% 前後迄は上昇し 3~4% を含む物は却つて降下する。而も Mn 4% 以上に及び麻留田組織大部分を占むる物は再び比例限を増加して居る。

但し圖に見る如く比例限の降下は荷重曲線の灣曲に因る物であつて降伏點の如き物は Mn 量の増加と共に上昇一方の傾向に在る事勿論である。

各試材に就て 2 本合計 48 本の試験結果は集めて第 2 表に示し其平均値を各系別に圖示すれば第 6 圖の如き曲線を得る。圖の横軸は Mn 量、縦軸には抗張力 (kg/mm<sup>2</sup>)  $\sigma_B$ ; 比例限 (kg/mm<sup>2</sup>)  $\sigma_E$ ; 延伸率 (%)  $\delta$ ; 断面收縮率 (%)  $\varphi$  及び Rockwell 硬度數 (C scale) HA を採る。硬度試験は別に 15 mm<sup>3</sup> の研磨試験片に就て行ひ表中の値は同一試片 5ヶ所の平均を示した物である。圖中上部圓内の數字は試材番號であつて第 3 圖と比較すれば直ちに其組織及成分を知る事が出来る。

第 6 圖



今圖中の曲線に就て考ふるに元より各系の炭素含量が嚴密に一定して居ない故に定量的の事は言ひ難いが Mn 量に比例して抗張力及硬度數は増加し之に反し延伸率は降下して居る、唯断面收縮率及比例限が各系共 Mn 2% 附近に極大を示して居る事は異とすべきである。

之によつて觀るに著者の實驗に於ても 1.5~2.0% の Mn 添加によつて却つて断面收縮率を増加する事は從來の文献に見ると同様であるが延伸率は大勢上 Mn 増加に従つて減少し必ずしも既往の研究と一致しない。一般に延伸率中には標點距離全般に亘る伸びと局部收縮による部分的伸びとが含まれ

材料によつて前者の大なる物或は後者の大なる物がある故に断面收縮率大にして而も延伸率の之に伴はない物のある事は敢て異とするには當らない。

今 "Ducol Steel" に對する本邦規格を見るに 1/2 吋 標點距離 2 吋の試片に就て抗張力 40 T/□<sup>2</sup> 63 kg/mm<sup>2</sup>、降伏點 25 T/□<sup>2</sup> 39 kg/mm<sup>2</sup>、延伸率 18%以上とあつて假に試片の相違を無視し著者の實驗結果と對照する時は此規格に適合する物は

C. 0.09~0.11% 系に於ては Mn 2~3% C. 0.15~0.20 系に於ては Mn 2~3%

C. 20~0.26%系 に於ては Mn 1.5~2.0% C. 0.35~0.37% 系に於ては Mn 1.0~1.5%

の成分を有する物に限られる。之を第 3 圖上に求むれば圖中の右斜影線を附した如き帶狀區域に屬し組織上 粗粒破+地鐵 即ち一般に言ふ粗粒破と見るべき物である。又上記牽引試験の結果から單位滿俺量に對する抗張力増加を計算すれば第 3 表の如き結果を得る。表中の第 4 縱列は此程度の炭素を含む普通瑞典鋼の Mn 含量を平均 0.4% と見なし各試材中の Mn 量から之の丈けを削減した數字を過剩滿俺量として示した物である。

第 3 表

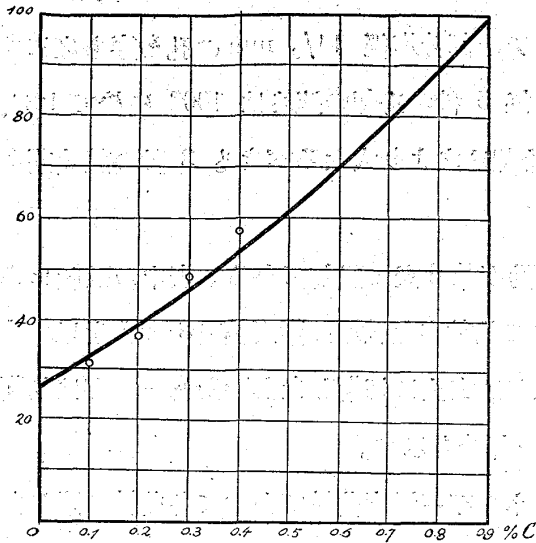
試片番號	分 析		過剩 Mn	曲線より計算せる抗張力	測定抗張力	超過抗張力	超過抗張力過剩 Mn
	C	Mn					
6	0.12	1.03	0.63	34	45.6	11.6	1.84
7	0.11	2.00	1.60	33	47.5	14.5	0.90
8	0.11	2.88	2.48	33	67.2	34.2	1.04
9	0.13	4.13	3.73	35	92.2	57.2	1.50
10	0.10	4.87	4.47	33	106.3	73.3	1.64
12	0.15	1.15	0.75	36	44.8	8.8	1.17
13	0.16	1.95	1.55	37	60.0	23.0	1.48
14	0.16	3.39	3.00	37	88.2	51.2	1.70
15	0.17	4.15	3.75	37	110.5	73.0	1.95
16	0.20	4.64	4.24	39	120.5	81.5	1.92
17	0.20	1.15	0.75	39	50.4	11.4	1.54
18	0.22	1.85	1.45	40.5	64.5	24.0	1.65
19	0.26	3.62	3.22	43.0	122.6	79.6	2.43
20	0.25	4.15	3.75	42.5	124.6	82.1	2.19
21	0.26	5.11	4.71	43.0	134.7	91.7	1.95
22	0.35	1.30	0.90	49.5	64.8	15.3	1.68
23	0.36	2.04	1.64	50.0	83.8	33.8	2.03
24	0.37	3.09	2.69	51.0	102.7	51.7	1.92
25	0.36	3.84	3.44	50.0	126.6	76.6	2.23

第 5 縱列は Beckmann<sup>(1)</sup> が普通瑞典鋼に就て測定した抗張力炭素曲線(第 7 圖)から各試材の含炭量に對し求めた抗張力である。第 7 圖中の 0 點は試材 No2, 3, 4, 5 に就て著者の測定した抗張力で

(1) Beckmann; Hällfasthesprof. a Svenska Materialier, Herausg. v. Jernkontoret, 1897.  
Heyn-Martens; Materialienkunde iiA. 324.



第 7 圖



あつて大體に於て曲線と一致する事がわかる。

第 6 縦列は第 2 表に示した各試材の實測抗張力、第 7 縦列は實測抗張力から第 5 列の抗張力を減じた超過抗張力であつて此を過剩満俺に因る物とし第 4 列の數字で除した物は即ち第 8 列に示す物である。

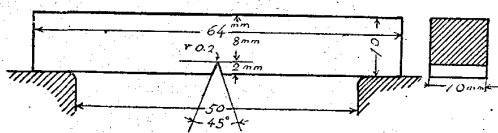
之によれば Mn 0.1% 増加に對する抗張力増加は 0.9 ~ 2.43 kg/mm<sup>2</sup> であつて他の研究者の値と大差がない。<sup>(1)</sup> 然し斯様な比効果は同一顯微鏡組織の物に就てのみ論じ得る物であつて満俺鋼に於ける如く Mn 量によつて組織の異なる場合には之を算出する事自體が正當でない。従つて此効果に此程度の變化あるは當然であつて

此中には獨り Mn の影響のみでなく組織の變化も又含まれて居る。若し波來土組織のみに就て言へば 1.0~1.5 kg/mm<sup>2</sup> と云ふのが相當した所であらう。

### 第三章 各種温度衝擊試験

15 mm 角の前記軟化試材を精密に仕上げ第 8 圖の如き寸法の衝擊試験片を製作した。試験機械はシヤルピー式 30 m/kg を用ひ試験片の支點距離を 50mm

第 8 圖



に擴げ毎秒 5.112 m の速度を以て試験した。試験温度は -100°—50°, -20°, 0°, 20°, 50°, 100°, 150°, 200°, 300°, 400°, 500°, 600°, 700°, 800°, 及び 900°

の 16 種を用ひ試片は之等の温度に各 30 分間を保持した後取り出して打撃を加へた物であつて之に要せらるゝ時間は 3 秒前後従つて豫め數度高温に熱する時は空中に於ける冷却を考ふるも正確に上記規定温度に於て切斷する事が出来る。

加熱若くは冷却に使用した浴劑は次の如き物である。

温度範圍	保溫劑	温度範圍	保溫劑
-100 乃至 -20°	アルコールと液體空氣	400°乃至 600°	硝酸加里と硝酸ナトリウム
0°	水と氷	700°	鹽化ナトリウムと鹽化カルシウム
20°乃至 100°	常溫及び湯	800°乃至 900°	電熱爐にて黒鉛を以て充填
150°乃至 300°	種油		

(1) Ledefur 2.5	2.5 kg/mm
Campbell	0.91~1.75 kg/mm <sup>2</sup>
Brinell	3.0 "
Nebster	1.25 "
Lang	1.50 "

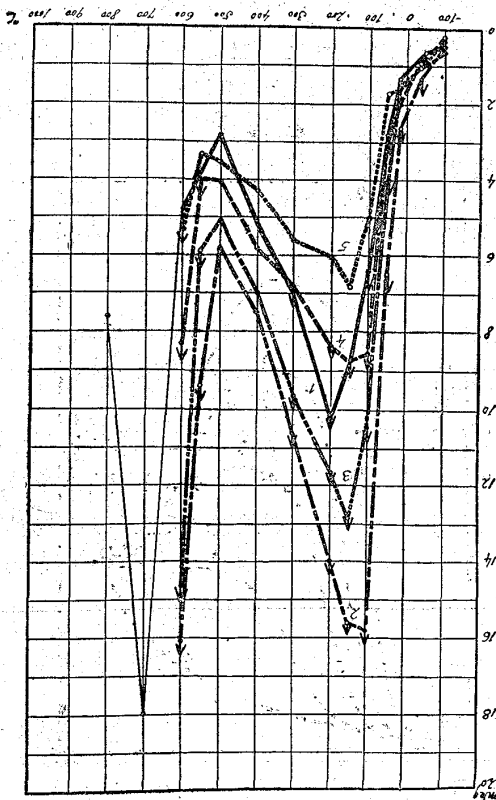
低温寒暖計としてはペンタン及び水銀寒暖計を用ひ高温には Pt-PtRh のカップルを使用した。空中冷却の速さを知るために上記形状の試片に縦にノッチの部分迄径  $1\frac{1}{2}$  mm の孔を穿ち之にサーモカップルを挿入して冷却速度を測定した。之によれば毎 5 秒の冷却の速さは  $100^\circ$  に於て  $1.2^\circ$ 、 $300^\circ$  に於て  $4^\circ$ 、 $600^\circ$  に於て  $8^\circ$  に過ぎず、勿論表面の冷却は之より大なるべきも 3 秒の試験期間に對しては著しく重大でないと思ふ。

斯くの如くして測定した有溝衝撃試験値は集めて第 4 表乃至第 8 表に記してある。表中の吸収エネルギーとあるのは試片破斷に要せられたエネルギーであつて此數字を試片の斷面積  $0.8 \text{ Cm}^2$  を以て除する時は所謂有溝衝撃試験値を得る。表中備考欄にある  $\wedge$  印は完全に切斷しなかつた物  $-$  印は切斷した物を表はす。寫真第 11 圖乃至第 13 圖は切斷試材の一部分を示す。

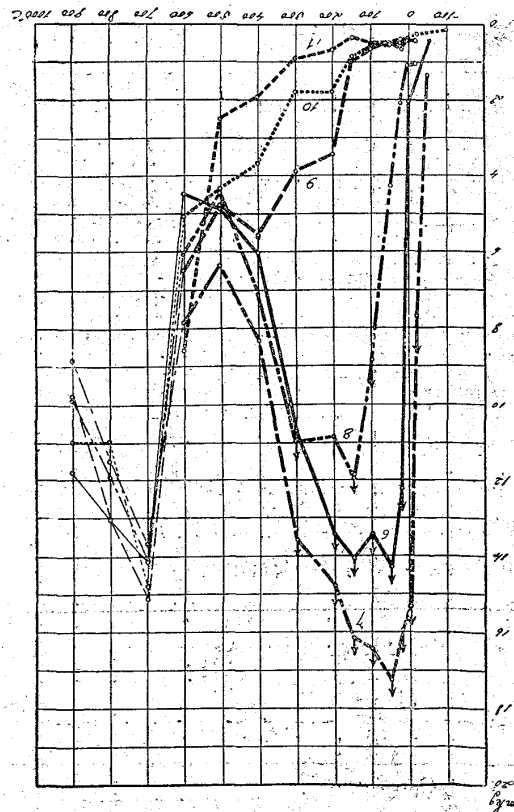
第 9 圖乃至 13 圖は表中の平均値を溫度に就て配點したエネルギー-溫度曲線であつて各曲線に附した番號は試材の番號を表はす。曲線中  $600^\circ$  以上の細線を以て示した部分は全部切斷せずして單に彎曲するに止まるを以て眞の有溝衝撃値とは言ひ難い故に斯くした迄である。又  $600^\circ$  以下に於ても  $\uparrow$  印を附した物は完全に切斷した物でない故に所謂有溝衝撃試験値は之以上に及ぶべき物である。

之等の曲線を見るに  $0^\circ$  乃至  $200^\circ$  間に於ける極大値、 $500^\circ$  附近の極小値は既に公知の事實であつて零度以下の脆弱を冷脆性、 $500^\circ$  附近の極小を青熱脆性と稱ふ事も又普通知らるゝ通りである。

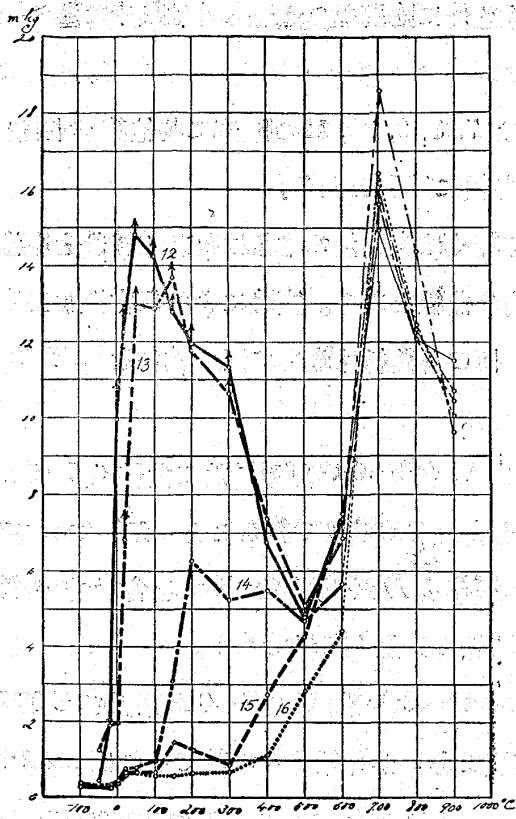
第 9 圖



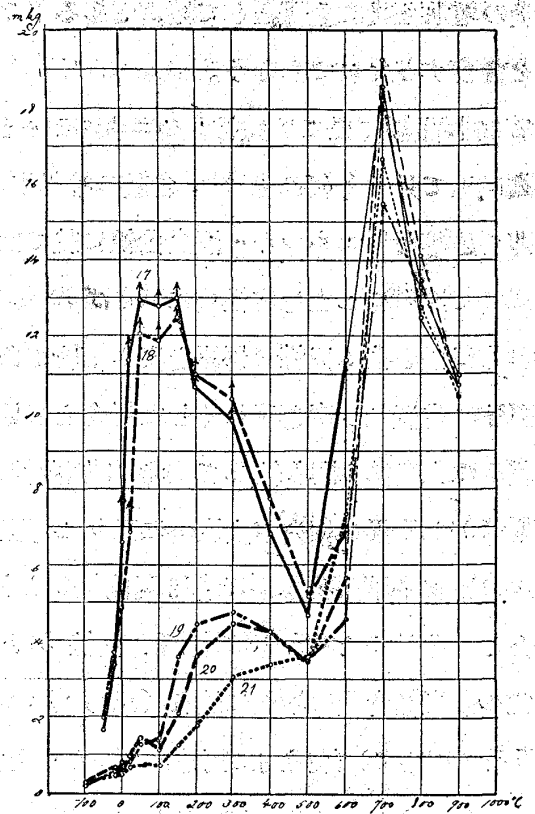
第 10 圖



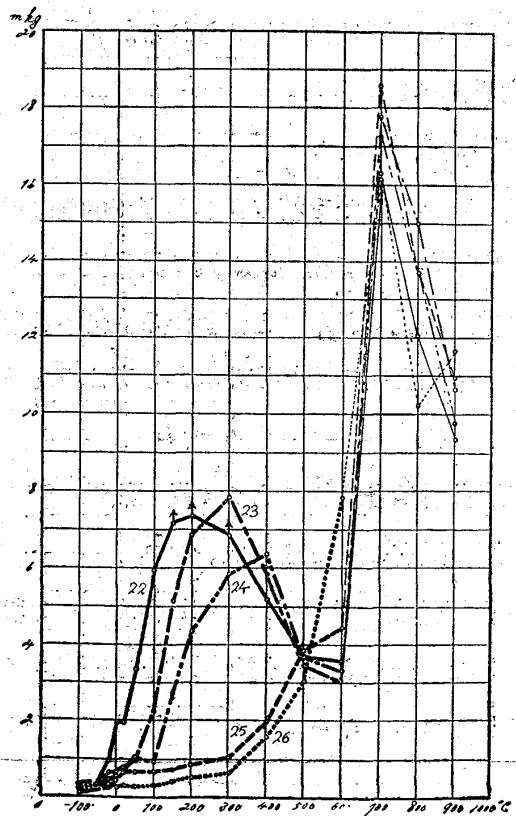
第 11 圖



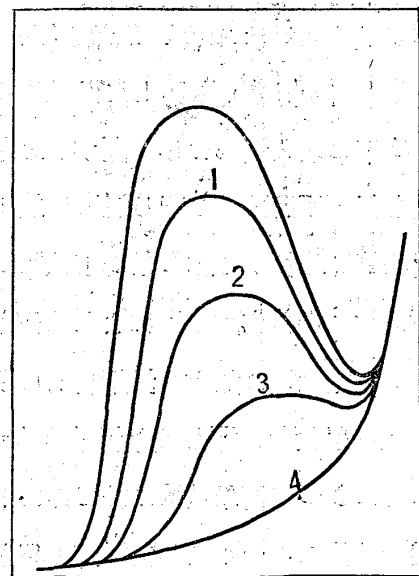
第 12 圖



第 13 圖



第 14 圖



先づ第9圖曲線に就て見るにアームコ鐵の吸收エネルギーは稍低く其他は2, 3, 4, 5の順序に炭素含量の増加と共に全體として脆弱となる。アームコ鐵が豫想外に脆弱なのは恐らくは其中に種々不純滓を含有するためであらう。

第10圖曲線に於ては試材6のエネルギーが稍低く其他は7, 8, 9, 10, 11の順序に其他第11圖12圖13圖に就て見るも何れもMn含量の増加するに従つて總括的に脆弱となる。

即ち之等衝擊エネルギー温度曲線に就てはMnの増加若くは炭素量の増加は何れも材料を各温度に亘つて脆弱にし之を定性的に示せば第14圖の如き傾向の曲線となる。實驗によれば常温加工度の増加も又之と全く同様の影響を與ふる物であつて、第14圖の各曲線は直ちに同一試材を1, 2, 3, 4の順序に常温加工度を著しくした場合とも見て差支へがない。

然るに上記第9圖曲線と10乃至13圖曲線とを比較するにC 0.09~0.11%系に於て曲線6, 7は2よりも100°附近の極大が廣範圍に亘り2%程度迄のMnを含む方が強靱であることを示して居る。

次の第10圖曲線12及13と第9圖曲線3とを比較するも又同様1乃至2%のMnを含む方が強靱である。曲線4と17, 18の關係、曲線5と22, 23との關係も又全く同様である。

従つて炭素含量の増加に連れ(即ちC 0.09~0.11系、C 0.15~0.20系、C 0.20~0.26系及びC 0.35~0.37系の順序に)總括的に衝擊エネルギーを減ずるのは事實であるが各系夫々に就て見ればMn 1.0%乃至2%を含む物は普通鋼に比して衝擊エネルギーが大きい、即ち強靱である。乃で此強靱範圍を第3圖中に區劃すれば左斜影線を附した區域となり前章の靜的試験の規格とを併せて考慮する時は低滿飽鋼に於ける尤も良好な機械的性質を具ふる成分範圍は網目影線の區域に制限せられる。

故に“Ducol Steel”の製鋼操作に當つては此成分範圍を視ふべきである。

#### 第四章 冷脆性及青熱脆性の解説

前章衝擊試験に於ける零度以下及500°附近の脆性は夙に認められた事柄であるが未だ完全に其理由を説明した者を見ない。而して此二つの脆性は何等此温度附近に於て物理的性質の異常變化を伴はない故に鐵鋼の永久變形のみに關する現象即ち純然たる機械的性質であることがわかる。例へば靜的屈曲試験を行へば兩脆性の起る温度は遙に降下し試験速度の増加と共に上昇する事から考ふるも鐵鋼の同素變態等<sup>(6)</sup>に關係する物でない事は明かである。

又Greaves<sup>(7)</sup>の研究する所によれば衝擊エネルギー對温度曲線は各金屬によつて異り類似の形を示さない故に上記脆性の如きも鐵鋼特有の現象であつて諸金屬に通有の物ではない。

Moserは一般衝擊に關し衝擊恒數(Arbeitskonstant)及受働速度(Arbeitschnelligkeit)なる觀念を創意し之によつて衝擊試験に於て起る種々の現象を説明した。氏によれば衝擊恒數とは衝擊エネルギーを變形體積によつて除した物即ち單位變形體積の吸收したエネルギーであつて金屬特有の物であ

(6) Maurar & Mailander; S tu E, 45, 1925, 409.

(7) 前掲

る。受働速度とは試験速度による内部摩擦増加の大小を意味し増加の著しい物は受働速度が小さいと云ふ。而して鐵鋼に就て各種温度の衝撃試験を行ひ衝撃恒數及び受働速度を測定した結果によれば此二つも又エネルギー對温度曲線と並行して變化する故に恒數及速度の温度變化によつて冷脆性及青熱脆性を説明し能はない事を認めた。

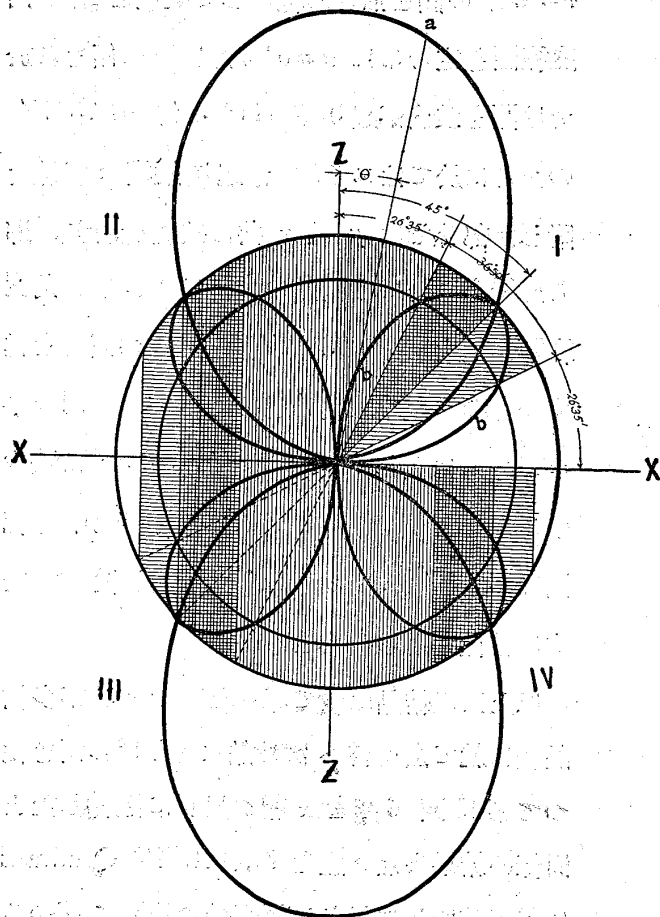
著者は之に對し次の様な觀念を以て之等の脆性を解説し様と思ふ。著者の見解によれば一般に物質結晶には特有の薄弱な面があり礦物に就ては之を劈開面と云ひ金屬結晶に就ては之を迂り面と云ふ。迂り面内には更に最も迂り易い方向がある。

而して金屬の特徴は破壊に際して劈開せずしてスリップする事即ち結晶に於ける maximum normal resistance ( $\mu$ ) の破るる以前先づ maximum shearing resistance ( $\tau$ ) が破れる事である。之に反し礦物に於ては  $\tau$  の破るるに先つて先づ  $\mu$  に於て破壊する。

故に物質の脆弱性は  $\mu$  と  $\tau$  との相對的大いさによつて定まり  $\mu$  に比して  $\tau$  の甚しく小さい物は粘性或ひは變形性に富み又  $\mu$  も  $\tau$  も共に大きく而も兩者の差の大なる物は靱いと云ふ事が出来る。

今單一結晶に就て考ふるに第 15 圖に於て  $x$  軸の方向に  $\tau$  なる歪力が働く物とし結晶面が紙面に直角に  $z$  軸と任意の角  $\theta$  を挟む時の結晶面に働く垂直歪力  $\sigma_n$  及切線歪力  $\sigma_t$  は次式によつて表はされる。

第 15 圖



$$\sigma_n = \sigma \cos^2 \theta \equiv 0a, \quad \sigma_t = \frac{1}{2} \sigma \sin 2\theta \equiv 0b$$

此際簡單のために迂り面に於ける迂りの方向を考へず此面内に於ては何れの方角へも同等に迂り得る物とする。

上式によつて結晶面が  $z$  軸と種々の角度を爲す時の  $\sigma_n$  及  $\sigma_t$  を求むれば圖中の  $a$  及  $b$  曲線によつて表はされる。即ち  $\sigma_n$  は  $\theta=0$  の時最大で  $\sigma_t$  は  $\theta=45^\circ$  の時最大である。此二つの最大値の比は  $\sigma_n : \sigma_t = 2:1$  である。

之と結晶面の maximum normal resistance  $\mu$  及 maximum shearing resistance  $\tau$  との關係を見るに若し

$$\mu > \sigma_{nmax} \equiv \sigma, \quad \tau > \sigma_{tmax} \equiv \frac{1}{2} \sigma \text{ なる時は}$$

結晶はあらゆる  $\theta$  に於ても破壊せず歪力  $\sigma$  は結晶の弾性限以下にあると云ふ事が出来る。

若し又

$$\mu > \sigma_{nmax} \equiv \sigma, \quad \tau > \sigma_{tmax} \equiv \frac{1}{2} \sigma \text{ なる時}$$

は結晶は何の傾きに於てもスリップせず、ある  $\theta$  の範囲内に於て開き破壊のみを起す。此場合は完全に脆弱な事を意味し礦物の如きは之に相當する。

若し

$\mu < \sigma_n \text{ Max} = \sigma$ ,  $\tau < \sigma_t \text{ Max} = \frac{1}{2}\sigma$  なる時は  $\mu$  と  $\tau$  との相対的大いさによつて  $\tau$  が  $\mu$  に比し遙に小さい程結晶のスリップする機会が多い。即ち粘性的である。

今之を證明するために

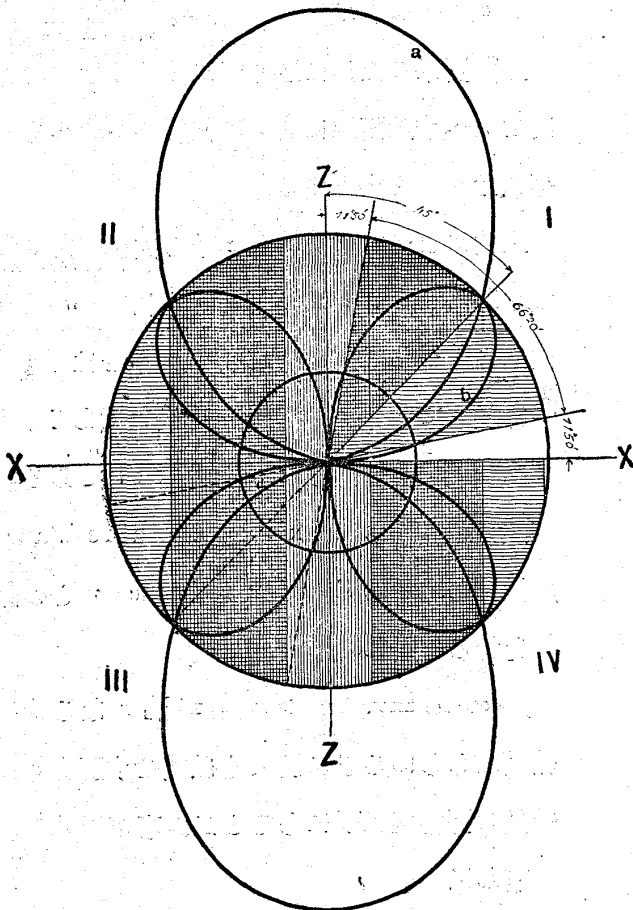
$$\sigma = 20 \text{ kg/mm}^2, \mu = 10 \text{ kg/mm}^2, \tau = 8 \text{ kg/mm}^2,$$

$$\sigma = 20 \text{ kg/mm}^2, \mu = 10 \text{ kg/mm}^2, \tau = 4 \text{ kg/mm}^2,$$

なる二つの場合を比較して見る。

第15圖に於て  $\mu = 10 = \frac{1}{2}\sigma$ ,  $\tau = 8 \text{ kg/mm}^2$  なる圓を描く時は  $a$  曲線と  $\mu$  圓との交點以内  $\theta = 45^\circ$  の範圍(縦影線を附した部分)の傾きに於ては  $\sigma_n > \mu$  となり開き破壊を起し又  $b$  曲線と  $\tau$  圓との交點の範圍即ち  $\theta = 26^\circ 35'$  乃至  $63^\circ 25'$  の傾きを爲す(横影線を附した部分)範圍に於てはスリップする。従つて縦横の影線を附した範圍では  $\mu$  及び  $\tau$  共に破壊し影線のない部分  $63^\circ 25'$  乃至  $90^\circ$  の傾きに於ては結晶は破壊しない。従つて此破壊しない角度範圍の廣い程脆弱即ち變形性が少い事となる。

第十六圖



例へば之を次の第16圖に於て  $\mu = 10 \text{ kg}$ ,  $\tau = 4 \text{ kg}$  の圓を描き同様に於て破壊を起す角度範圍を定むるに  $\theta = 0^\circ$  乃至  $45^\circ$  の傾きに於ては開き破壊が起り  $\theta = 11^\circ 50'$  乃至  $78^\circ 10'$  の傾きに於てはスリップが起り縦横の影線を附した部分では  $\mu$  及び  $\tau$  共に破壊を起す。即ち此場合に於ては結晶のスリップし得る角度範圍が擴大し  $\theta = 78^\circ 10'$  乃至  $90^\circ$  の傾きを爲す場合のみ全然破壊を起さない。故に同一  $\mu = 10 \text{ kg}$  に對し  $\tau$  が  $8 \text{ kg}$  から  $4 \text{ kg}$  に減少する事によつて結晶のスリップし得る角度範圍は  $36^\circ 50'$  から  $66^\circ 20'$  に増加し従つて夫丈け粘性を増した事となる。

以上は單結晶に就て考へた事であるが多結晶體に就て之を言へば結晶はあらゆる傾き従つて第15圖16圖を  $x$  軸の周りに廻轉したと同様の結果となり之を II, III, IV Quadrant に就て球面的に見れば縦影線の範圍に落つる

傾きにある結晶は  $\mu$  に於て破れ横影線の範囲に落つる傾きにある結晶は  $\tau$  に於て破れスリップし縦横の影線の範囲にある傾きにある結晶は  $\mu$  及  $\tau$  に於て共に破壊する。

又白色範囲の傾きにある結晶は破壊しない。彼の變形硬化に於ける方向効果は總ての結晶がスリップの起り悪い方向に回轉すること即ち白色範囲の傾きにまで旋回した結果現はるる物である。

此理によれば  $\tau > 1/2\mu$  なる場合結晶は變形せずして破壊し  $\tau < 1/2\mu$  なる場合は  $\tau$  と  $1/2\mu$  との差の著しい程變形性に富む。今衝撃破壊に費さるるエネルギーを考ふるに試片の弾性的變形に要せらるるエネルギー、切斷のエネルギー即ち  $\mu$  に原子力の作用距離を乗じた物、及び變形のエネルギー即ち  $\tau$  にスリップした距離を乗じた物との三ツから成り弾性的變形のエネルギーは僅少であるから之を省くとすれば次式で表はされる。

$$A = \int \mu dt + \int \tau ds$$

第1項は切斷面の表面エネルギーに相當する者であつて比較的小さく第2項は變形のエネルギーである故に殆んど無限に増加し得る見込がある。

物質が靱い場合即ち  $\tau < 1/2\mu$  なる場合は衝撃破壊のエネルギーは主として第2項に關係する。従つて變形性の大きい程換言すれば  $\tau$  が  $1/2\mu$  より著しく小さい程破壊に要せらるるエネルギーは増大する。

偪て有溝衝撃試験に於ては先づ試験速度の大なるため著しく  $\tau$  を増す。何故なれば一般に内部摩擦抵抗は速度の増加と共に増大する<sup>(1)</sup>のが原則であるからである。

又ノッチを附する故に其尖端には靜水的歪力が惹き起され此ためにも  $\tau$  は増大する。

故に有溝衝撃試験片内の  $\tau$  は常態の  $\tau$  に比し甚しく大きくなつて居る筈である。

乃で之等の影響を全部考慮した上の  $\tau$  を探り其温度による變化を第17圖  $\tau$  曲線の如く假定し之に對し  $\mu$  の温度變化を同圖  $\mu$  曲線の如く假定する。 $\mu, \tau$  は何れも温度増加即ち原子距離の増加と共に零に漸近する性質の力である。然し距離の増加による  $\sigma$  の減少は  $\mu$  の減少よりも急激であるべきが故に兩曲線を上の如く假定する事は合理的である。

今點線を以て  $1/2\mu$  に相當する曲線を引くに若し  $\tau$  が點線以上にある場合は試片は完全に脆弱で衝撃エネルギーは主として切斷面の表面エネルギーに相當する。即ち交點 a 以下の温度では冷脆性が現はれる。

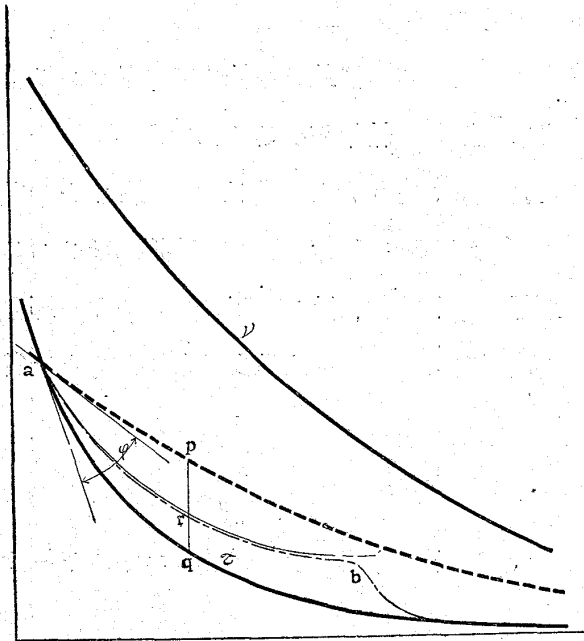
a 點以上の温度では  $\tau < 1/2\mu$  である故に次第に變形の度合を増し變形硬化によつて  $\tau$  は増加し點線の値に達して切斷する。

従つて交點を超ゆれば急激に衝撃エネルギーを増し、増し方は交切角  $\varphi$  の大きい程急激である。

今變形硬化による  $\tau$  の増加を考へるに單位變形に因る  $\tau$  の増し方は温度によつて違ひ温度の高い程

(1) Ludwick: Phys. Zeit. 10 (1909)411.

第 17 圖



## 結 論

以上によつて本論文を下の如く結論する。

- 1) 低満俺鋼(C 0.1~0.4, Mn 0.4~5%) の顯微鏡組織圖を決定し Guillet の組織圖を訂正した。
- 2) 前記材料の靜的機械試験を施行し優良なる成分範圍を決定した。此範圍は顯微鏡的には粗粒波組織に該當する。
- 3) 前記材料の各種溫度衝擊試験を施行し Mn 1~2% を含む物は強靱である事を確めた。従つて靜的試験結果と併せ考へ所謂 "Ducol Steel" の有効範圍を決定した。
- 4) 各溫度衝擊試験に現はるる冷脆性及び青熱脆性を結晶面の maximum normal resistance  $\mu$  及び maximum Slip resistance  $\tau$  の相互的關係に因つて解説した。(1927—11—1)

原子格子の歪みを受け易い故に第 17 圖細線に示す如く表はされる。然るに一方溫度増加は再結晶によつて歪みの除去従つて  $\tau$  の減少を促す故に各溫度に於ける單位變形に對する  $\tau$  の増加を鎖線の如く考へて好い。

左すれば  $\tau$  と  $\frac{1}{2}\mu$  との差  $pq$  に對する  $\tau$  の増加割合  $rq$  の關係によつて  $b$  點附近では  $\tau$  は容易に  $\frac{1}{2}\mu$  に近づき再び脆弱となる。之即ち  $500^\circ$  附近の青熱脆性である。

一般に常溫加工した材料或ひは固溶體は何れも常態よりも  $\tau$  を増加する故に交點  $a$  は上方に移動し之に反し  $b$  附近の青熱脆性は再結晶溫度に關係する故に略々固定する。



第 2 表 静的試験

試験 番號	試験 片直 徑 mm	比例 限 kg/mm <sup>2</sup>	抗張 力 kg/mm <sup>2</sup>	延伸 率 (%)	断面 收縮 率 (%)	ロツク ウェル 硬度 數(c)	備 考	試験 番號	試験 片直 徑 mm	比例 限 kg/mm <sup>2</sup>	抗張 力 kg/mm <sup>2</sup>	延伸 率 (%)	断面 收縮 率 (%)	ロツク ウェル 硬度 數(c)	備 考
1	6.90	7.49	33.36	37.4	73.37			15	6.99	13.3	93.9	13.3	47.6		
	6.98	6.27	31.3	37.7	72.1				6.99	12.5	127.2	2.5	1.5		
2	6.98	7.32	31.1	39.2	75.0				14.55	110.5	7.9	24.5			
	6.98	6.80	31.2	38.5	73.6	8.9			6.98	53.3	111.9	0.8	0.9		
	6.98	8.40	36.9	36.0	65.3			16	6.98	52.3	129.1	0.9	0.9		
3	6.98	9.20	37.1	34.3	66.2				52.8	120.5	0.9	0.9	53.9	クラインダ -仕上ゲ	
	6.98	8.80	37.0	35.2	65.7	11.3			4.98	20.0	50.3	24.4	66.2		
	6.98	8.40	49.0	27.9	50.1			17	4.99	20.0	50.4	25.5	64.2		
4	6.98	8.40	48.9	27.9	51.3				20.0	50.4	25.0	65.2	18.8		
	7.00	14.60	56.8	20.9	40.1	17.4			6.99	30.2	64.4	22.1	70.1		
5	6.98	14.60	56.6	21.4	40.6			18	5.00	24.8	64.5	20.1	70.0		
	6.99	14.60	56.7	21.3	40.4	19.1			27.5	64.5	21.1	70.0	26.4		
	7.00	26.00	45.8	30.5	67.9			19	7.00	23.9	118.1	1.3	2.0		
6	6.90	23.50	45.4	31.1	70.5				5.00	22.9	127.1	2.7	6.7		
	6.95	24.70	45.6	30.8	69.2	17.7			23.4	122.6	2.0	4.4	40.8		
	4.95	24.94	47.7	23.5	80.9			20	6.98	22.0	131.0	2.9	1.4		
7	6.96	24.44	47.3	33.1	78.9				6.99	19.8	118.1	0.1	0.9		
	6.96	24.44	47.3	33.1	78.9	18.4			20.9	124.6	1.5	1.2	41.8		
	6.95	24.25	67.2	18.1	63.7			21	5.01	36.7	142.1	2.1	1.7		
8	6.99	25.02	67.2	17.4	61.8				5.00	?	127.3	1.5	1.2		
	6.98	12.55	85.9	14.2	49.9	29.0			36.7	134.7	1.8	1.5	44.8	クラインダ -仕上ゲ	
	6.98	13.59	98.4	8.4	31.7			22	4.99	29.2	65.2	17.4	57.2		
9	6.98	13.07	92.2	11.3	40.8	36.8	クラインダ -仕上ゲ		6.96	32.6	64.5	17.7	57.0		
10	7.00	14.55	106.3	11.6	40.4	41.2			30.9	64.8	17.5	57.1	24.5		
	6.95	20.1	44.7	31.1	73.3			23	4.91	39.6	84.3	15.9	56.2		
12	6.95	23.2	44.8	35.5	74.2				6.99	35.5	83.3	14.9	54.8		
	6.96	27.3	58.1	21.7	71.8	15.8			37.6	83.8	15.4	55.5	31.6		
	6.98	26.1	61.8	22.9	68.8			24	4.98	32.9	102.3	9.1	33.8		
13	6.98	26.7	60.0	22.3	70.3	23.9			6.94	35.7	103.0	10.5	33.2		
	6.99	16.7	87.8	12.3	44.8			25	5.02	?	132.5	0.8	0.8		
14	7.00	17.7	88.5	14.0	45.7				4.96	51.8	120.7	1.4	0.0		
		17.2	88.2	13.2	45.3	36.6			51.8	126.6	1.2	0.4	47.5	クラインダ -仕上ゲ	

第 4 表 (第 9 圖参照)

試験 番號	讀取角度	吸収エ ネルギー	備 考	試験 番號	讀取角度	吸収エ ネルギー	備 考	試験 番號	讀取角度	吸収エ ネルギー	備 考
-100°				17°				-50°			
1	151.3	0.408		1	145.3	1.275		1	142.3	1.762	
2	151.0	0.447			145.0	1.323			131.8	3.725	
3	152.0	0.316			145.15	1.290		2	137.0	2.708	
4	152.8	0.214		2	137.0	2.708			119.6	6.472	
5	150.0	0.583			138.3	2.468		3	130.5	3.999	
-50°					137.6	2.597		4	135.3	3.033	
1	149.9	0.597		3	143.0	1.646		5	142.5	1.731	
2	145.4	1.245			146.2	1.137		-100°			
3	146.8	1.044			144.6	1.385		1	120.4	6.255	
4	147.7	0.881		4	139.8	2.198			119.6	6.448	
5	147.0	1.015			142.6	1.712		2	120.0	6.352	
					141.2	1.952			84.2	15.818	
					140.6	2.060		3	104.0	10.416	
				5	146.9	1.030		4	110.8	8.635	
					143.7	1.531		5	125.3	5.126	

試片 番號	讀取角度	吸收エネ ルギー	備考	試片 番號	讀取角度	吸收エネ ルギー	備考	試片 番號	讀取角度	吸收エネ ルギー	備考
150°				400°				600°			
1	110.0	8.840		1	125.3	5.125		1	126.8	4.792	
	109.7	8.917		2	115.2	7.521		2	83.2	16.091	
2	110.0	8.840		3	117.2	7.028		3	84.7	15.683	
	85.0	15.600		4	122.6	5.760		4	112.3	8.251	
3	94.7	12.866		5	129.3	4.252		5	124.2	5.395	
4	111.0	8.840									
5	118.2	6.804									
200°				500°				700°			
1	104.0	10.414		1	136.5	2.803		1	76.2	17.983	
	105.3	10.070		2	122.3	5.811		2			
2	104.6	10.252		3	125.4	5.081		3			
	90.3	14.144		4	130.1	4.083		4			
3	99.2	11.706		5	132.7	3.547		5			
4	111.8	8.378									
5	121.3	6.045									
300°				550°				800°			
1	117.9	6.857		1	—	—		1	114.9	7.596	
	117.1	7.052		2	107.8	9.412		2			
2	117.5	6.955		3	122.0	5.881		3			
	103.5	10.550		4	130.7	3.951		4			
3	106.7	9.701		5	134.2	3.248		5			
4	118.3	6.760									
5	123.2	5.603									

第 5 表 (第 10 圖參照)

-100°				0				100°					
6	—	—		6	141.0	1.987		10	150.5	0.515			
7	—	—			6	140.0		2.162		10		150.5	0.515
8	—	—				140.5		2.068		11		152.3	0.278
9	153.5	0.128			7	86.0		15.325				151.8	0.342
10	153.0	0.189				86.0		15.325				152.0	0.317
11	152.6	0.240		7	86.0	15.325		50°					
-50°				20°				60°					
6	151.0	0.447		6	98.0	12.035		6	90.5	14.090			
	142.7	1.697				96.5		12.444		6		89.0	14.502
7	147.6	0.926				97.3		12.225				89.8	14.273
	145.2	1.290			7	84.0		15.873		7		80.0	16.962
8	—	—				83.5		16.010				78.0	17.501
9	—	—			83.7	15.955			79.0	17.232			
10	—	—		7	83.7	15.955		8	127.0	4.749			
11	152.3	0.278			—	—			131.5	3.792			
-20°				0				100°					
6	122.5	5.765		6	140.0	2.162		8	127.0	4.749			
	114.5	7.696				141.0		1.987		8		131.5	3.792
7	114.5	7.696				140.5		2.068				129.3	4.250
8	147.0	1.015			7	84.0		15.873		9		150.5	0.515
9	152.5	0.253				83.5		16.010				151.0	0.447
10	141.5	1.901			83.7	15.955			150.8	0.473			
11	152.0	0.316		8	140.0	2.162		10	150.0	0.583			
					141.0	1.987			151.0	0.447			
					140.5	2.068			150.5	0.514			
				9	150.0	0.583		11	152.2	0.291			
					149.0	0.723							
					149.5	0.653							

100°				300°				700°				
6	94.0	13.128		6	100.0	11.492		9	119.5	6.472		
	100.0	11.492			106.0	9.885			10	125.3	5.134	
	93.0	13.402			103.0	10.684				11	114.0	7.821
	95.7	12.662			93.0	13.402		700°				
7	80.0	16.962		7	92.0	13.677		6	90.5	14.090		
	84.0	15.872			92.5	13.538		7	92.0	13.677		
	82.0	16.419			102.0	10.952		8	90.5	14.090		
8	109.0	9.099		8	102.0	10.952		9	87.0	15.051		
	111.0	8.582			102.0	10.952		10	88.0	14.776		
	110.0	8.840			?	?		11	—	—		
9	150.0	0.583		9	?	?		800°				
	149.0	0.723			131.0	3.894		6	94.5	12.991		
	149.5	0.653			142.5	1.731		7	100.0	11.492		
10	149.0	0.723		10	142.0	1.815		8	98.5	11.899		
	151.0	0.447			142.3	1.762		9	94.5	12.991		
	150.0	0.583			148.0	0.865		10	102.0	10.952		
11	151.7	0.355		11	—	—		11	—	—		
	152.4	0.265			400°				900°			
	152.0	0.316			6	120.0	6.352		6	99.0	11.763	
150°				6	123.0	5.649		7	110.0	8.840		
6	99.0	11.763			121.5	5.998		8	106.0	9.885		
	90.3	14.145			114.0	7.821		9	106.5	9.749		
	94.7	12.934			110.0	8.840		10	102.0	10.952		
	84.0	15.873		112.0	8.327		11	—	—			
7	82.0	16.419		7	114.0	7.821		800°				
	83.0	16.145			114.0	7.821		6	99.0	11.763		
	103.0	10.684			120.0	6.352		7	110.0	8.840		
8	94.0	13.128		8	117.0	7.077		8	106.0	9.885		
	98.5	11.897			122.0	5.881		9	106.5	9.749		
	147.5	0.941			125.0	5.193		10	102.0	10.952		
9	147.0	1.015		9	123.5	5.535		11	—	—		
	147.3	0.972			132.0	3.689		900°				
	148.0	0.867			141.6	1.884		6	99.0	11.763		
10	148.5	0.795		10	141.6	1.884		7	110.0	8.840		
	148.3	0.823			141.6	1.884		8	106.0	9.885		
	151.0	0.447			500°				9	106.5	9.749	
11	151.2	0.421		11	—	—		10	102.0	10.952		
	151.1	0.433			6	126.5	4.860		11	—	—	
	200°				7	120.0	6.352		900°			
6	92.0	13.677		6	128.5	4.424		6	99.0	11.763		
	94.0	13.128			126.0	4.970		7	110.0	8.840		
	93.0	13.402			128.0	4.531		8	106.0	9.885		
	88.0	14.776			127.0	4.749		9	106.5	9.749		
7	105.0	10.150		7	129.0	4.361		10	102.0	10.952		
	88.0	13.402			138.4	2.450		11	—	—		
	100.0	11.492			138.4	2.450		800°				
8	105.0	10.150		8	138.4	2.450		6	99.0	11.763		
	102.5	10.815			138.4	2.450		7	110.0	8.840		
	134.0	3.287			600°				8	106.0	9.885	
9	132.6	3.567		9	130.0	4.103		9	106.5	9.749		
	133.3	3.423			127.0	4.749		10	102.0	10.952		
	144.0	1.483			128.5	4.423		11	—	—		
10	140.5	2.075		10	116.5	7.201		900°				
	142.3	1.762			111.5	8.445		6	99.0	11.763		
	149.4	0.667			114.0	7.821		7	110.0	8.840		
11	—	—		11	121.4	6.013		8	106.0	9.885		
	—	—			116.5	7.201		9	106.5	9.749		
	—	—			111.5	8.445		10	102.0	10.952		

第 6 表 (第 11 圖參照)

備考欄に 2 本記しある物は皆其平均角度に對するエネルギーを掲ぐ

試片 番號	讀取角度	吸収エネ ルギー	備 考	試片 番號	讀取角度	吸収エネ ルギー	備 考	試片 番號	讀取角度	吸収エネ ルギー	備 考
-100°				100°				600°			
12	—	—		12	90.0	14.227		12	116.0	7.323	
13	—	—		13	95.0	12.854		13	118.0	6.833	
14	152.5	0.253	—	14	147.3	0.971		14	123.0	5.649	
15	152.3	0.278	—	15	149.4	0.667		15	115.0	7.447	
16	151.5	0.385	—	16	150.0	0.583		16	128.5	4.424	
-50°				150°				700°			
12	151.0	0.447	—	12	151.2	12.772		12	87.5	14.914	
13	145.5	1.245	—	13	95.3	13.677		13	74.0	—	
14	—	—		14	92.0	3.091		14	85.0	15.600	
15	—	—		15	135.0	1.483		15	83.0	16.010	
16	—	—		16	144.0	0.583		16	82.0	16.419	
-20°				200°				800°			
12	140.0	2.162	—	12	98.4	11.926		12	98.0	12.035	
13	141.5	1.901	—	13	99.0	11.763		13	89.5	14.365	
14	152.0	0.316	—	14	120.4	6.257		14	98.0	12.035	
15	152.5	0.253	—	15	145.6	1.229		15	97.0	12.307	
16	152.5	0.253	—	16	149.6	0.639		16	93.0	12.402	
0°				300°				900°			
12	106.0	9.885		12	100.7	11.302		12	100.0	11.492	
13	141.0	1.987	—	13	103.3	10.604		13	107.0	9.622	
14	151.5	0.382	—	14	124.7	5.251		14	104.0	10.416	
15	151.0	0.447	—	15	148.5	0.795		15	103.0	10.684	
16	151.5	0.387	—	16	149.3	0.681		16	105.5	10.013	
10°				400°							
12	98.0	12.035		12	118.5	6.712	—				
13	118.0	6.833		13	116.0	7.323	—				
14	149.0	0.723	—	14	123.7	5.489	—				
15	149.8	0.611	—	15	137.0	2.708	—				
16	150.0	0.583	—	16	146.3	1.121	—				
50°				500°							
12	88.0	14.776		12	127.0	4.749	—				
13	94.5	12.991		13	125.5	5.082	—				
14	148.5	0.795	—	14	127.5	4.640	—				
15	149.5	0.653	—	15	129.3	4.252	—				
16	149.5	0.653	—	16	136.5	2.803	—				

第 7 表 (第 12 圖参照)

備考欄に 2 本記しある物は皆其平均角度に對するエネルギーを掲ぐ

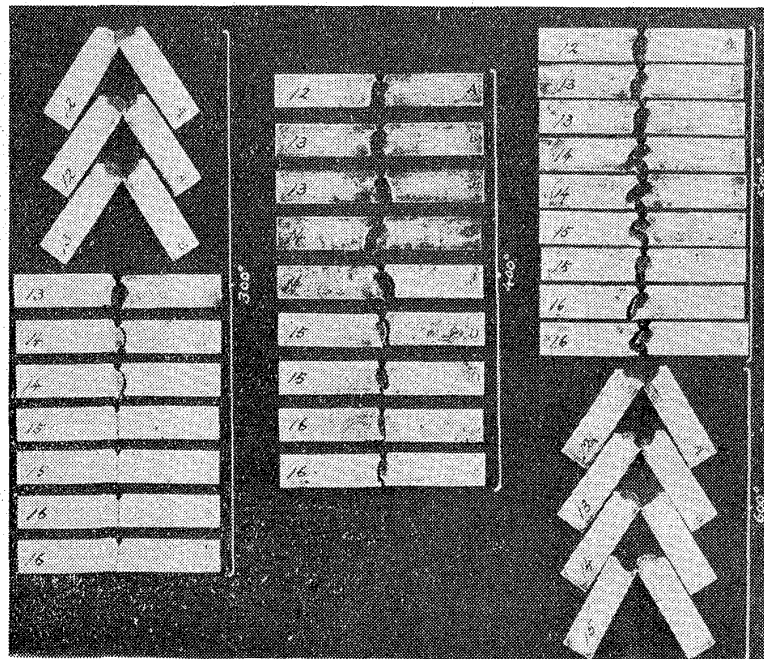
試片 番號	讀取角度	吸収エネ ルギー	備 考	試片 番號	讀取角度	吸収エネ ルギー	備 考	試片 番號	讀取角度	吸収エネ ルギー	備 考
-100°				100°				600°			
17	—	—		17	95.4	12.744		17	100.5	11.357	
18	—	—		18	98.7	11.845		18	117.5	6.955	
19	153.0	0.189	—	19	144.5	1.403		19	128.5	4.531	
20	152.5	0.253	—	20	146.5	1.091		20	123.0	5.649	
21	152.5	0.253	—	21	149.3	0.681		21	116.0	7.323	
-50°				150°				700°			
17	143.0	1.647	—	17	94.6	12.964		17	74.0	18.568	
18	141.0	1.987	—	18	96.3	12.498		18	85.5	15.463	
19	—	—		19	132.5	3.587		19	75.5	18.270	
20	—	—		20	140.5	2.075		20	71.5	19.224	
21	—	—		21	145.5	1.245		21	81.0	16.691	
-20°				200°				800°			
17	133.5	3.387	—	17	103.3	10.604		17	96.5	12.444	
18	132.0	3.689	—	18	101.9	10.979		18	93.5	13.265	
19	150.5	0.515	—	19	128.5	4.424		19	93.0	13.402	
20	149.5	0.653	—	20	132.5	3.588		20	90.5	14.090	
21	151.0	0.447	—	21	142.2	1.782		21	95.5	12.717	
0°				300°				900°			
17	119.0	0.591		17	106.4	9.780		17	103.0	10.684	
18	116.5	4.860	—	18	104.3	10.36		18	102.0	10.952	
19	148.5	0.795	—	19	127.0	4.749		19	103.0	10.684	
20	151.0	0.447	—	20	128.3	4.467		20	103.0	10.684	
21	151.0	0.447	—	21	135.4	3.014		21	104.0	10.410	
20°				400°							
17	100.5	11.357		17	118.0	6.833	—				
18	118.5	6.833	—	18	114.3	7.746	—				
19	148.5	0.795	—	19	129.5	4.210	—				
20	147.5	0.941	—	20	129.5	4.210	—				
21	148.7	0.766	—	21	133.5	3.387	—				
50°				500°							
17	94.7	12.936		17	127.0	4.749	—				
18	93.0	12.035		18	125.3	5.126	—				
19	145.5	1.245	—	19	133.0	3.486	—				
20	144.3	1.435	—	20	133.3	3.426	—				
21	149.0	0.723	—	21	132.7	3.547	—				

第 8 表 (第 13 圖參照)

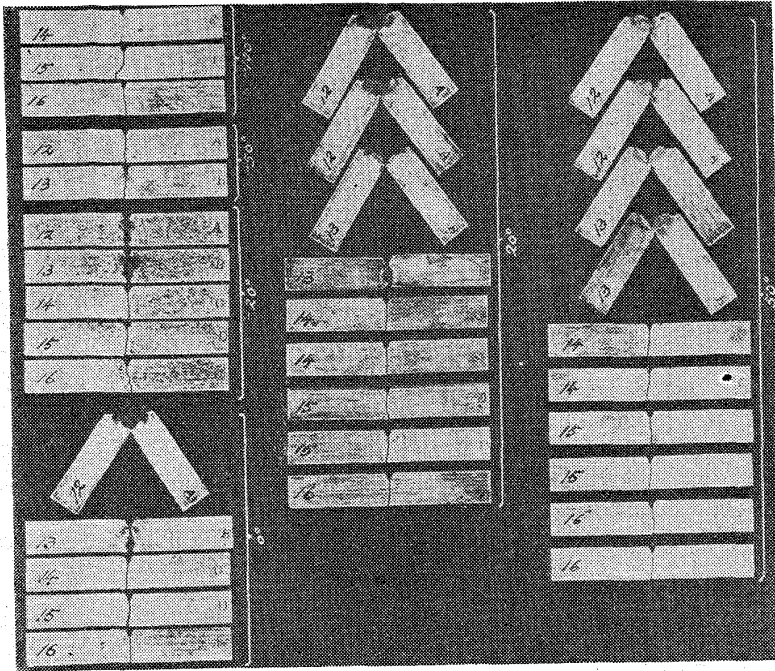
試片 番號	讀取角度	吸收エネ ルギー	備 考	試片 番號	讀取角度	吸收エネ ルギー	備 考	試片 番號	讀取角度	吸收エネ ルギー	備 考								
-100°				50°				200°											
22	—	—	—									22	133.5	3.387	—	22	116.0	7.723	—
23	—	—	—									22	133.0	3.486	—	22	116.0	7.723	—
24	153.5	0.128	—									22	133.3	3.425	—	22	116.0	7.723	—
25	152.0	0.316	—									23	146.5	1.091	—	23	117.0	7.077	—
26	151.2	0.421	—									23	148.0	0.867	—	23	118.5	6.712	—
-50°				100°				300°											
22	152.0	0.316	—									22	147.3	0.972	—	23	117.8	6.883	—
23	152.0	0.316	—									24	149.0	0.723	—	24	129.5	4.210	—
24	—	—	—									24	145.0	1.323	—	24	128.0	4.531	—
25	—	—	—									24	147.0	1.015	—	25	128.8	4.357	—
26	147.0	1.015	—									25	149.5	0.653	—	25	147.0	1.015	—
-20°				150°				400°											
22	147.5	0.941	—									22	150.8	0.474	—	26	149.0	0.723	—
23	149.5	0.653	—									26	150.0	0.583	—	26	148.0	0.867	—
24	152.5	0.253	—									26	150.4	0.527	—	26	150.5	0.515	—
25	151.0	0.447	—									0°				200°			
26	151.0	0.447	—									22	147.0	1.015	—				
0°				22	148.0	0.867	—	22	118.5	6.712	—								
22	141.5	1.987	—	23	147.5	0.940	—	22	118.0	6.833	—								
23	149.5	0.653	—	23	150.0	0.583	—	23	112.0	8.327	—								
24	151.0	0.447	—	23	149.0	0.724	—	23	116.0	7.323	—								
25	150.5	0.515	—	23	149.5	0.653	—	23	114.0	7.821	—								
26	151.2	0.421	—	24	150.7	0.475	—	24	125.0	5.193	—								
20°				150°				400°											
22	141.0	0.987	—									24	148.0	0.867	—	24	119.5	6.472	—
22	141.0	0.987	—									25	147.5	0.940	—	24	122.3	5.812	—
22	141.0	0.987	—									25	150.0	0.583	—	25	146.0	1.167	—
23	149.0	0.723	—									25	149.0	0.724	—	25	146.0	1.167	—
23	148.0	0.867	—									26	149.5	0.653	—	26	146.0	1.167	—
23	148.5	0.795	—	20°				200°											
21	150.0	0.583	—	22	116.5	7.200	—					22	125.0	5.193	—				
21	149.5	0.653	—	22	117.0	7.077	—					23	121.5	5.987	—				
21	149.7	0.625	—	22	116.8	7.125	—					23	122.5	5.765	—				
25	150.0	0.583	—	23	124.0	5.420	—					23	122.0	5.881	—				
25	149.5	0.553	—	23	126.5	4.860	—					24	119.5	6.472	—				
26	149.7	0.625	—	23	125.3	5.125	—	24	120.5	6.234	—								
25	150.0	0.583	—	21	137.0	2.708	—	24	120.0	6.352	—								
25	149.5	0.553	—	21	137.0	2.708	—	25	142.0	1.815	—								
26	151.3	0.408	—	25	137.0	2.708	—	25	141.0	1.987	—								
20°				25	149.0	0.723	—	26	142.6	1.714	—								
20°				25	147.0	1.015	—	26	144.1	1.467	—								
20°				26	148.0	0.867	—	26	143.4	1.580	—								
20°				26	151.7	0.355	—												

500°				700°				900°			
22	132.0	3.689	———	22	82.5	16.283	———	22	108.0	9.360	———
23	133.0	3.486	———	23	77.0	17.769	———	23	103.0	10.684	———
	130.5	3.997	———	24	79.0	17.232	———	24	106.5	9.754	———
24	133.5	3.382	———	25	74.0	18.568	———	25	102.0	10.952	———
	132.0	3.689	———	26	82.0	16.427	———	26	99.4	11.655	———
25	131.0	3.894	———								
26	135.1	3.072	———								
600°				800°							
22	132.5	3.597	———	22	98.0	12.035	———				
23	134.5	3.190	———	23	87.5	14.914	———				
24	133.5	3.387	———	24	92.0	13.677	———				
25	128.5	4.424	———	25	92.0	13.677	———				
26	114.0	7.831	———	26	104.8	10.203	———				

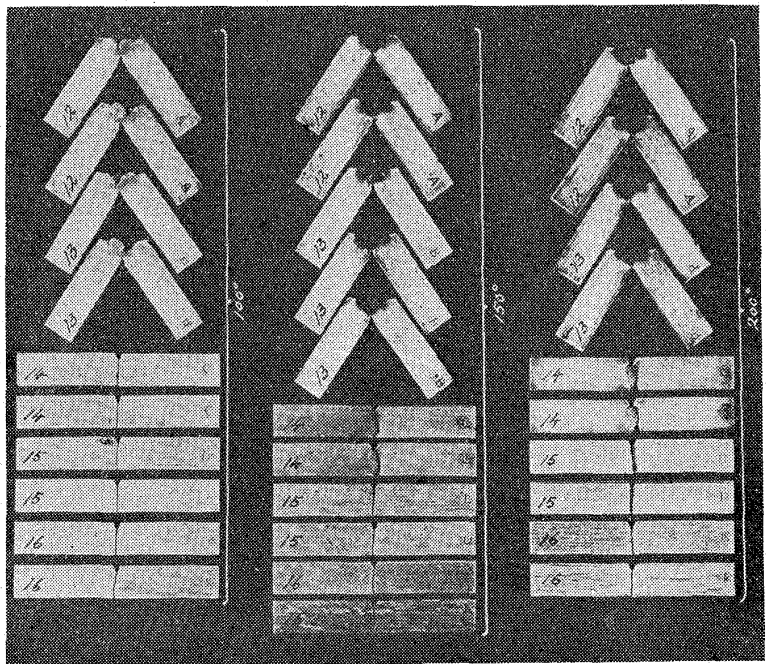
寫 眞 第 10



寫眞 第 11



寫眞 第 12



「鐵と鋼」第十四年 第七號 594頁 12行

(誤)

水壓試験をなし、130 lbs/ロ" の結果を得たり。

(正)

水壓試験をなし、230 lbs/ロ" の結果を得たり、此試験は長崎造船所にて行はれしもので孕石氏の勞を謝す)