

(3) $2CO \rightarrow C + CO_2$ によつて試料の表面に密着する炭素が普通の炭素よりも活性である爲に一部は固態として鐵と化合もしようし又(2)の反應をも促進するのである

う。

此等の三重の作用によつて滲炭が著しく促進せられるのであろう。

鑄鐵の物理的性質に及ぼす燐の影響に就て

(日本鐵鋼協會 第 10 回講演大會講演)

ON THE INFLUENCE OF PHOSPHORUS UPON THE PHISICAL PROPERTIES OF CAST IRONS

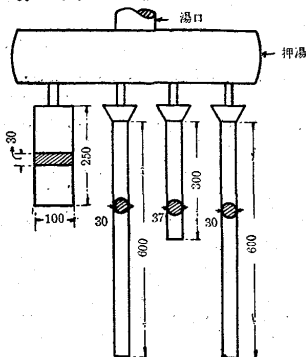
SYNOPSIS:—The purpose of this research is to determine, if possible, the promissible and suitable percentages of phosphorus in the cylinder-liner-cast irons of Diesel Engines. The author, as the samples, took two classes of cast iron one of which is the low carbon and the other is the high carbon cast iron, and each of that has six kinds of phosphor-contents that is 0.10, 0.20, 0.35, 0.50, 0.65, and 0.80 percentage respectively. The results of bending, tension, compression, hardness, impact and wear testing show that the low carbon class cast iron gives the desending properties as the increasing percentage of phosphorus instead of the contradict for the high carbon class. While respect to the cylinder liner cast iron, the author will be permitted to dicide the suitable ammount of phosphorus as 0.30 or 0.35 percentage considering the results of testing.

石 黒 一 彦*

1. 試験材の鑄込寸法及配合成分

試験材は總て坩堝爐にて熔解し乾燥型に鑄込み其の鑄込寸法を第 1 圖に掲げる、即同一配合の地金から横 100 mm 縦 250 mm 厚み 30 mm の角材 1 個、徑 37 mm 長さ 300 mm の丸材 1 本、徑 30 mm 長さ 600 mm の丸材 2 本、合計 4 個の試験材を鑄込んだ、但何れの場合に於ても鑄込溫度を約 1,400°C とし型の溫度を約 80°C とした。

第 1 圖 試験材料鑄込寸法



諸實驗に供した試験材は之を高炭素系と低炭素系に大別する事が出来其各々に就て燐含有量を大概 0.10, 0.20, 0.35, 0.50, 0.65 及 0.80% の 6 種に變へ他の珪素、滿俺及硫黃等は略々一定にした今其配合成分を第 1 表に掲げる。

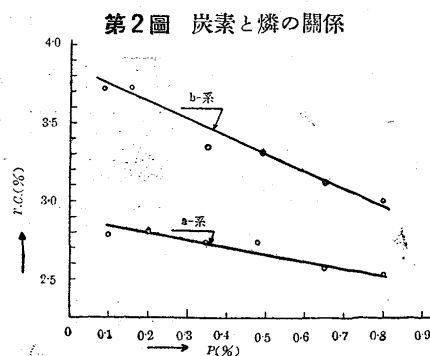
第 1 表から燐含有量と炭素含

第 1 表 試験材の配合成分

符 號	T.C	G.C	C.C	Si	Mn	P	S	Fe
a-10	2.78	2.21	0.57	1.20	0.97	0.098	0.065	殘部
a-20	2.81	2.02	0.79	1.20	1.00	0.200	0.063	〃
a-35	2.73	2.05	0.68	1.21	1.14	0.345	0.067	〃

符 號	T.C	G.C	C.C	Si	Mn	P	S	Fe
a-50	2.73	2.12	0.61	1.24	1.03	0.430	0.078	〃
a-65	2.57	1.86	0.71	1.13	1.03	0.650	0.058	〃
a-80	2.53	1.38	1.15	1.24	1.03	0.800	0.068	〃
b-10	3.71	3.16	0.55	1.30	1.34	0.084	0.032	〃
b-20	3.72	3.13	0.59	1.27	1.27	0.156	0.035	〃
b-35	3.34	2.85	0.49	1.24	1.09	0.350	0.064	〃
b-50	3.31	2.82	0.49	1.24	1.03	0.490	0.068	〃
b-65	3.11	2.62	0.49	1.28	1.03	0.650	0.060	〃
b-80	3.00	2.51	0.49	1.54	1.11	0.800	0.060	〃

有量との間に密接な關係が存在することが判る、此問題に就ては既に Stead¹⁾ Fettweis²⁾, Wüst³⁾ 其他の人々に



依つて研究され充分明瞭にされて居るので有るが唯今の場合は等兩者の關係を圖示することは無駄で無いと考へられるから夫を第 2 圖に示す、之に依ると a 系及

b 系共に燐含有量の増加に伴つて炭素含有量は似寄つた減少の傾向を示すが併し一致しない、之は配合地金の種類、チャージの状態及其他のものに影響されるもので有るから

¹⁾ J. Iron Steel Inst. Bd. 58. S. 109. 1900

²⁾ Metallurgie 1906. S 60

³⁾ Trans. Am. Foundrymen's Ass. Bd. 33

二様の關係線圖を得るのも止むを得ない。

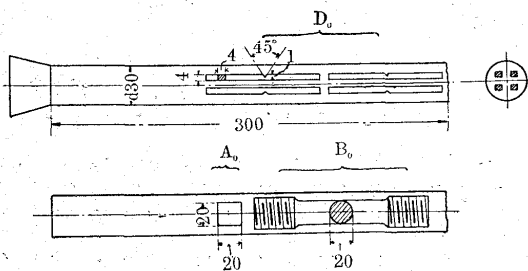
實際の鑄造操業に當りては此事實は大切な問題の一つで有るから種々の場合に就て斯かる關係を明かにして置く事は望ましいことである。

尙此處に辭つて置き度い事は a 及 b の兩系の内 a-65 のみは多少セメントイトが析出して居ると云ふ事で之は機械的性質に大なり小なり影響するから此點を念頭に置いて戴きたい。

2. 試験の種別及各種試験片の寸法

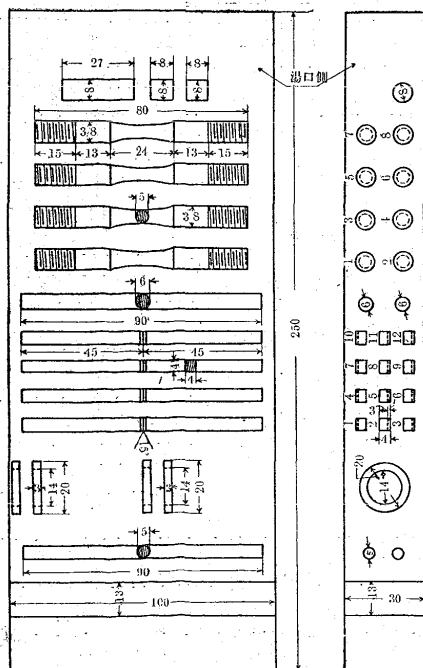
本研究で施行した試験種別は 抗折、抗張、抗壓、打撃、硬度、磨耗、比重、熱膨脹、熱酸化腐蝕及顯微鏡試験等では等の試験に用いた試験片は丸棒及角材の兩方から採つた

第3圖 試験片の切出位置及寸法



もので其切出し位置及寸法を第3及第4圖に示す。

第4圖 試験片の切出位置及寸法



壓及比重試験片 Bは抗張試験片、Cは抗折試験片、Dは打

第3圖は徑30×長600mmの丸材を黒皮のまゝで抗折試験を行つたものから取つた試験片の切出し位置及寸法を示すもので A₀ B₀ 及 D₀は夫々抗壓抗張及打撃試験片である、第4圖は100×250×30mm角材からの試験片切出位置及寸法を示しAは抗

撃試験片、Eは磨耗試験片、Fは熱膨脹及熱酸化試験片、Gは硬度及顯微鏡試験片で腐蝕試験片には比重試験片を用いた。

3. 抗折試験

抗折試験は何れも兩端を自由に支持し中央に荷重する方法を取り丸材及角材の兩者に就て行つた、其内 37φ×300mm 丸材は之を徑 30mm に仕上げて 30φ×600mm 丸材の方は黒皮のまゝで試験した其結果を第2、第3表及第5、第6圖に示す、先づ a 系に就て考察するに丸材と角材とは抗折力が可成違つて居る、之は b 系にも認められるが主として仕上状態、試験片の寸法及冷却速度等に影響されるもので唯今の如く試験材の鑄込寸法が種々で且試験片の寸法及仕上状態が夫々異なつて居る場合には止むを得ない、併し其の何れもが磷含有量の増加と共に抗折力及撓度が低下する事を示し特に P=0.8% の場合の抗折力は第5圖(2) 及 (3) より判る様に低下率が大である、他方 b 系に於ては之とは趣きを異にし磷含有量の増加と共に抗折力は漸次増すが撓度は大きな變化無く大體一定である、從來研究された所に依ると一般に抗折力は磷が約 0.3% 乃至 0.4% に至る迄は増加するが之を超すと返對に減少する、撓度は磷が 0.4% 位迄は餘り變化は無く夫以後は漸次減少する唯今の場合は斯かる現象を特に認めることは出来ない之は前述の如く炭素量が一定でなく磷の増加につれて減少して居るから炭素の減少に依つて抗折力を増加さす作用と磷の増加に伴つて抗折力を増加及減少さす作用とが合成されて居る結果と今一つは鑄込温度及冷却速度に夫々多少の變化が有る爲め黒鉛、炭素及磷の析出状態が相違して來る結果との二つに最も多く影響されて居るものと考へられる、a-系と b-系とが傾向の全く反對して居ることは恐らく炭素量が最も大きな影響を與へて居るもので著者の考へからすれば炭素が 3.7% 位から 3.0% 位に低下する場合に於ける抗折力の増加率は炭素が 2.8% 位から 2.5% 位までに低下する場合に於ける抗折力の増加率¹⁾より大である爲め斯かる傾向を生じたものでは無いと思ふ、兎に角此事實は抗折力のみならず他の機械的性質にも大なり小なり表はれて居るので實際問題として興味有る事と考へる。

¹⁾ 實際キヌボラ操業に當つて珪素、滿俺及磷等の量が普通で炭素量を 2.5% 迄低下することは困難で假令之が可能であるとするも白鈍化に従つて機械的諸性質は低下する、此意味で抗折力の増加と云ふよりも寧ろ減少と云つた方が良いかも知れぬ。

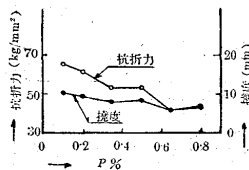
第2表 抗折試験 (a-系)

符	號	a-10	a-20	a-35	a-50	a-65	a-80	記	事
30φ×600mm 丸材を黒皮の儘	破壊荷重(kg)	1190	1147	986	975	784	790	直徑約 30mm 支點距離 600mm 本欄の数値は二つの試験結果の平均値	
	抗折力(kg/mm ²)	65.0	61.2	52.9	52.4	41.0	43.5		
	撓度(mm)	10.1	9.1	7.5	8.0	5.3	6.2		
30φ×300mm 丸材を30φに仕上げたもの	破壊荷重(kg)	2,500	2,430	2,530	2,320	2,120	1,220	直徑 30mm 支點距離 300mm	
	抗折力(kg/mm ²)	70.7	68.8	71.6	65.6	60.0	34.5		
	撓度(mm)	4.6	4.1	3.8	3.4	2.3	1.5		
角材より切出したもの	破壊荷重(kg)	82.8	78.6	76.1	73.4	71.9	54.8	直徑 6mm 支點距離 86mm 本欄の数値は二つの試験結果の平均値	
	抗折力(kg/mm ²)	78.1	74.1	71.8	69.2	67.8	51.7		
	撓度(mm)	2.15	1.90	1.43	1.43	1.30	1.03		

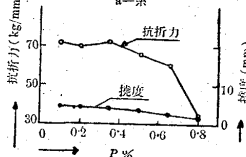
第3表 抗折試験 (b-系)

符	號	b-10	b-20	b-35	b-50	b-65	b-80	記	事
30φ×600mm 丸材を黒皮のまゝ	破壊荷重(kg)	870	848	819	833	1,011	915	直徑約 30mm 支點距離 600mm	
	抗折力(kg/mm ²)	43.9	45.6	44.1	44.2	51.7	47.4		
	撓度(mm)	13.8	13.7	9.0	8.6	11.4	9.3		
37φ×300mm 丸材を徑30mmに仕上げたもの	破壊荷重(kg)	1,380	1,440	1,740	1,900	1,900	1,810	直徑約 30mm 支點距離 300mm	
	抗折力(kg/mm ²)	39.0	40.7	49.2	53.8	53.8	51.2		
	撓度(mm)	3.8	3.7	4.3	3.8	3.9	3.2		
角材より切出したもの	破壊荷重(kg)	41.3	42.2	52.9	52.1	58.6	59.5	直徑 6mm 支點距離 80mm 本欄の数値は二つの試験結果の平均値	
	抗折力(kg/mm ²)	39.0	39.8	49.9	49.1	55.3	56.1		
	撓度(mm)	1.90	1.50	1.80	1.65	1.58	1.50		

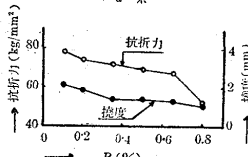
第5圖—(1) 試験片は D30×L600mm
丸材黒皮のまゝ
a-系



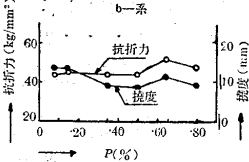
第5圖—(2) 試験片は D37×L300mm 丸材を
30mm に仕上げたもの
a-系



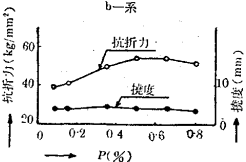
第5圖—(3) 試験片は角材より切出したもの
a-系



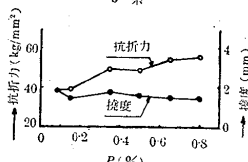
第6圖—(1) 試験片は D30×L600mm
丸材黒皮のまゝ
b-系



第6圖—(2) 試験片は D37×L300mm 丸材を
D30mm に仕上げたもの
b-系



第6圖—(3) 試験片は角材より切出したもの
b-系



4. 常溫及加熱抗張試験

抗張試験は常溫及加熱の兩者を行つた、加熱試験に於ける試験溫度は 400°C 及 500°C で此溫度に 30 分間保持したる後牽引した、其結果を第 4, 第 5 表及第 7, 8, 9 圖に示す、先づ 30φ×600mm 丸材に就ての抗張力と燐との關係を見るに a-系では $P=0.35\%$ で最も強くなり $P=0.5\%$ からは急激な強さの低下を示す、b-系では矢張 0.35% 位で強くなつて居るが一般に燐の増加に伴つて強さを増す、之を角材に就て見るに常溫と加熱とを問はず何れも $P=0.35\%$ 迄は燐の増加に伴つて強さは低下するが之以後 $P=0.65\%$ 迄は強さを増し $P=0.8\%$ となると再び急激な減少を示す b-系では $P=0.35\%$ 迄は急激に強さを増すが $P=0.35\%$ から $P=0.5\%$ 迄は大した變化なく

$P=0.65\%$ で再び増し $P=0.80\%$ で多少減する唯今の場合に於ても抗折試験の場合と同様に丸材と角材との結果に可成大きい數値の隔たりがあるが之は前節既に記述したと同一の原因に依るものと思ふ。

諸次に第 8 圖—(2) 及第 9 圖—(2) の抗張力と溫度の關係を線圖より見るに 400°C で多少強さが低下し 500°C で多少増加する傾向を示すものが多いので先づ 500°C 迄は抗張力の低下はさして大で無いと見て良い、此問題に關しては既に幾多の文献¹⁾に有る、是等の結果を見る

に何れも 200°C 乃至 300°C 附近で一度抗張力は低下し 400°C 乃至 500°C 附近で増加し其以上の溫度では急激な抗張力の低下を示す、又著者が配合を異にする 13 種の鑄鐵に就て行つた加熱抗張試験の結果に依るも此傾向が見られるので是等の内の大部分は 300°C で一度減少し 500°C で増加する傾向を示す、唯今の場合も多少其傾向が覗はれる、此 200°C 乃至 300°C 附近の抗張力の低下

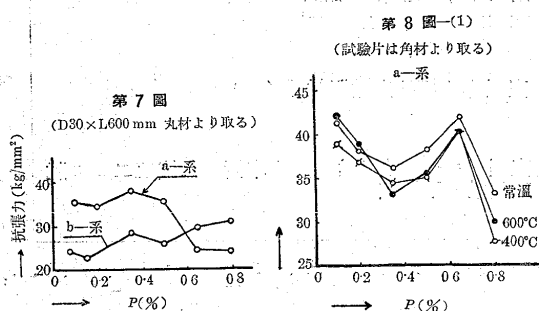
1) 例へば

- J. W. Donaldson Stahl eisen Bd. 45 p. 840~843
- C. Bach. Engg. Bd. 114 277, 1922; Stahl eisen Bd. 43 S. 564, 1923.
- A. Campion 及び J. W. Donaldson Foundry Trad. J. 1923 p. 32~36
- O. Smalley Engg. Bd. 114, S. 277, 1922

は A. Campion 及 J.W. Donaldson の研究結果では鑄造應力の影響が大で有る様に見られるが最近に行はれた J. W. Donaldson 及 P. Kleiber の研究結果からすれば鑄造應力の影響は大で無く鋼の場合に於ける blue shortness (Blanbruch) の現象が此場合にも生じ抗張力の低下を來すものゝ如く考へられる、併し場合に依つては鑄造應力の影響が大で有る場合も有るので寧ろ是等兩者の合成作用と見做すのが至當で有ると思ふ。

5. 抗 壓 試 験

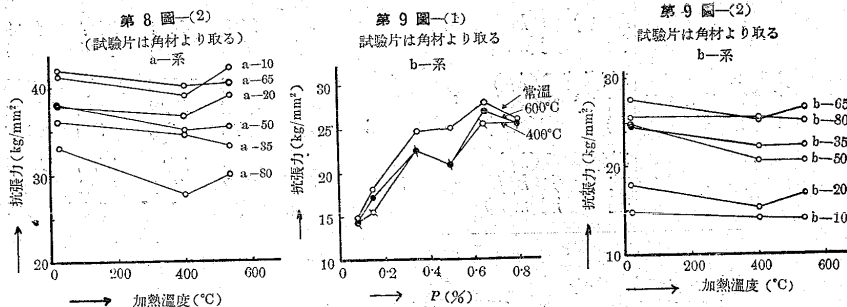
抗壓試験は $30\phi \times 600\text{mm}$ 丸材及角材から夫々徑 20mm 高さ 20mm 及徑 8mm 高さ 8mm の試験片を取り試験した(第3及第4圖参照)其結果を第6、第7表及第10、第11、第12圖に示す、之等より抗壓力と燐との關係を見るに大體抗張力の場合と同様な傾向を示す、唯特に相違せる點を指摘すれば試験片を角材より取つたもので b-系 の抗張力は $P=0.8\%$ で多少減少して居るが抗壓力は非常な増加を示して居る點で有る、縮みの量は大體抗壓力と同様な傾向を示すもので a 系では燐の増加に伴ひ漸次減少し b-系では之と反對に漸次増加の傾向を示す。



第4表 常溫抗張試験

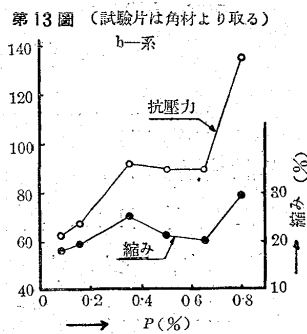
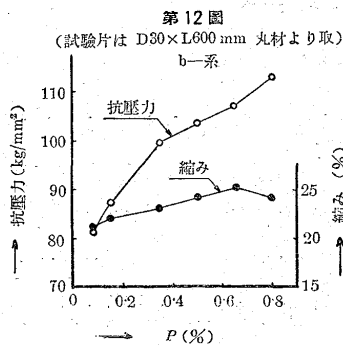
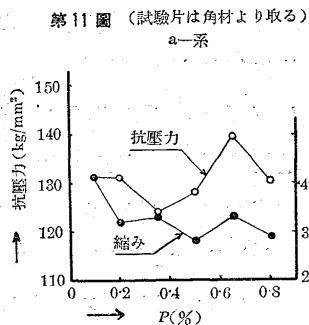
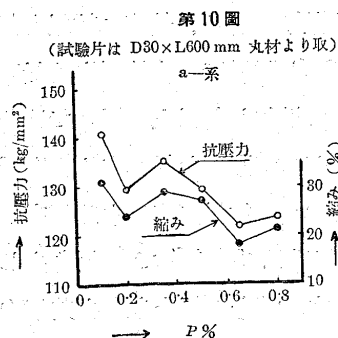
(試験片は $30\phi \times 600\text{mm}$ 試験材より取る)

符號	抗張力 (kg/mm ²)	符號	抗張力 (kg/mm ²)	記 事
a-10	35.1	b-10	24.1	試験片の直径 約 20mm 本欄 の數値は試験 片 2 本の平均 値
a-20	34.0	b-20	22.6	
a-35	37.5	b-35	23.1	
a-50	35.4	b-50	25.7	
a-65	24.1	b-65	29.3	
a-80	23.7	b-80	30.7	



第5表 加熱抗張試験 (試験片は角材より取る)

符號	抗張力(kg/mm ²)			符號	抗張力(kg/mm ²)			記 事
	常溫	400°C	500°C		常溫	400°C	500°C	
a-10	41.3	38.9	42.1	b-10	14.8	14.3	14.1	試験片の直 徑約 5mm 本 欄の數値は 試験片 2 本 の平均値
a-20	38.0	36.7	38.9	b-20	18.0	15.4	17.0	
a-35	36.1	34.4	33.1	b-35	24.6	22.3	22.4	
a-50	38.1	35.0	35.4	b-50	24.9	20.7	20.7	
a-65	41.9	40.1	40.3	b-65	27.8	25.3	26.8	
a-80	33.1	27.6	29.9	b-80	25.7	25.5	25.2	



第6表 抗 壓 試 験

(試験片は $30\phi \times 600\text{mm}$ 丸材より取る)

符號	抗壓力 (kg/mm ²)	縮み (%)	符號	抗壓力 (kg/mm ²)	縮み (%)	記 事
a-10	140.8	31	b-10	81.1	21	試験片の寸法 は直径高さ共 に 20mm 本欄 の數値は試験 片 2 個の平均 値
a-20	129.3	24	b-20	87.2	23	
a-35	135.2	29	b-35	99.5	23	
a-50	129.2	27	b-50	103.3	24	
a-65	121.9	18	b-65	107.0	25	
a-80	123.6	21	b-80	112.8	24	

第7表 抗 壓 試 験

(試験片は角材より取る)

符號	抗壓力 (kg/mm ²)	縮み (%)	符號	抗壓力 (kg/mm ²)	縮み (%)	記 事
a-10	131.5	41	b-10	62.1	18	
a-20	131.2	32	b-20	67.2	19	
a-35	124.0	33	b-35	91.5	25	
a-50	128.1	28	b-50	88.7	21	
a-65	139.6	33	b-65	89.1	20	
a-80	130.5	29	b-80	134.6	29	

6. 打 撃 試 験

打撃試験は単一打撃及繰返打撃試験の2種で繰返打撃試験では常温に於けるもの、外に 400°C 及 600°C に加熱した場合も附加へた、試験片は前者の場合は $30\phi \times 600\text{mm}$ 丸材より取り後者は丸材及角材より取つた、之等の試験に

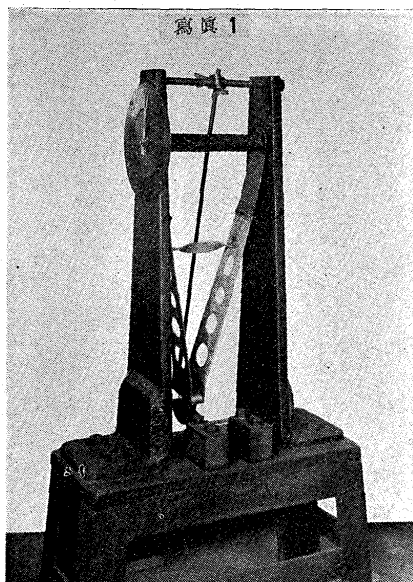
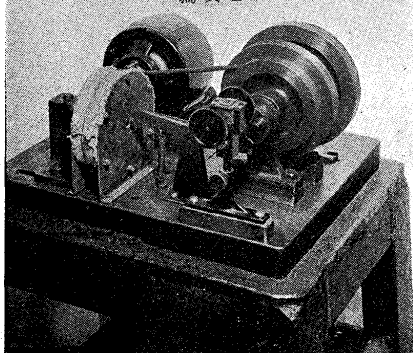
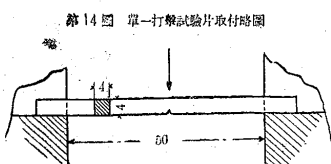


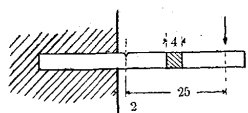
写真2



使用した試験機は當社試験室藤井氏の考案製作に依るもので写真1及2に示す、単一打撃試験機は能力は $180\text{kg}\cdot\text{cm}$ 繰返打撃試験機の毎回の打撃エネルギーは $0.164\text{kg}\cdot\text{cm}$ 打撃数は毎分約400回で何れも極く小型試験機に屬す試験片の寸法は第3及第4圖に示す如く 4mm 角で切込はアイゾット打撃試験片用ミールリングカッターを用ひた、其切込角



第15圖 繰返打撃試験片取付略圖



度 45° 、切込底部の半径は 0.25mm 有る試験片の取付状態は第14及第15圖の如くで単一打撃試験では支點距離を 50mm 繰返打撃

試験では切込部の近くを掴み打撃點から切込部迄の距離を總て 25mm とした、之等の試験の結果を示せば第8第9表及第16第17第18圖のようになる。

先づ第17及第18圖から繰返打撃試験と燐との関係を見るにa系に於ては $P=0.1\%$ から $P=0.2\%$ 乃至 0.35% 迄は打撃回数は漸次増加し夫以後は燐の増加に伴つて急

激に減少するもので燐が 0.2 乃至 0.35% の範圍に最大點がある、併しb系に於ては斯様な現象は無く燐の増加に連れて又打撃回数も増加する、此傾向は抗張、抗折及抗壓試験等に於て既に認められた事實で有るが又繰返打撃試験の結果にも現れる、唯茲に注目すべき點は一般的にa系の打撃回数の方がb系の夫よりも著しく大きな數値を與へて居ることである、b系では $P=0.8\%$ の場合に最大の打撃回数を與へるが此の打撃回数はa系に於て最小の打撃回数を與ふる $P=0.8\%$ の場合と比較するも稍少なく、之をa系に於ける最大打撃回数を與へる $P=0.2$ 乃至 0.35% と比較すると $1/5$ 乃至 $1/6$ に當たる、之は勿論グラハイトの分量、形狀及大きさ等に左右される事は云ふ迄もない事で特に他の機械的數値には斯る大なる差違は認められぬ點からして、グラハイトの多寡が耐打撃性に如何に著しき影響を與へるかが窺はれる、b系では燐の増加と共に耐打撃性を増しa系では其反對になる原因は炭素及燐の合成作用と見做すのが至當でb系の如く炭素が 3.7 乃至 3.0% 位の範圍では恐らく燐の影響よりも炭素の影響の方が大で有りa系の如く炭素が 2.8 乃至 2.5% 位の範圍では炭素の影響は夫程大でなく寧ろ燐の影響の方が大で有る爲で有らう。

尙 400°C 及 600°C に加熱した場合も常温の場合と大體似寄つた傾向を示すもので此程度の加熱温度では之等の間に差したる差違は認められない。

倅次に単一打撃試験の結果を考察するに兩者共に破壊のエネルギーは燐の増加につれて著しく減少し且b系の破壊エネルギーの方がa系の夫よりも大で有る、単一打撃と繰返打撃を比較して見るとa系に於ては夫程でないがb系では之等兩者の結果は全く傾向を異にする、實驗頭初に於ては単一打撃試験には試験片2本宛提供する意向で有つたが斯かる傾向を示した爲不審を抱き更に試験片を尙3本宛増加して附加へた、斯る相違を起す原因は著者も唯今の所充分な説明を加へることが出来ない、機械仕上の差が斯様な差違を生ぜしめるとは考へられない、強いて云へば単一打撃と繰返打撃との破壊道程の差違に粘性の大小が影響して斯かる現象が生ずるのではないと思はれる、如何にしても唯今の所明瞭な説明を加へ得ないので此問題に就ては尙充分な研究を重ねる豫定で有るから夫迄保留したい。

第8表 単一打撃試験 (試験片は $30\phi \times 600\text{mm}$ 丸材より取る)

符號	破壊エネルギー ジ-kg.cm	符號	破壊エネルギー ジ-kg.cm	記 事
a-10	1.077	b-10	1.431	試験片切込部の断面積は 12mm^2 本欄の数値は試験片5本に就ての平均値
a-20	0.952	b-20	1.255	
a-35	0.728	b-35	0.932	
a-50	0.624	b-50	0.746	
a-65	0.553	b-65	0.710	
a-80	0.518	b-80	0.623	

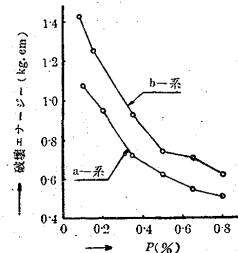
第9表 a系の繰返打撃試験 (試験片は角材及丸材より取る)

符號	試験片を角材より取つたもの			試験片を丸材より取つたもの			記 事
	常温	400°C	600°C	常温	400°C	600°C	
a-10	6464	5867	5077	6314	5466	3715	試験片切込部の断面積は 12mm^2 本欄の数値は試験片3本に就ての平均値
a-20	7704	5716	6438	7440	4206	5627	
a-35	5661	6721	5596	4831	7571	6587	
a-50	4424	4609	4563	3905	5420	5531	
a-65	2871	3692	2333	2912	1813	3390	
a-80	1681	1771	1483	1632	621	1458	

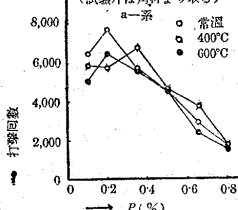
第10表 b系の繰返打撃試験 (試験片は角材及丸材より取る)

符號	試験片を角材より取つたもの			試験片を丸材より取つたもの			記 事
	常温	400°C	600°C	常温	400°C	600°C	
b-10	217	152	127	424	162	337	試験片切込部の断面積は 12mm^2 本欄の数値は試験片3本に就ての平均値
b-20	239	199	231	742	236	298	
b-35	571	647	676	980	372	760	
b-50	1130	793	854	1255	564	937	
b-65	1336	1924	1205	1113	762	1026	
b-80	1373	1384	1344	1247	1184	1232	

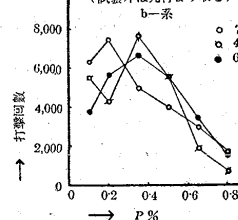
第16圖 単一打撃試験 (試験片は丸材より取る)



第17圖(1) 繰返打撃試験 (試験片は角材より取る)

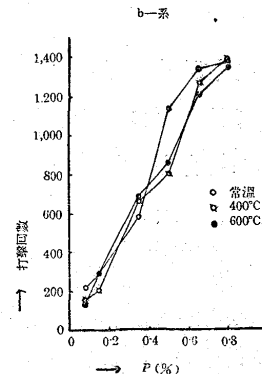


第17圖(2) 繰返打撃試験 (試験片は丸材より取る)



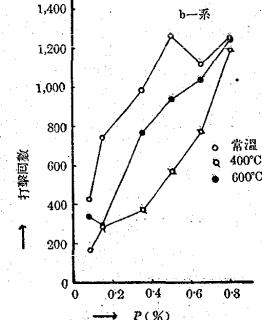
第18圖(1)

繰返打撃試験 (試験片は角材より取る)



第18圖(2)

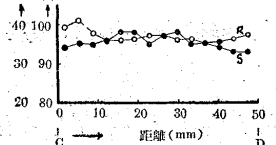
(試験片は丸材より取る)



第21圖(1)

a-10

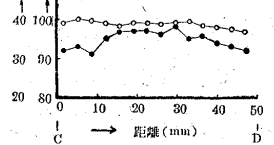
測定位置—CD線



第21圖(2)

a-20

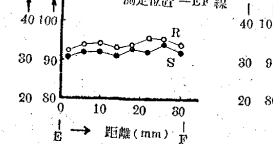
測定位置—CD線



第21圖(3)

a-35

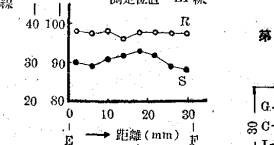
測定位置—EF線



第21圖(4)

a-50

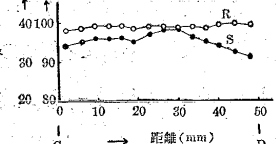
測定位置—EF線



第21圖(5)

a-65

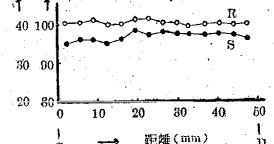
測定位置—CD線



第21圖(6)

a-80

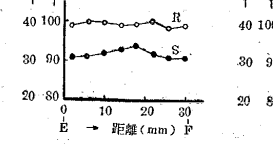
測定位置—CD線



第21圖(7)

a-10

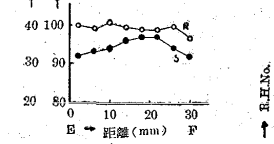
測定位置—EF線



第21圖(8)

a-20

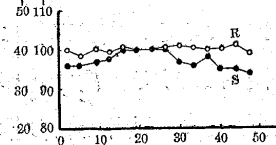
測定位置—EF線



第21圖(9)

a-35

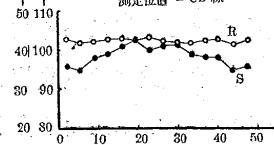
測定位置—CD線



第21圖(10)

a-50

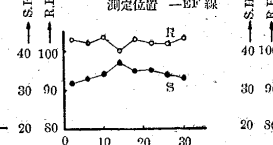
測定位置—CD線



第21圖(11)

a-65

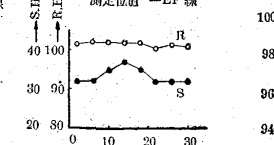
測定位置—EF線



第21圖(12)

a-80

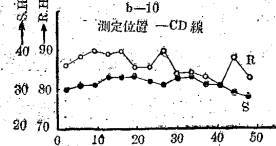
測定位置—EF線



第22圖(1)

b-10

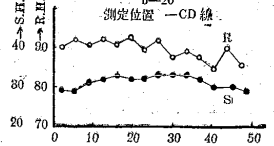
測定位置—CD線



第22圖(2)

b-20

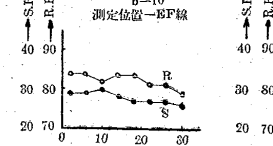
測定位置—CD線



第22圖(3)

b-35

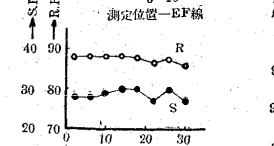
測定位置—CD線



第22圖(4)

b-50

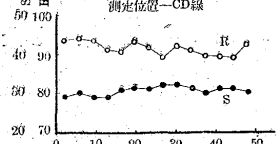
測定位置—EF線



第22圖(5)

b-65

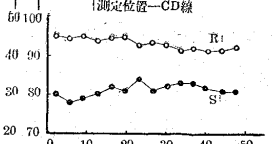
測定位置—CD線



第22圖(6)

b-80

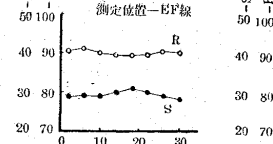
測定位置—CD線



第22圖(7)

b-10

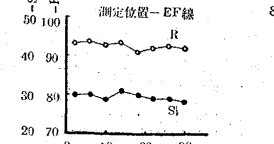
測定位置—EF線



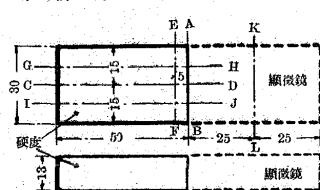
第22圖(8)

b-20

測定位置—EF線

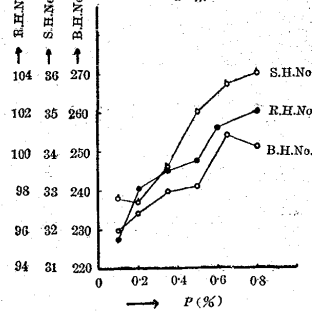


第19圖 硬度測定位置 肉太線は炭皮を意味す



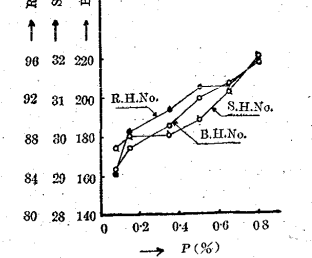
第20圖(1) 角材の硬度

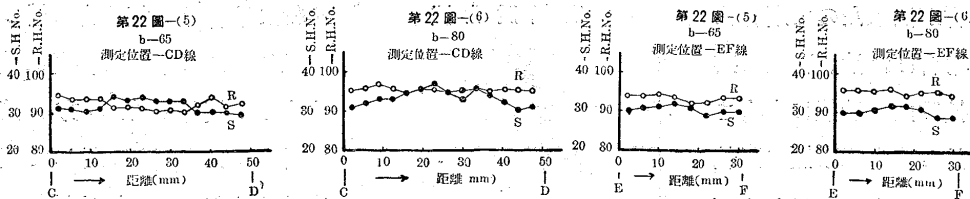
a-系



第20圖(2) 角材の硬度

b-系





7. 硬 度 試 験

硬度試験は第4圖のG部に就て行つた、此G部は第19圖の如き寸法を有し黒皮の部分は仕上を施さず其儘とし之をA B線に沿つて等分し一方を硬度試験に他方を顯微鏡試験に提供した、硬度試験の種類はロツクウェル、ショアー及ブリネルの3種でロツクウェル及ショアー硬度はCD及EF線に沿つて3mm乃至4mmの間隔で求めブリネル硬度はGH及IJ線に沿つて夫々3ヶ所測定した、之等の平均値を第11表及第20圖に揚げ尙精細に測定したショアー及ロツクウェル硬度を第21及第21圖に示す、先づ硬度と燐の關係を第20圖に就て見るに燐の増加は硬度の上昇を來たすことが知れる、勿論唯今の場合は燐の増加につれて他方炭素量を低下して居るので硬度の上昇に此影響も入つて來る故、此結果は當然と云へ様う、次に第21及第22圖からショアー及ロツクウェル硬度變化の状態を見るに一般にショアーとロツクウェルは大體似寄つた傾向を示す曾つて著者が低炭素低珪素のライナー地金で鑄込寸法を異にする丸材を造り之等の外側部から中心に至る迄の硬度を精細に試験したことが有る、其結果は外側部と中心部は硬度低く其中間部が高くなることを確めた、唯今の場合はCD及EF兩線上の硬度共に兩側部が低く中央部で高い數値を示すものが多い、即EF線に沿つては中央部が低くなると云ふ事はなく寧ろ内外共に大體に等しいか又は中央部が高い傾向を示すがCD線に沿つては一二の例外は有るが外側部及中央部(AB線が粗材の中心線になるから)が低く其中間が高い傾向を示すものが多い、何れにしても此問題は大切な意義を持つもので有るから個々の場合に就て充分の研究が必要で有る。

第11表 硬 度 試 験

符號	a-系			符號	b-系		
	B.H.No.	S.H.No.	R.H.No.		B.H.No.	S.H.No.	R.H.No.
a-10	230	32.8	95.5	b-10	163	29.7	84.2
a-20	234	32.7	98.1	b-20	174	30.0	88.5
a-35	239	33.6	99.0	b-35	185	30.0	90.7
a-50	241	35.0	99.5	b-50	199	30.4	92.8
a-65	254	35.7	101.2	b-65	206	31.1	92.7
a-80	251	36.0	102.0	b-80	217	32.0	95.4

8. 磨 耗 試 験

磨耗試験特に鑄鐵に關する磨耗試験は既に良く知られて居る如く材料試験の中でも最

も困難なもの一つとされて居る、最近鑄鐵に關しても種々の研究が發表されて來たが未だ將來の研究に俟つべきものが多く一定の確信を得るまでに成つて居ない、著者は本問題に關し研究の必要を痛感し當社試験室藤井氏考案の試験機を以て本研究用鑄鐵の磨耗試験を行つたもので試験は尙現在續行して居る、從つて本節に記載する結果は研究の一部に過ぎないので完成したもので無いことをお断りすると同時に他方結果に現はれた數値に於ても不審に感ぜられる點が有るが之等は凡て本實驗が完成する迄待つて載くことにしたい、以上の如き状態で有るから特に本實驗に就て忌憚なき御注意を聞き將來の研究に備へ度いと思ふ。諸試験機の構造は第23圖の様で之を寫眞3に示す、試験片は第4圖E部から取つたもので唯今の試験には外側部から取つたものを用ひた、其寸法は内徑14mm外徑20mm厚み3mmのリング狀で之を夫々回轉軸及靜止軸の一端に取付けて互に向合せ靜止軸には軸方向に力を加へて試片の接觸面に所要の壓力を加へ、他の回轉軸にはモートルに依り所要の回轉を與へて磨耗起さす。

尙靜止軸を細い絹絲で磨擦係數記録裝置に連續して刻々の磨擦の變化を記録する様にしベヤリングは熱の影響を受けて磨擦を増す恐れ有る爲0.05%クロム酸溶液で冷却した、加熱裝置はニクロム線電氣爐を用ひ此電氣爐中に銅パイプを挿入して其先端を試験片接觸部の上方に配置して注油した。

試験片は豫め試験機に取付けて微細な研磨用粉末で摺合せを行ひ何れの試験片も表面の状態を略同一にした、常溫無注油磨耗試験に於ては靜止軸の方にa-10を取付け之を一定にして他の回轉軸に取付ける方をa-10, a-20, …… a-80と種々に變化した、加熱注油磨耗試験の場合は回轉軸に取付く試験片が一定で之にデーゼル機關用リング鑄鐵を撰び靜止軸の方にはa-10, a-20, …… a-80と種々に變へた、リング鑄鐵の配合成分及機械的性質は第15表に示す

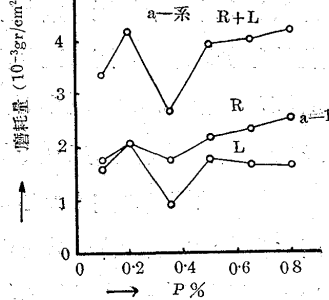
今之等の試験結果を示せば第12, 第13, 第14表及第24, 第25, 第26圖の如くに成る、(試験状態は各表を参照) 此内第13, 第14表の場合は兩者共に試験状態は同一

第 13 表 加熱注油磨耗試験

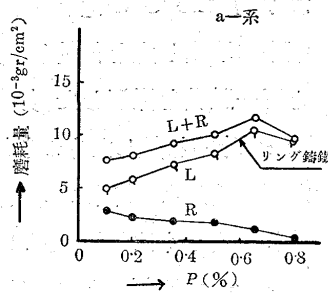
荷重 = 23.86 kg/cm^2 平均速度 = 1.78 m/sec 試験時間 = 50 時間 加熱温度 = $180^\circ\text{C} \sim 200^\circ\text{C}$

試験片符號		磨耗量 $\text{gr/mm}^2 (10^{-3})$			焼付いた時 の摩擦係數	焼付後の摩 擦係數	記 事
L	R	L	R	和			
リング鑄鐵	a-10	5.012	2.871	7.883	0.216	0.078~0.070	注油は 1 秒に 1 滴、焼付は試験開始後大體 2~3 分経過した時より此際直ちに油の量 を増し約 5 分の後 3 秒に 1 滴の割合にした
"	a-20	5.742	2.372	8.114	0.200	0.090~0.083	
"	a-35	7.365	1.935	9.300	0.200	0.119~0.074	
"	a-50	8.363	1.748	10.111	0.208	0.107~0.068	
"	a-65	10.614	1.155	11.769	0.208	0.090~0.056	
"	a-80	9.400	0.374	9.774	0.216	0.098~0.050	

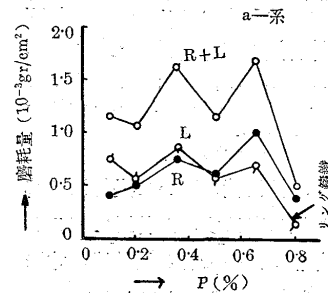
第 24 圖 常溫無注油磨耗試験



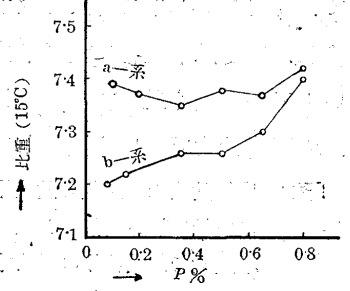
第 25 圖 加熱注油磨耗試験



第 26 圖 加熱注油磨耗試験 (焼付)



第 27 圖 比重試験



第 14 表 加熱注油磨耗試験

(試験状態は第 13 表と同じ)

試験片符號		磨耗量 $\text{gr/cm}^2 (10^{-3})$			摩擦係數	記 事
L	R	L	R	和		
リング鑄鐵	a-10	0.749	0.406	1.155	0.107~0.065	注油は 1 秒 に 1 滴
"	a-20	0.562	0.499	1.061	0.102~0.048	
"	a-35	0.874	0.749	1.623	0.099~0.032	
"	a-50	0.562	0.593	1.155	0.084~0.043	
"	a-65	0.687	0.999	1.686	0.095~0.034	
"	a-80	0.125	0.374	0.499	0.124~0.052	

9. 比重試験

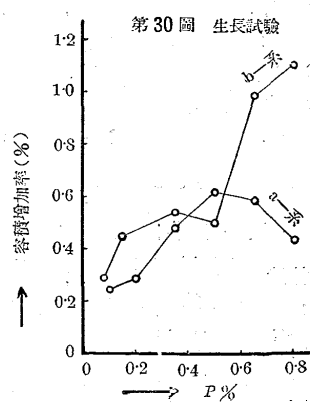
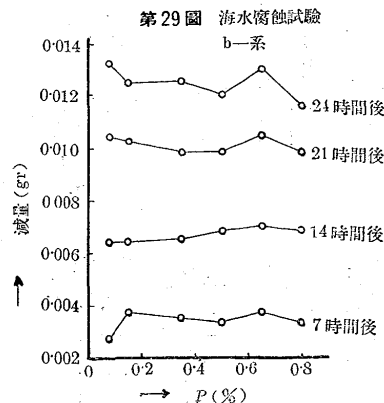
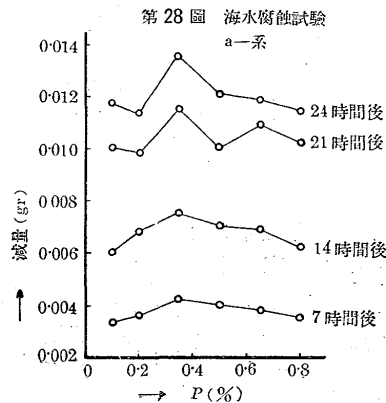
比重試験片は第 4 圖 A 部から取り其の寸法は $8\phi \times 27 \text{ mm}$ で有る、其の結果を第 16 表及第 27 圖に掲げた。

第 16 表

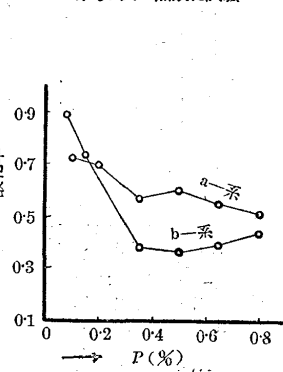
符號	比 重 (15°C)	符號	比 重 (15°C)	一系の方では燐の増加につれ て比重は餘り變化は無いが b 一系の方では 燐 の増加につれ て増加の傾向を示す、今之を
a-10	7.39	b-16	7.20	
a-20	7.37	b-20	7.22	
a-35	7.35	b-35	7.26	
a-50	7.38	b-50	7.26	
a-65	7.37	b-65	7.30	
a-80	7.42	b-80	7.40	

理論的に考察するに燐が大部分 Fe_3P として析出するとし
グラハイトカーボンの量は全部同一で有ると假定すれば
 Fe_3P の比重は大體 6.9 に近いから斯かる假定の下では燐
の増加につれて比重は減少する事に成る、然るに唯今の場
合は既に前述せる如く a. b 兩者共に燐の増加につれて他方
に炭素の減少を來す。

此の炭素の減少のみに付いて考へれば當然比重は増加す
る、即ち燐の増加は比重を減少さすが他方炭素の減少は比
重を増加さす此の二つの相反する作用の重り合つたものが
本試験の結果に現れて居ると考へられる、a-系で比重の差
が大でないのは主として之等兩者の作用が丁度相半ばし、
b-系で燐の増加と共に比重の増加するのは炭素減少に依
る比重増加作用の方が大なるに由ると考へる事が出来る、
實際に比重は出來得る限り小さく仕度いので有るから此の
點からも燐の含有量に注意を拂ふ必要が有る。



第 31 圖 熱酸化試験



10. 腐 蝕 試 験

腐蝕試験は比重試験後に之に用ひた試験片を用ひ之を 50°C に加熱せる海水中に浸して 7 時間置きに減量を測定し之を 3 回繰返したる後最後の試験時間を 3 時間とし合計 24 時間の試験を行つた、海水は横濱港内のもので第 17 表の如き成分を有す、海水を 50°C に加熱したのは實際のシリンダーライナー使用状態に近くする爲で有る。

今此の結果を第 9 表及第 28, 第 29 圖に示す、即 a-系では 35% の場合が最も多く腐蝕されて居るが b-系では大した差違は無い様で有る、之等兩系の差違は先づ認め難いと云つて良く此の程度ならば燐及炭素含有量の腐蝕に及ぼす影響は大で無いと斷定して良からう。

「註」 腐蝕試験では減量を試験片の單位面積に附いて幾何又は其の重量に就いて何% と云つた風に表はすのが普通で有るが本試験では試験片の形状寸法略々同一で有る爲前述の寸法に依らず單に減量 (gr) のみを記載することにした。

第 17 表 海水の成分 (%)

鹽 分	硫酸鹽	酸化鐵	石 灰	マグネシヤ	反 應
2.53	0.24	0	0.025	0.140	弱酸性

第 18 表 腐 蝕 試 験

系 符號	腐蝕減量 (gr)				記 事
	7 時 間 後	14 時 間 後	21 時 間 後	24 時 間 後	
a-10	0.0033	0.0060	0.0100	0.0117	海水の温度は 50°C
a-20	0.0036	0.0068	0.0098	0.0113	
a-35	0.0042	0.0075	0.0115	0.0135	
a-50	0.0040	0.0070	0.0100	0.0120	
a-65	0.0038	0.0069	0.0109	0.0118	
a-80	0.0035	0.0062	0.0102	0.0114	
b-10	0.0027	0.0064	0.0104	0.0132	
b-20	0.0037	0.0064	0.0102	0.0124	
b-35	0.0035	0.0065	0.0098	0.0125	
b-50	0.0033	0.0068	0.0098	0.0120	
b-65	0.0037	0.0070	0.0105	0.0130	
b-80	0.0033	0.0068	0.0098	0.0116	

第 19 表 熱 膨 脹 試 験

符號	線 熱 膨 脹 係 數					
	100°C~200°C	200°C~300°C	300°C~400°C	400°C~500°C	500°C~600°C	600°C~700°C
a-10	0.000 012 621	0.000 015 296	0.000 015 797	0.000 016 550	0.000 017 720	0.000 017 971
a-20	0.000 010 950	0.000 013 290	0.000 015 714	0.000 017 385	0.000 018 557	0.000 018 138
a-35	0.000 008 513	0.000 014 355	0.000 014 772	0.000 015 023	0.000 015 106	0.000 017 443
a-50	0.000 011 022	0.000 015 531	0.000 015 782	0.000 016 533	0.000 017 953	0.000 018 036
a-65	0.000 010 091	0.000 013 034	0.000 015 725	0.000 016 650	0.000 016 566	0.000 018 248
a-80	0.000 009 009	0.000 014 264	0.000 013 764	0.000 015 599	0.000 018 185	0.000 017 851
b-10	0.000 012 191	0.000 013 277	0.000 015 197	0.000 016 450	0.000 017 452	0.000 020 541
b-20	0.000 014 104	0.000 015 774	0.000 013 437	0.000 016 441	0.000 017 693	0.000 017 276
b-35	0.000 008 688	0.000 013 617	0.000 015 873	0.000 017 210	0.000 017 794	0.000 018 463
b-50	0.000 010 025	0.000 012 949	0.000 015 288	0.000 017 711	0.000 018 129	0.000 017 544
b-65	0.000 009 185	0.000 016 533	0.000 015 531	0.000 017 452	0.000 015 364	0.000 016 533
b-80	0.000 010 020	0.000 015 865	0.000 015 030	0.000 015 448	0.000 017 285	0.000 018 621

第 20 表 生 長 試 験

符號	容積増加率 (%)	符號	容積増加率 (%)	記 事
a-10	0.2472	b-10	0.2900	
a-20	0.2870	b-20	0.4528	
a-35	0.4805	b-35	0.5440	
a-50	0.6204	b-50	0.4990	
a-65	0.5933	b-65	0.9850	
a-80	0.4310	b-80	1.1041	

11. 熱膨脹及熱酸化試験

本試験に使用した試験片は第 4 圖 F 部から採つたもので熱膨脹試験片は径 5mm 長さ 40mm で空氣中で 700°C に加熱せる場合の膨脹を測定し生長は径 5mm 長さ 25mm の試験片を用ひ之を夫々磁性ポートに入れて電氣爐に挿入し水素瓦斯を通して酸化を防ぎつゝ約 825°C に 20 時間連續に加熱せる後の容積の増加より求め、熱酸化は同じく径 5mm 長さ 25mm の試験片を用ひ之を夫々磁性ポートに入れて約 825°C の電氣爐中に挿入し 1 時間半經過後之を空氣中に取出し之を秤量して酸化量を求め前後 3 回に亘り之と同一試験を繰返した、勿論磁性ポートは豫め約 850°C に約 12 時間加熱したものを用ひた、之等の結果を第 19, 20, 21 表及第 30, 31 圖に示す、熱膨脹係數は温度の高くなるに連れて大きくはなるが何れも略々似寄つて居て配合成分の及ぼす影響は判然と見分け難い。生長率は b-系では燐の増加に従つて増加するが a-系では $P=0.5\%$ 迄は増加し之より燐の量が増せば減少する、熱酸化率は a-系では燐の増加につれて減少し b-系では $P=0.35\%$ 迄は急激に減少し之以後は多少増加の傾向を示す、之等の結果に就いては今の所充分な説明が下せない。之は恐らく影響するファクターが多い爲では無いかと思ふ。

兎に角之等の試験に参考に供する意味で行つたもので有るから大體の見當を附ける程度に止め尙精細な結果は他日に發表する機會を得たいと思ふ。

12. 顯 微 鏡 試 験

顯微鏡試験は第 4 圖 G 部に就いて行つた、檢鏡位置は

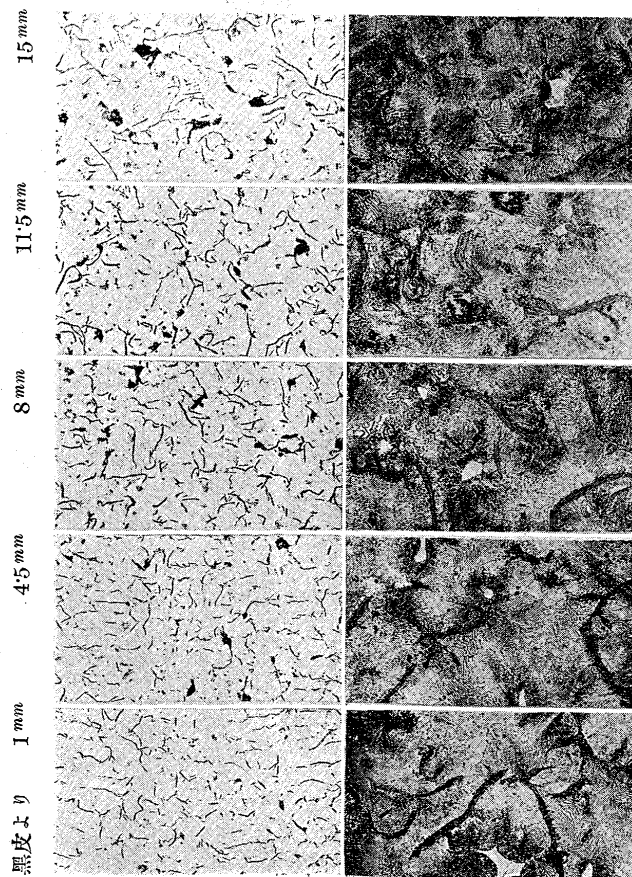
第 21 表 熱 酸 化 試 験

符號	酸化率 (増量の割合)	符號	酸化率 (増量の割合)	記 事
a-10	0.7214	b-10	0.8841	本欄の數値は總て合計 3 回の繰返し試験に依る結果で有る
a-20	0.6949	b-20	0.7343	
a-35	0.5630	b-35	0.3751	
a-50	0.5987	b-50	0.3647	
a-65	0.5458	b-65	0.3921	
a-80	0.5074	b-80	0.4370	

(寫眞倍率は記入のものを寸法にて 0.47 に縮小)

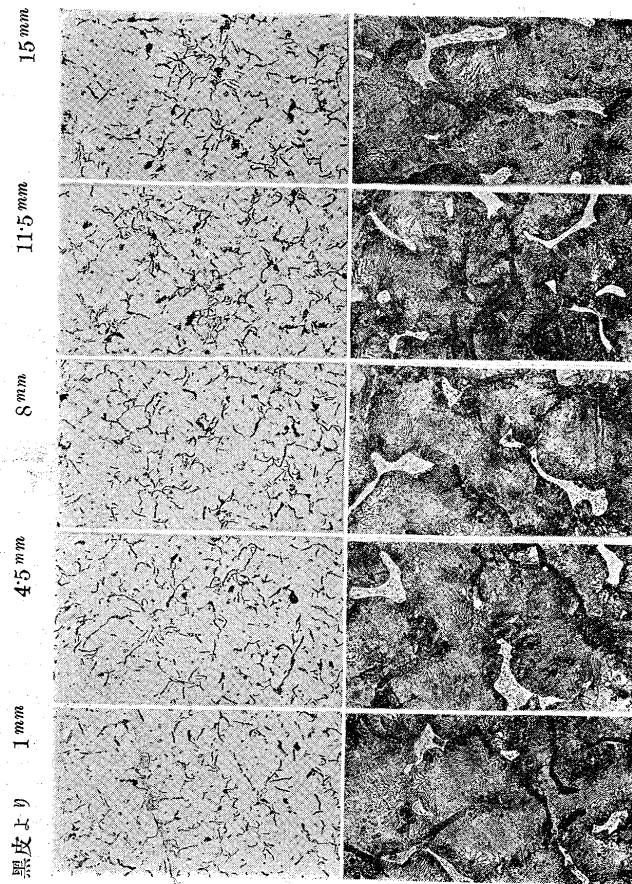
寫眞 4.

a-10 グラハイト×60 パーライト×300



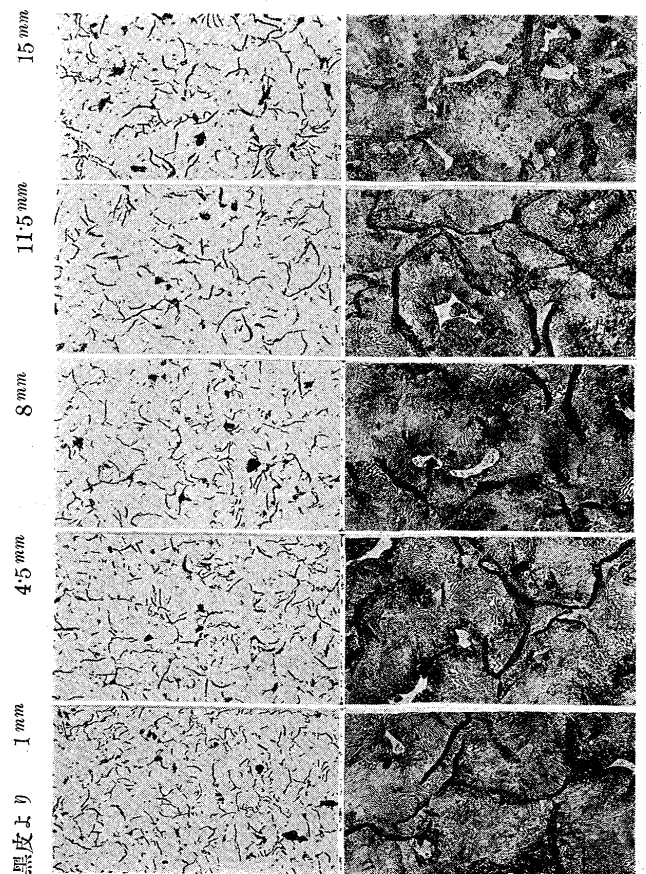
寫眞 6.

a-35 グラハイト×60 パーライト×300



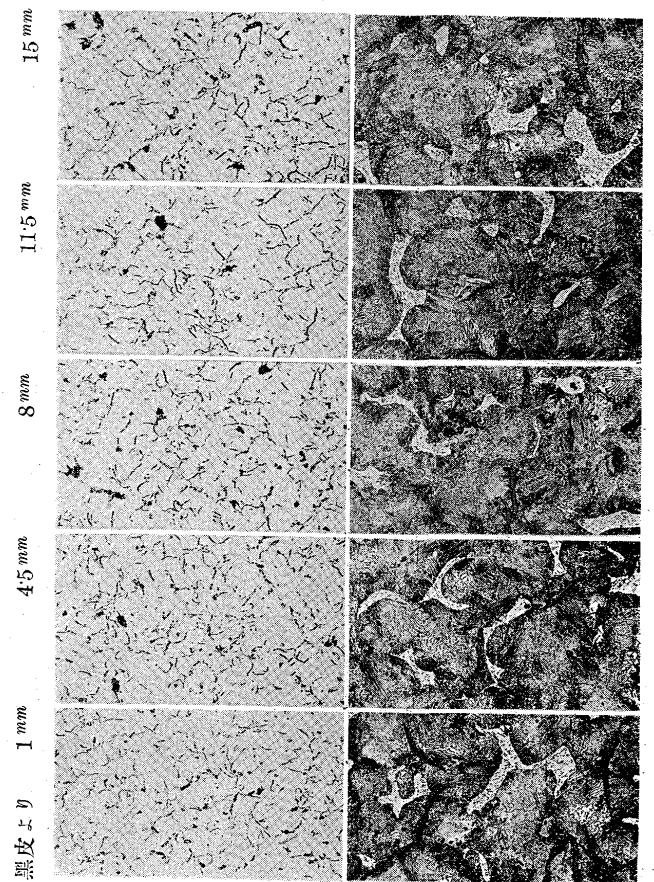
寫眞 5.

a-20 グラハイト×60 パーライト×300



寫眞 7.

a-50 グラハイト×60 パーライト×300



(寫眞は記入倍率のものを寸法 0.47 に縮小)

寫眞 8.
黒皮より 1 mm

a-65
4.5 mm

グラハイト×60
8 mm

パーライト×300
11.5 mm

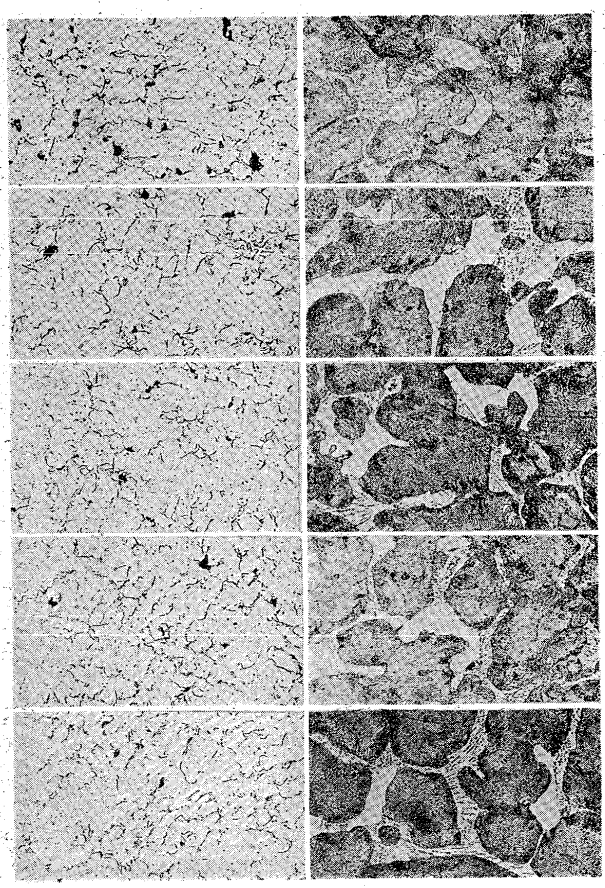
寫眞 10.
黒皮より 1 mm

b-10
4.5 mm

グラハイト×60
8 mm

パーライト×300
11.5 mm

15 mm



寫眞 9.
黒皮より 1 mm

a-80
4.5 mm

グラハイト×60
8 mm

パーライト×300
11.5 mm

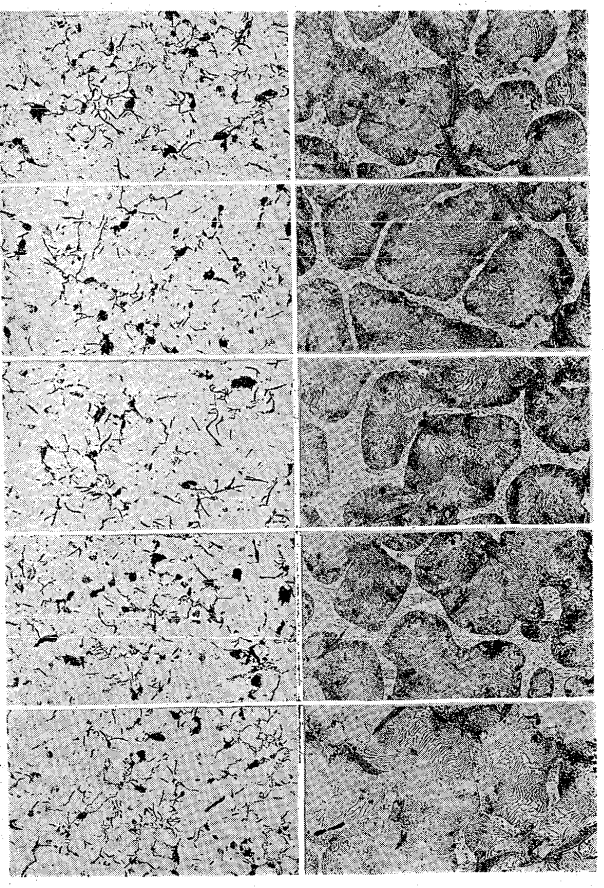
寫眞 11.
黒皮より 1 mm

b-20
4.5 mm

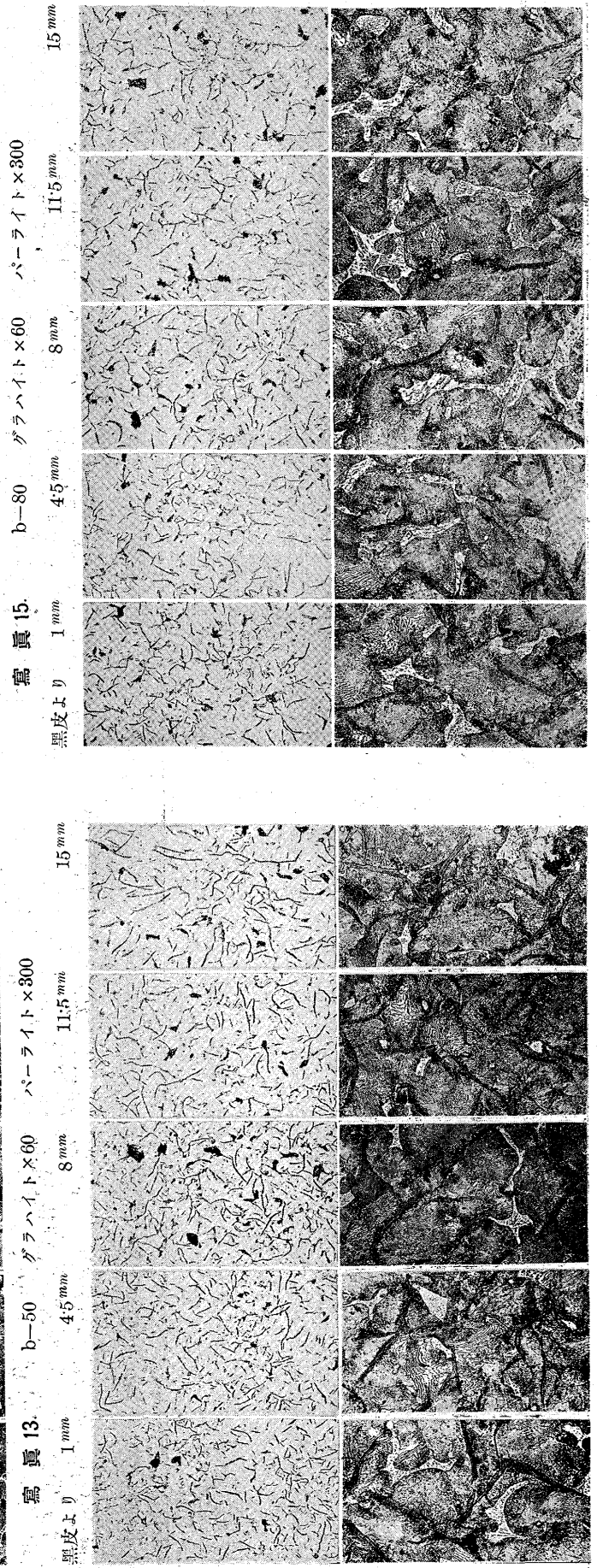
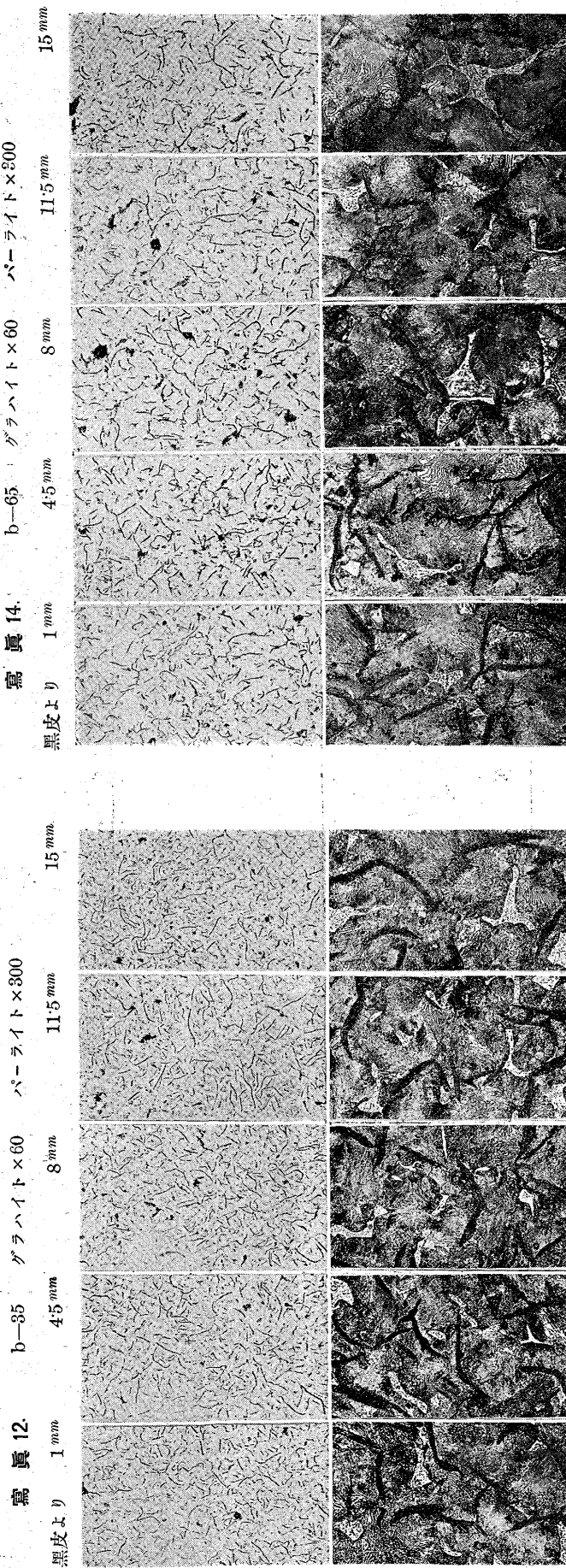
グラハイト×60
8 mm

パーライト×300
11.5 mm

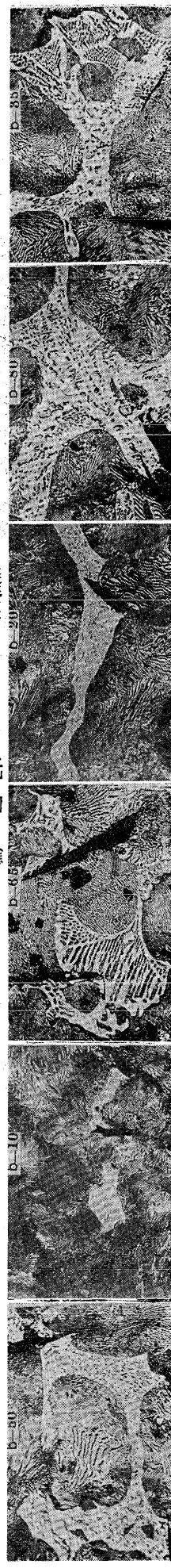
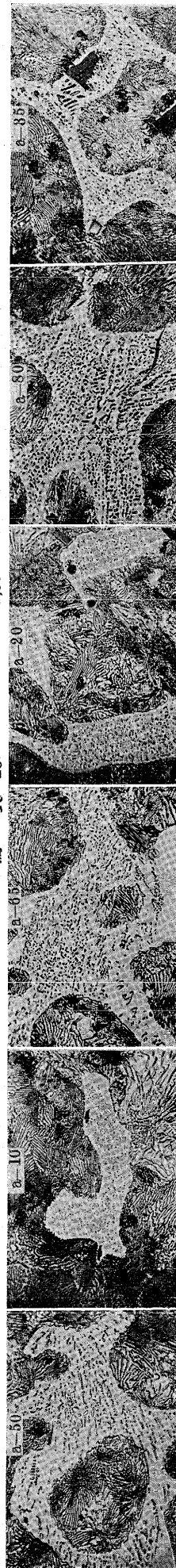
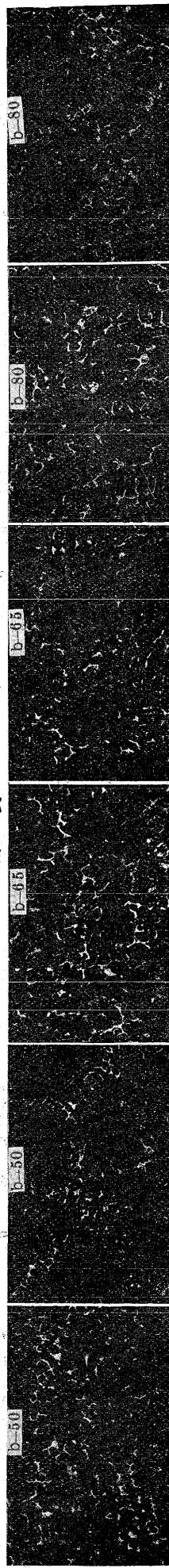
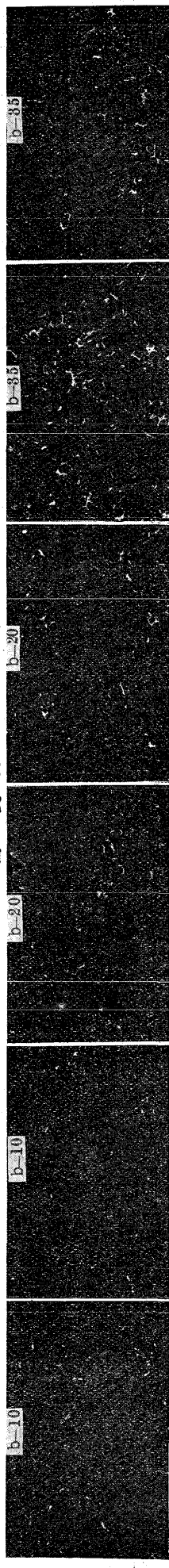
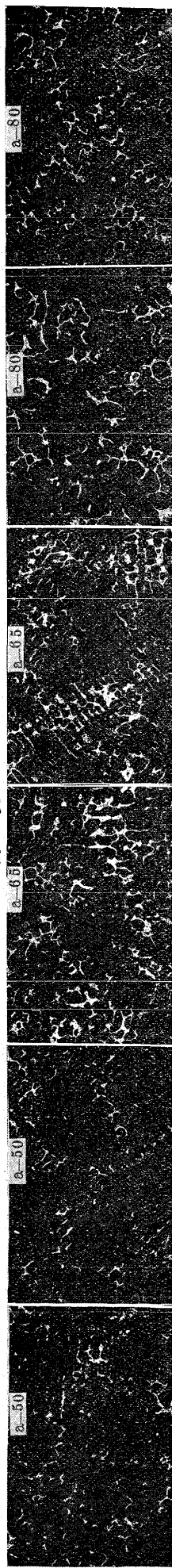
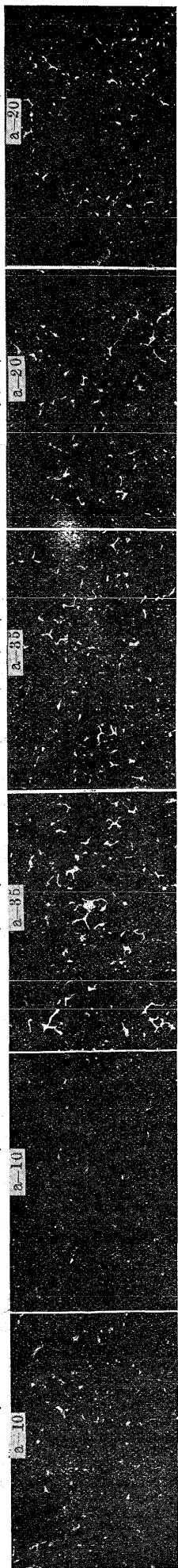
15 mm



(寫眞は記入倍率のものを寸法 0.47 に縮小)



中央部 外側部 中央部 外側部 ×60 寫眞 16. 中央部 外側部 中央部 外側部 ×60 寫眞 17. 中央部 外側部 中央部 外側部 ×60 寫眞 18. 中央部 外側部 中央部 外側部 ×60 寫眞 19. 中央部 外側部 中央部 外側部 ×1,000 寫眞 20. 中央部 外側部 中央部 外側部 ×1,000 寫眞 21.



第 19 圖の KL 線に沿つて外側から 1mm, 4.5mm, 8mm, 11.5mm 及 15mm の 5ヶ所で之等を寫眞 4~15 に示す、尙外側部及中央部に於ける燐共晶の分布状態を寫眞 16~19 に此燐共晶の一部を擴大したものを寫眞 20 及 21 に示す、先づ寫眞 4~15 を見るに燐の増加に伴ふ組織の變化が明瞭に窺はれる、燐の増加につれてグラハイトの分量が漸次減少する事が判ると同時に多少太く短くなる傾向を示し他方パーライトは目が荒くなる傾向の有る事が判る、a 系の方で a-10 乃至 a-50 迄はソルビチックパーライト組織を示し他は多少ソルビチックの箇所も認められるが夫程で無い、尙外側部と中央部の組織を比較するにパーライト及グラハイト兩者共に變化の有る事が認められる、之は冷却速度の相違に基因するもので今更喋々する必要は無いので此の程度なら先づ良好と認められる。

次は寫眞 16~19 より燐共晶の分布状態を見るに外側部の方は燐の共晶の形状も小さく又分量も少ないが中央部の方は形状も大きく分量も多い事が判る¹⁾。尙何れの場合に於ても燐の分布状態は網目状を形成する場合多く、外側では之が小さく内側では之が大きくなる、之は唯今の寫眞からは倍率が大き過ぎた爲充分窺ひ兼ねるが併し此の傾向は察知される、從來の研究からすれば此の網目状は大體第一次の結晶粒の大きさを表すもので有るから燐の共晶が小さい網目状に成ることが高級鑄鐵の具備すべき一つの必要條件とされて居る、之は著者が種々の鑄鐵に就いて行つて見た經驗からするも間違ひない様で有る、何れにしても鑄鐵の機械的性質に及ぼす燐の影響として其の分量の多少が重視せらるべきで有ると共に其の分布状態も亦忘却する事の出来ない大切な問題で有る事が判る。

結 論

以上の諸試験の結果を綜合すれば次の様に成る。

a) 燐が増加すれば他方炭素量が減少する、其減少率はキュボラの個性及其の操業に左右されるのみならず又地金の配合成分にも支配されるから種々の場合に就て此の點を

¹⁾ a-65 に於ては他と比較して燐の共晶が大きく且多い様で有るが之はセメントライトも加はつて居る爲で有る。

充分明らかにして置く必要が有る、本研究の場合は a-系の減少率は b-系の夫に比較して小で有る。

b) 抗折力は燐の増加につれて a-系では減少し b-系では増加し撓度は a-系では減少するが b-系では夫程でない

c) 抗張力は一般に a-系では燐の増加に伴つて減少するが b-系では反對に増加する、加熱抗張は常溫と似寄つた傾向を示し此の程度の溫度では其の低下は著しくない。

b) 抗壓力は大體抗張力に似た傾向を示し縮みは a-系では燐の増加に伴つて減少するが b-系では増加する。

e) 單一打撃試験に於ける破壊エネルギーは a-系 b-系共に燐の増加につれて著しく低下するが繰返常溫及加熱打撃試験で a-系に於ては $P=0.2$ 乃至 0.35% 附近に一度耐打撃性が最大に成る點が有り大體單一打撃試験の結果と似て居るが b-系では燐の増加につれて耐打撃性を増す。

f) 硬度は a-系、b-系共に燐の増加につれて増加する。

g) 磨耗に就いては本研究の結果のみにては未だ充分確信有る結論を下し得ないが注油した場合と然らざる場合及注油し且焼付いた場合等を比較してシリンダーライナー及ピストンリング兩者の實際操作に依り充分注意を呼び度い。

h) 比重は a-系の方では餘り大きな變化は認め難いが b-系の方では燐の増加につれて増加する。

i) 海水中に於ける腐蝕は a-系 b-系共に大體似寄つて居て著しき差違は認め難い。

j) 組織に及ぼす燐の影響は著しくは無いが燐の増加が炭素量を減少さす爲従つてグラハイトも減少する事に成るから之が明瞭に認められる、燐の増加に伴つてパーライトは多少荒くグラハイトの形状は太く短く成る様で有る、又燐の共晶の分布は外側部では形状も小さく分量も少ないが中央部に行くに従つて形状も大きく分量も多くなるのが認められる。

k) 熱膨脹係数は配合成分に依り判然たる差違は認め難く大體に似寄つた數値を示す。

最後に本研究を指導された當社試験室主任藤井氏並に顯微鏡其他化學的試験を分擔指導された藤盛氏其他試験室の方々に深甚の謝意を表はす。