

黒心可鍛鑄鐵に對する成分の影響

(大正十五年十一月日本鐵鋼協會第二回講演大會講演)

菊 田 多 利 男

目 次

緒 論

第一章 黒心可鍛鑄鐵の焼鈍に對する成分の影響

- 第一節 珪素の影響
- 第二節 炭素の影響
- 第三節 滿侓の影響
- 第四節 硫黄の影響
- 第五節 燐の影響
- 第六節 銅の影響
- 第七節 クロミウムの影響
- 第八節 錫の影響

第九節 ニッケルの影響

第十節 アルミニウムの影響

第二章 黒心可鍛鑄鐵の牽引試験に對する成分の影響

- 第一節 珪素の影響
- 第二節 炭素の影響
- 第三節 燐の影響
- 第四節 銅の影響
- 第五節 ニッケルの影響
- 第六節 アルミニウムの影響

緒 論

黒心可鍛鑄鐵の研究に就ては「金屬の研究」誌に其の一般を發表し、可鍛鑄鐵の成生に重要な白鉄鐵の黒鉛化作用を詳述し、其他牽引試験結果、可鍛鑄鐵の生長等を併せ述べたり、其後研究を繼續し可鍛鑄鐵に普通に含有せらるゝ以外の諸元素がその黒鉛化作用及び焼鈍後即ち黒心可鍛鑄鐵となりし後の抗張力及延伸率等に對する影響を求めたり、此の結果と前研究の一部とを併せ黒心可鍛鑄鐵に對する成分の影響として一括詳述することゝす。

可鍛鑄鐵は初め白鉄鑄物を作りそれを特種の熱處理を施して初めて得らるゝものにして此の熱處理即ち焼鈍作業は可鍛鑄鐵製造工業に於て最も肝要なるものなり、而して此の焼鈍作業に對し含有成分の影響する處又極めて大なるものある故可鍛鑄鐵に對する成分の影響として第一にその焼鈍作業に對する成分の影響を擧げざるべからず、次ぎに普通の鉄鑄物に就てはその含有成分が物理的性質に如何に影響するかの問題につきては、既に研究せられ居れども黒心可鍛鑄鐵の場合にはこれを製造する過程に於て焼鈍作業なる問題が横はり居る故、此の鑄鐵に對する成分の影響としては未着手のまゝなりしなり、余は先きに白鉄鐵の黒鉛化に對する成分の影響を研究したるを以て、工業上焼鈍可能の黒心可鍛鑄鐵に就き主としてその抗張力及延伸率に對する此等成分の影響を研究せり。

(1) “金屬の研究” 第三卷第四號

第一章 黒心可鍛鑄鐵の焼鈍に對する成分の影響

黒心可鍛鑄鐵の焼鈍法は鑄鋼其他特種鋼等の焼鈍法に比し其の原理及實際作業方法に於て大に異り、獨特の熱處理を必要とするものなれば、これに對する成分の影響を述べんとするに當り此の焼鈍法即ち白鉄鐵の黒鉛化作用が如何様に起るものなるかを知る必要あり、以下その大要を説明し次に成分の影響を述ぶることゝす。

従來黒心可鍛鑄鐵の黒鉛化の様態を研究するには種々の高温度に試料を保持し、その時間を種々變へて水中に焼入れ又は爐中の冷却速度を變へて常溫まで冷却したる後その顯微鏡組織を見又は化學分析をなして焼鈍の程度を検せり、此の方法にては焼鈍作業中に於ける黒鉛化の進行状態を見ること不便として、従つて黒心可鍛鑄鐵の焼鈍現象をよく説明すること能はざりしなり、余は此の點に着眼して白鉄試料の黒鉛化の進行状況を見るため熱膨脹測定装置を使用し、尚ほその黒鉛化の進行の程度及びその完、不完を見るために試料を常溫まで冷却したる後一顯微鏡にて檢せり、一般に鐵の炭化物が分解して鐵と炭素とになる時にはその體積又は長さを増すものにしてその長さの變化を時間に對して測定し以て黒鉛化の状況を詳にするを得たり。

試料は凡て生砂に鑄込み直徑 8 mm 長さ 200 mm の丸棒を作り、實驗の目的に應じてその中心部より各 100 mm、120 mm 及び 150 mm の長さの棒を採れり、試料を 700°乃至 950°C の高温度に保持して長時間に亘り實驗するものなれば真空中にて之れをなすを可とするも、種々研究の結果熱膨脹測定装置の内部と外界を全く遮斷して實驗するときには此の真空中にてなせしものと全く同じ結果を得、此の方法は又實際工業上にて製品を砂又は酸化鐵粉にて包圍して加熱するに類似するものなる故此處にては凡て膨脹計の内部を密閉して測定をなせり、而して此際の酸化程度は極めて少なく 925°C にて 40 時間位加熱したるに 5 時間の加熱の場合のものと大差なかりき、加熱電氣爐は特にその捲き方を考へ 170 mm の間は ± 2°C の差違にて一樣なる温度分布のものを得たり、此の中央部に試料を入れ試料には金型鑄込みのものゝ外は凡て直徑 1 mm、深さ 5 mm の穴を穿孔し、その中に白金-白金ロヂウムの熱電對を挿入し以て試料の温度を測定せり、此の白鉄鐵より黒心可鍛鑄鐵になるまでの黒鉛化現象を研究するに當り、なるべく實地工業に於けるものに近からしめんがため普通此工業にて實施せる反射爐にて溶解したる白鉄鐵を使用せり、下表はその化學成分を示す。

試料番號	C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)
No.1	2.20	1.10	0.23	0.033	0.173

顯微鏡寫眞 1 は此の試料の組織を示す、即ち波來土の地に白色の共晶セメントライトが現はる、かゝる白鉄を加熱して 900°C に達したる後その温度に 25 分間保持して後爐中にて冷却せり、その延びと温度との關係を示せば第 1 圖曲線 1 の如し、圖に於て横軸に温度、縦軸には延びに正比例する尺度上の讀みをとれり、此の加熱速度にては Ac_1 は 790°C にて表はる、900°C に保持せる間に少しく延びたり、これ游離セメントライトが分解を始めたるを示すものなる故、その状況を

見るため直に爐中冷却を爲せり、その顯微鏡組織を示せば寫眞2の如し、之に由て明かなる如く分解したる炭素は大部分游離セメント粒の周圍に表はる、900°C に於て尙ほ長く保持して恰度分解が半分進みし時即ち3時間にして爐中冷却すれば第1圖曲線2及び寫眞3を得、寫眞を見るに始めに分解せる炭素は互に凝集して粒大となり尙ほ分解は盛に進みつゝあり。900°C にて9時間保持する時は游離セメントの分解は殆んど終りをつけ(第1圖曲線3)その顯微鏡組織を見るに(寫眞4)游離セメントは全く影を留めず、地は波來土となりその間に地鐵(珪素の少量を溶解す)に圍繞せられたる炭素粒(これを可鍛鑄鐵工業にては普通燒鈍炭素 Temper Carbon と稱す)が散在するを見るべし、かくして得られたるものは波來土の残留するため未だ黒心可鍛鑄鐵とはならず、抗張力強大なれども延伸度少く可鍛性に乏し、所要の可鍛鑄鐵は此の波來土の存在を許さず、此の波來土セメントをも分解するを要す、鐵-炭素系の状態圖より知らるゝ如く900°Cの如き高温度にては初め白鉄たりしものは、その温変に相當するだけの炭素を固溶體に含む大洲田の地に游離セメントが分布せられ居るものにして此の游離セメントが折出し(それは冷却の途中にて分解す)Ar₁ 點に至りセメントは全部地鐵と共に折出して波來土となる、されば此の波來土セメントを分解するにはAr₁ 點以下に於て長時間加熱しその分解を進むるを要す、因て前の第1圖曲線3の處理を施したる試料を更に加熱して900°Cに達せしめその温度に20分間保持したる後冷却をなしAr₁ 點の所即ち730°Cにて23.5時間保持し爐中冷却をなせり、(第1圖曲線4)此等の實驗にて實施せる加熱速度は

$$\text{常溫} \xrightarrow{31\text{分}} 500^\circ\text{C} \xrightarrow{26\text{分}} 900^\circ\text{C}$$

の割合なり、此曲線4に見る如く900°Cの一定温度に保持せる間に試料が次第に延びたり、これ始めに黒鉛化せる炭素粒より大洲田の地に炭素が溶け込むに由る。⁽¹⁾其の顯微鏡組織は寫眞5の如く地鐵に炭素粒が散在し波來土は少しも認められず、これ即ち黒心可鍛鑄鐵の標準組織なり。

上述の試料にては游離セメントと波來土セメントとを別々に分解せしが今此の二種のセメントを一回の實驗にて完了せしむるため炭素並びに珪素の含有量を増したる試料を數個作りたり、その化學成分下の如し。

試料番號	C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)
No.2	2.74	1.29	0.16	0.038	0.092

猶ほ實驗の時間を短縮するため保持する温度を925°Cとし、下記の三種の處理を施せり。

- (1) 925°C にて3時間保持し爐中冷却をなす。
- (2) 925°C にて3時間保持し游離セメントの分解を完了したる後、冷却してAr₁ 點の處で10分間保持し波來土セメントの分解を一部進ましめたる後爐中にて冷却す。
- (3) 925°C にて3時間保持し游離セメントの分解を完了せしめて後冷却をなしAr₁ 點の所に於て4時間保持したる後爐中にて冷却す。

此の三種の處理に於て (1)にては游離セメントは全く分解せり (第1圖曲線5及び寫眞6)(2)にては游離セメントは全部分解し、波來土セメントも又分解し始め多少その作用の進行せるを認む、(第1圖曲線6及び寫眞7)、又 (3)にては兩セメントが全部分解し終りたり (第1圖曲線7及び寫眞8) 即ち前の寫眞5と同じ組織を呈す。

以上の研究の結果黒心可鍛鑄鐵となるべき白鉄の黒鉛化は一定の溫度にて全部完了するものにあらずして主として二段に起るものと考へらる、即ち A_1 以上の溫度にて起る游離セメントの分解と A_1 點以下にて起る波來土セメントの分解とに分つことを得、今後の説明の便のため前者を第一段黒鉛化と名づけ、後者を第二段黒鉛化と名づけ兩者を區別すべし、猶ほ一言注意すべきは此の第一段黒鉛化は Ar_1 點以下にては全然起り得ざるにあらず、珪素量可なり多きか又は珪素量普通にては試料を A_1 點以下にて極めて長き時間保持する時はその溫度にて黒鉛化を起し得るものなり、然れども此可鍛鑄鐵工業に於て實施せる化學成分及び加熱時間にては此の第一段黒鉛化は A_1 點以下にては殆んど起り得ないと見て支障なからん、又第一段黒鉛化が完了したる後 Ar_1 點にて波來土セメントの折出するまでの間に於てセメントの溶解度曲線に沿ふて折出し來るセメントの黒鉛化ありてこれは第一段黒鉛化に屬すべきか第二段黒鉛化に屬すべきか確然し難し。

此等黒鉛化の難易は成分に依り左右さるゝは勿論なれども、それを加熱する溫度、鑄物の厚さ及び注入溫度の高低等に依りても又可なりの程度に影響さるゝものなり、例へば溫度の影響を述べんに、 t_1 及び t_2 を第一段及び第二段黒鉛化を完了するに要する時間とし、 T を試料を一定に保持せる溫度 (絶對溫度にて表はす) とすれば

$$t_1 = 6.870 \times 10^8 e^{-0.0161T} \quad (\text{No.2 試料}) \quad t_2 = 5.108 \times 10^5 e^{-0.0117T} \quad (\text{同上})$$

又厚さの影響としては厚さ 10 mm の試料と 25 mm の試料との第一段黒鉛化完了時間を比較すると約 1:2 の比なり、第二段黒鉛化に對しても厚さの大なる方が多少黒鉛化困難なり。

黒心可鍛鑄鐵の燒鈍に對する成分の影響の研究は數々あれども斷片的のものか又は定性的のもの多く、これを可鍛鑄鐵工業に直に適用する能はざりき、此處に於ては黒心可鍛鑄鐵工業にて實施せらるゝ小範圍を詳しく研究し、その結果は溫度又は試料の大きさに對する補正を施せば直に實地工業上に適用せらるゝ程度になせり、而してその元素の影響としては普通一般鑄鐵に含有せらるゝ元素即ち珪素、炭素、滿俺、黃硫及び磷の外、更に工業的に容易に得らるる元素即ち銅、クロミウム、錫、ニッケル、アルミニウムに就て研究せり。

試料は凡て可鍛鑄鐵工業にて實施せらるゝと同様なる砂型を使用し鑄鐵はタンマン式電氣抵抗爐にて熔し直徑 8 mm 長さ 200 mm の丸棒を作れり。

此の研究に使用せし試料製作に用ゐし材料及びその化學成分を示せば下記の如し。

(1) “金屬の研究” 第三卷第四號

材 料	C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)	Fe(%)	Cr(%)
低 磷 鉄 鐵	4.50	0.12	0.21	0.004	0.015	—	—
白 鉄 鐵 No.1	2.61	1.06	0.19	0.036	0.137	—	—
" No.2	2.31	1.33	0.24	0.032	0.160	—	—
鍊 鉄 No.1	0.28	0.03	0.49	0.026	0.065	—	—
鍊 鉄 No.2	0.25	0.02	0.43	0.041	0.014	—	—
Ferro-Silicon	0.08	75.03	0.215	0.021	0.012	23.32	—
Ferro-Mangan	5.63	0.72	77.89	0.004	—	—	—
Ferro-Chromium.	8.00	6.50	—	—	—	—	63.61
磷 鐵	—	0.05	0.28	0.611	15.11	—	—
硫 化 鐵	—	—	—	18.28	—	—	—

銅、ニッケル、錫、アルミニウムはそれ等金屬を使用せり。

試料の長さは 100 mm とし、第一段黒鉛化をなす温度は 925°C とす、而して第二段黒鉛化試験は第一段黒鉛化を終りたる試料を一度 900°C まで加熱して、其の温度に 30 分間一定に保持したる後冷却を初め Ar₁ 點を終りて 710°C にて一定に保持し、その作用の終るを待ちて温度を降下せしむ、但し満俺及ニッケルを含むものはその量を増すに従つて Ar₁ 點が下降するに由り、これ等を含むものに對しては第二段黒鉛化をなさしむる温度を 710°C より低き點を撰べり、而して試験済みの上は凡て顯微鏡にてその黒鉛化の程度を一一檢せるは勿論のこととす。

第一節 珪素の影響 前記表に掲げたる材料を配合して炭素、満俺、硫黄及び磷を一定にし珪素の含有量の種々になる試料を作りたり、その化學成分は下記の如し。

炭素 2.0% の試料

試料番號	C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)
11	19.9	0.88	0.21	0.022	0.113
12	2.03	0.98	0.25	0.027	0.110
13	1.99	1.15	0.19	0.020	0.112
14	2.09	1.22	0.24	0.023	0.122
15	2.02	1.35	0.23	0.022	0.126
16	2.02	1.47	0.24	0.027	0.117
17	1.97	1.82	0.18	0.030	0.117
18	1.95	2.22	0.22	0.026	0.114

炭素 2.85% の試料

試料番號	C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)
29	2.87	0.63	0.20	0.013	0.069
30	2.89	0.77	0.16	0.020	0.100
31	2.87	1.01	0.18	0.021	0.100
32	2.84	1.23	0.17	0.021	0.095
33	2.86	1.39	0.18	0.014	0.090

炭素 2.4~2.5% の試料

試料番號	C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)
19	2.42	0.58	0.25	0.023	0.086
20	2.44	0.77	0.21	0.027	0.101
21	2.45	0.86	0.19	0.029	0.115
22	2.50	0.97	0.18	0.031	0.138
23	2.48	1.03	0.16	0.031	0.124
24	2.42	1.07	0.17	0.028	0.134
25	2.53	1.21	0.17	0.031	0.137
26	2.42	1.35	0.16	0.023	0.132
27	2.39	1.51	0.16	0.029	0.127
28	2.41	1.64	0.16	0.028	0.129

上記の試料の中 No.33 は断面初期黒鉛化のため鼠色を呈せり、かゝる始めより黒鉛化せるもの又は黒鉛化の斑點のあるものは之れを焼鈍するも抗張力、延伸率に於て劣等のものとなり黒心可鍛鑄鐵となすこと能はず、故に此處にては上記の如き大さの試料にして初期黒鉛化の爲め黒き斑點の出

るものは取扱はぬこととせり。此の初期黒鉛化は炭素及珪素其他の元素により非常に影響せらるゝものにして之れに關する研究は追つてなさんとするものなり。

(イ) 炭素量 2.0% の白鉄、此の系に屬する白鉄の第一段黒鉛化に及ぼす珪素の影響は下表及び第 2 圖の如し。

試料番號	珪素量	第一段黒鉛化完了時間	試料番號	珪素量	第一段黒鉛化完了時間
No.11	0.88	15-0	No.15	1.35	4-30
12	0.98	11-0	16	1.47	3-40
13	1.15	7-30	17	1.82	2-0
14	1.22	6-30	18	2.20	1-0

圖は横軸に珪素量、縦軸に第一段黒鉛化の完了する時間を示せり、此の曲線は一種の對數曲線にしてその實驗式を擧ぐれば

$$t = 10.64S^{-2.773} \quad t \dots \text{第一段黒鉛化完了時間、} S \dots \text{珪素量}$$

例へば珪素量を 0.5% とすれば此の時間は 71.8 時間となる。

(ロ) 炭素量 2.5% 白鉄、此の系に屬するものは黒心可鍛鑄鐵工業に最も接近するものなる故第一段黒鉛化の外に第二段黒鉛化が珪素量により如何に影響せらるゝやを試験せり、第 3 圖の各曲線は種々の珪素含量に對する第一段黒鉛化作用の進行狀況を示すものにして横軸には 925°C に保持せる時間、縦軸には延び即ち黒鉛化の量を表はす、之に由て見る如く珪素の含有量小なるものは、その黒鉛化開始に多くの時間を要し、珪素量可なり多くなれば黒鉛化開始の時間は早く、且つ黒鉛化進行の最大速度も大となる。第 3 圖は配列の都合上黒鉛化の速かなるものより順に並べ試料番號と反對にせり、b 曲線は黒鉛化作用と時間との關係曲線即ち a 曲線の切線の價、なほ換言すれば黒鉛化の速度(各 10 分間毎の延びを示す)を示すものなり。

第 4 圖の各曲線は種々の珪素含量の試料の第二段黒鉛化作用の進行狀況を示すものにして、此の場合には前と異り黒鉛化は Ar_1 變態が終ると共にそれに繼續して起るを見る、而してその黒鉛化の進行速度は始めは急に次第に緩かとなる、圖には試料 No.28 に就いての結果のみを掲げ他は略せり、又珪素量多き程此の第二段黒鉛化により分解するセメントの量は少となる、これ Ar_1 變態を終りたる後に存在する波來土セメントの量少きために、これ第一段黒鉛化を終りて Ar_1 點まで冷却する途中に於ても亦 Ar_1 變態の間にも黒鉛化が生じたるに起因す。

第一段及び第二段黒鉛化と珪素との關係下の如し。

試料番號	珪素量	第一段黒鉛化完了時間	第二段黒鉛化完了時間	試料番號	珪素量	第一段黒鉛化完了時間	第二段假黒鉛化完了時間
No.19	0.58	16	—	24	1.07	5-30	16
20	0.77	11	—	25	1.21	4-10	12
21	0.86	9	25	26	1.35	3-20	9
22	0.97	7	—	27	1.51	2-50	6
23	1.03	6	—	28	1.64	2-30	5-30

是等を圖示すれば第5及び第6圖の如くなる、孰れも對數曲線を表はし、その實驗式を示すときは次の如くなる。

第一段黒鉛化..... $t_1 = 6.356 S^{-2.05}$

第二段黒鉛化..... $t_2 = 1.514 \times 10^2 e^{-2.19S}$

例へば、珪素含量を 0.5% とすれば

第一段黒鉛化..... $t_1 = 26.09h$

第二段黒鉛化..... $t_2 = 53.45h$

以上の試料を 925°C に保持したる時の 所要時間にして 實際の場合には多く 875°C (米國にては 1,600°F を採用して居る)を採用して居る、又黒心可鍛鑄鐵工場にて製作せる品物の大きさは 10~40mm 位ある故、以上述べたる種々の影響を考へに入れ、焼鈍溫度を 872°C、白鉄鑄物の厚さを 25 mm 大としてその鑄物に熱が傳はりてそれが 872°C となりし時より幾時間にて黒鉛化が完成するか計算して見れば

珪素量 1.0% の場合は..... $t_1 = 31.9h$

珪素量 0.8% の場合は..... $t_1 = 47.2h$

珪素量 0.5% の場合は..... $t_1 = 122.3h$ となる

又第二段黒鉛化に對して同様に計算するときは (但し Ar_1 點以下の一定に保持する溫度を 710°C とす)

珪素量 1.0% の場合は..... $t_2 = 18.8h$

珪素量 0.8% の場合は..... $t_2 = 28.5h$

普通工業的に焼鈍して此の第二段黒鉛化を完了せしむるにはその爐の自然放冷中にてなす、それ故此の焼鈍爐の自然放冷の場合に適用する爲め如何なる冷却速度を以てせば波來土セメントタイトの黒鉛化を完了せしむることを得べきやを知るは緊要の事なり、前の曲線及び式よりこれを計算するときは次の如くなる。

溫度	710°C	690°C	670°	650°	630°C
冷却速度 (°C/h) { 珪素量 1.0%	4.54	3.58	2.84	2.28	1.77
" 0.8%	2.99	2.31	1.87	1.48	1.17

此の外實際の場合には Ar_1 變態の爲めに熱の發生あり、その爲め Ar_1 點附近の冷却は一層緩かとなり従て波來土の黒鉛化を促進する結果となり上に求めたる t_2 の價は短縮せられ、表中の冷却速度は尙ほ少しく早くとも差支なきなり。

(ハ) 炭素 2.85% の白鉄 試験の結果は下表の如くなれり。

試料番號	珪素量	第一段黒鉛化完了時間 (h)	第二段黒鉛化完了時間 (h)
29	0.63	17	—
30	0.77	12	—
31	1.01	8	—
32	1.23	5-30	7-30

横軸に珪素量を、縦軸に黒鉛化完了時間を探れば第7圖の如し、此の曲線も亦對數曲線にしてその實驗式を示せば、

$t = 8.040 S^{-0.187}$

第二節 炭素の影響 黒鉛化に對する炭素の影響を見るため試料として前節に掲げたるもの、外下表

のものを作れり。

試料番號	C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)
34	1.48	0.82	0.24	0.030	0.107
35	1.65	1.23	0.26	0.028	0.114
36	3.50	0.79	0.20	0.014	0.066
37	3.44	0.91	0.20	0.017	0.051

炭素量 3.5% 位にて珪素量 1.0% 以上含むものは初期黒鉛化をなす故、此處にてはそれを探らず、試験の結果を擧ぐれば下表の如し、表中燐の含有量を擧げしは、かゝる程度の燐の含有量は黒鉛化には可なり良き影響をなすものなればなり。

試料番號	C(%)	Si(%)	P(%)	第一段黒鉛化完了時間 h
20	2.44	0.77	0.101	11
30	2.87	0.77	0.100	12
36	3.50	0.79	0.066	10
34	1.48	0.82	0.107	7
11	1.99	0.88	0.113	15
21	2.15	0.86	0.115	9
37	3.14	0.91	0.051	11
35	1.65	1.23	0.114	4
14	2.09	1.22	0.122	6-30
25	2.53	1.21	0.137	4-10
32	2.84	1.23	0.095	6-0

上の結果より見るときは珪素量 0.77% の白鉄に於ては炭素は黒鉛化時間に餘り影響せず、珪素量 0.8~0.9% の白鉄に於ては試料 No.11 は黒鉛化し難く No.34 は黒鉛化容易なり、又 No.37 は燐の含有量少なきため時間を多く要せしも若し他のものものと同じ程度に燐を含有するときは尙ほ短時間にて黒鉛化完了すべし、珪素量 1.20% の試料に對しては No.14 即ち炭素量 2.09% のものが他のものに比し黒鉛化し難き外、No.32 が燐の含有量少なきことを考へに入れば、炭素量により大なる差異なし、これを要するに第一段黒鉛化に對する炭素量の影響は 2.0% を界として、2.0% 以下の炭素含有量のものには黒鉛化し易しく、それ以上炭素を含むものは又幾分黒鉛化を助くる傾向あり、次ぎに第二段黒鉛化に就ては下表の如し。

試料番號	C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)	第二段黒鉛化完了時間 h
No.14	2.09	1.22	0.24	0.023	0.122	25
25	2.53	1.21	0.17	0.031	0.137	12
32	2.84	1.23	0.17	0.021	0.095	7-30

測定數少なれどもこれより曲線を描くときは第 8 圖を得、圖は横軸に炭素量を、縦軸に黒鉛化完了時間を採れり、此の曲線を見ると對數曲線にして、次の如き實驗式が求められる、

$$t = 8.025 \times 10^{2e-1.0625C} \quad C \text{ は炭素量を示す。}$$

例へば珪素量 1.2% として表示の如し。

C=1.5% とすれば	t=66.8 h
C=2.0% "	t=29.0
C=2.5% "	t=11.4
C=3.0% "	t= 5.5

これより考ふるに炭素は第一段黒鉛化即ち游離セメントタイトの分解に對しては影響する程度少なりと雖も、第二段黒鉛化即ち波來土セメントタイトの分解には重大なる影響を呈するものなり、珪素量を一定にして炭素量を増すときは游離セメントタイト

は次第に多くなり第一段黒鉛化によりて生ずる燒鈍炭素も從つて量及びその數を増すに至る、而して前述せる如く第二段黒鉛化は此の炭素粒の周圍より起り、それに遠き部分の波來土セメントタイトは次第に此の炭素粒の周圍に擴散し來り、此の炭素粒に併合せらる、これ第一段黒鉛化によりて生じたる炭素の小團塊の周邊は凡て黒鉛化に對しその核となり黒鉛化を助長する爲めなり、さればこれ等炭素粒の數多き時は波來土セメントタイトはその擴散し行く距離短くなると同様の結果となり黒鉛化を容易ならしむるものなり、從つて第二段黒鉛化を容易ならしむるには炭素量を増すを要すれども、ある制限を附するを要す、即ち初めの白鉄鑄物の時に薄板狀黒鉛の斑點なるものなること、並びに抗張力、延伸率等の方面より炭素を餘り増すこと能はず。

又實地工業に於て一度燒鈍せるものを再燒鈍するときは一般に黒鉛化完全ならず、波來土の幾分を殘留す。これ一回の燒鈍にても材料は高溫度に長時間加熱され居る内に炭素は燃焼して逃去する爲めならんと思ふ、今種々なる化學成分の試料 10 個をとり、それを普通工場の燒鈍爐に入れ處理したる後その燒鈍前後の化學分析をなせしに平均 0.403% の炭素を失ひ居れり。

第三節 滿俺の影響 此の研究に使用せし試料の化學成分並びに黒鉛化完了に要する時間は下表の如し、但し第二段黒鉛化に對しては滿俺含有量多くなるに從ひ Ar_1 變態點降下するがため Ar_1 が終りたる處にて一定に保持せしめんとし 710°C より低き溫度にて保持するの已むなきに至れり。

試料番號	C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)	第一段黒鉛化完了時間	第二段黒鉛化完了時間
No.47	2.62	1.15	0.22	0.026	0.126	5-0	10(710°)
40	2.51	1.15	0.46	0.033	0.127	5-30	24(700°)
41	2.11	1.20	1.02	0.033	0.130	7-0	53(690°)
42	2.64	1.12	1.26	0.024	0.136	8-0	—
43	2.64	1.15	1.87	0.013	0.134	13-0	—
44	2.72	1.15	2.11	0.022	0.129	22-0	—
45	2.66	1.11	3.16	0.013	0.133	25+x	—

(* 25 時間一定に保持しても少しも分解せず。)

黒鉛化の進行狀況を見るため第9圖を畫けり、圖の各曲線は横軸には加熱の時間を、縦軸には試料の延び即ち黒鉛化の量に比例する數をとれり、各曲線を比較するときは滿俺の量多くなる程、始めの黒鉛化速度に對しては著しき變化なきも黒鉛化が終了に近づくに及び其進行速度減退す、而して黒鉛化したる後の試料を顯微鏡にて檢するときは試料 No.41 よりも滿俺多きものに於ては微細の游離セメントタイトの殘留するを認む、即ち此の微細のセメントタイト粒を分解するには尙ほ長時間を要する理な

り、第10圖は滿俺の量と黒鉛化に要する時間との關係を示す、これより黒鉛化完了に要する時間は滿俺の量の増加と共に對數曲線的に變化するを知るべし、第二段黒鉛化に對しては表に示せる如く黒鉛化時間は滿俺の増加により著しき影響を受け 1.0% も滿俺含有するに至れば實際上の黒鉛化は不能となる、以上の結果より考ふれば黒心可鍛鑄鐵工業に對しては滿俺含有量の多きは好ましからぬ事にして、此の工業に於ける白鉄鑄物の化學成分に於ては、その含有量の上限を 0.5% に制限するを至當とす、假令硫黄が共存する場合と雖も、その影響する處良好ならず。

第四節 硫黄の影響 此の試験に使用せし化學成分並びに試験結果下表の如し。

試料番號	C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)	第一段黒鉛化完了時間 ^h	第二段黒鉛化完了時間 ^h
46	2.45	1.24	0.26	0.007	0.061	8	6-20
47	2.62	1.15	0.22	0.026	0.126	5	10
48	2.50	1.14	0.22	0.051	0.121	6	15
49	2.54	1.14	0.22	0.066	0.128	7	23
50	2.40	1.15	0.22	0.072	0.120	7-30	22+x*
51	2.66	1.11	0.22	0.104	0.130	9	—
52	2.61	1.13	0.21	0.152	0.129	11	—
53	2.54	1.12	0.24	0.202	0.125	16	—

(* 22 時間 710°C に一定に保持しても少しも分解せず。)

黒鉛化進行の狀況は第 11 圖に、又硫黄含有量と黒鉛化完了時間との關係は第 12 圖に示す、第 11 圖の諸曲線に見る如く硫黄含有量増すに従ひ、黒鉛化の開始に長時間を要す、而して黒鉛化始りて後は 0.1% の硫黄含有量まではその黒鉛化速度に大差なし、一般に硫黄の黒鉛化に及ぼす影響は不良なり、試料 No.46 は硫黄少なきに拘らず黒鉛化し難きは後節に述ぶるが如く磷の含有量少なきに起因するものと考へらる、而して第二段黒鉛化に對しては硫黄の影響甚しく、黒心可鍛鑄鐵工業にては硫黄の量を 0.06% 以下に制限するを要す。

白心可鍛鑄鐵工業に於ては鑄物を酸化鐵の微粉にて圍繞し以て脱炭作用をなすと雖も多少肉厚のものはその脱炭作用内部に及ぼす初期の游離セメントイト丈は黒鉛化し、波來土組織の地に燒鈍炭素の粗粒が散在するを認む、これ白心可鍛鑄鐵に於ては硫黄を多く含むを以て假令第一段黒鉛化は完了するも第二段黒鉛化は殆んど起らず従つて前記の如き組織となりしなり、而して硫黄の含有量多くなるに従ひ第一段黒鉛化によりて生じたる燒鈍炭素は顯微鏡寫眞 9 に示すが如く圓形を帶ぶ様になるを常とす。

第五節 磷の影響 此の研究に使用せし試料の化學成分並びに測定の結果を擧ぐれば下表の如し。

試料番號	C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)	第一段黒鉛化完了時間 ^h	第二段黒鉛化完了時間 ^h
54	2.54	1.16	0.31	0.022	0.020	9-20	—
56	2.54	1.13	0.22	0.022	0.212	6-0	11
57	2.48	1.18	0.22	0.036	0.295	4-30	—
58	2.40	1.14	0.22	0.039	0.451	4-0	9

59	2.48	1.72	0.21	0.085	0.623	7-0	—
60	2.41	1.06	0.20	0.059	0.792	2-40	10 時間一定に保持しても少しも分解せず
61	2.43	1.06	0.20	0.087	1.044	11-30	—
62	2.29	1.00	0.20	0.057	1.990	5-30	—

黒鉛化進行の狀況を示せば第 13 圖の如く、又その黒鉛化完了時間と燐の含有量との關係を示せば第 14 圖の如し、表及び第 14 圖の諸曲線を見るときは硫黄と燐と共存する時は黒鉛化に對し大なる悪影響を及ぼすものなること察知せらるべし、此の硫黄の影響を度外視するものとすれば燐は黒鉛化に對して良好なる影響を呈するものなること知らる、但し第二段黒鉛化に對しては或る制限を附する必要あり、例へば No.60 の試料は第一段黒鉛化に對しては 2 時 40 分にてその目的を達し居れども第二段黒鉛化に對しては 710°C に於て 10 時間保持しても少しも分解することなし、又燐が多く入りたる鑄物はその白鉄状態に於ては脆性を増すものなる故、燐も又 0.3% 以下に制限すべきものなり。

第六節 銅の影響 以下述ぶるものは主として不純物として白鉄鑄物に入り來る時、或は少量を含ませしめたる時に焼鈍作業に如何なる影響を呈するやを見たるものなり。

銅は原料鉄其他鐵屑中に微量ながら入り來ること多し、鋼中の銅は少量の中は大なる悪影響を呈せざる如きも 0.5% 以上含むと鋼の脆弱性を増すものなる故此處にては 1.0% 位の含量に留めたり、其の化學成分及び試験結果を擧ぐれば下表の如し。黒鉛化進行の狀況を示せば第 15 圖の如し、但し凡て類似の形をとる故二、三を示し他は略す。銅の含有量對黒鉛化完了時間の關係圖は表より知らるゝ如く殆んど水平線なる故指示を略せり。

試料番號	C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)	Cu(%)	第一段黒鉛化完了時間 h	第二段黒鉛化完了時間 h
No. 63	2.75	0.96	0.19	0.022	0.060	0.076	10-30	13
64	2.74	0.91	0.19	0.023	0.050	0.268	10-30	14
65	2.64	0.90	0.18	0.022	0.040	0.474	9-30	12
66	2.68	0.96	0.17	0.023	0.040	0.665	9-0	—
67	2.74	0.97	0.17	0.022	0.058	0.875	9-0	11
68	2.68	0.95	0.18	0.026	0.040	1.066	9-0	—
69	2.57	0.94	0.17	0.026	0.040	0.992	9-0	9

此等の結果より見る時は銅は白鉄の兩黒鉛化を微量ながら助く、又圖の曲線よりその黒鉛化の狀況を見る時は黒鉛化速度初めは大に次第に緩かとなり、その完了に近づく頃は極めて緩かに黒鉛化す、これ燐の含有量少なきに起因するものと思考せらる、即ち黒心可鍛鑄鐵工業に於ては銅の含有は恐るゝに足らず、銅の含有は耐酸度等を増し寧ろ歡迎さるべきものとす。

第七節 クロミウムの影響 普通の鐵屑等よりクロミウムの入り來ることは稀なれども若しクロム含有の特殊鋼を鑄解したる後黒心可鍛鑄鐵地金を熔解する時入ることあり此のクロミウムは如何なる程度に黒鉛化に對し影響するや。試料の化學成分及び試験結果を擧ぐれば下表の如し。

試料番號	C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)	Cr(%)	第一段黒鉛化完了時間 h	第二段黒鉛化完了時間 h
No. 70	2.68	1.06	0.19	0.041	0.051	0	9 30	12-0

71	2.81	0.97	0.21	0.042	0.049	0.02	10-0	11-20
72	2.71	1.01	0.21	0.038	0.048	0.04	10-30	14-50
73	2.73	0.98	0.22	0.020	0.048	0.07	11-0	
74	2.86	1.00	0.22	0.030	0.049	0.08	11-30	15-10
75	2.86	1.02	0.22	0.019	0.052	0.11	12-0	
76	2.86	1.02	0.22	0.036	0.052	0.15	13-0	20-0

黒鉛化進行の状況の二、三の例を示すと第16圖の如し、圖より明かなる如くクロミウムも又前例の如く黒鉛化完了の終尾に於て長時間を要するものにしてこれ又幾分は燐含有量の僅少に起因するものと思ふ。

黒鉛化完了時間とクロム含有量との關係を示すと第17圖の如くなる、圖は横軸にクロム含有量と縦軸に黒鉛化完了時間を採り、此等の結果より見る時はクロミウムは第一段黒鉛化には急激なる悪影響を呈せざれども、第二段黒鉛化に對しては其の影響する處極めて大にして0.08%以上のクロミウムを含む時は實際上完全なる焼鈍は困難となる故、黒心可鍛鑄鐵工業にては此のクロミウムの導入に多大の注意を要するものとす。

第八節 錫の影響 プリキ又はブロンズ等混入する鐵屑を使用して黒心可鍛鑄鐵用白鉄鑄物を作る時は地金に錫を含入するに至る、この錫含有が白鉄の黒鉛化に如何に影響するや興味ある問題なり、此處に使用せし試料の化學成分及び試験結果を示すと下表の如くなる。

試料番號	C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)	Sn(%)	第一段黒鉛化完了時間	第二段黒鉛化完了時間
No. 77	2.75	1.05	0.22	0.025	0.054	0.063	7-20	12-30
78	2.70	1.05	0.23	0.023	0.060	0.187	8-0	20+x*
79	2.38	1.30	0.22	0.034	0.075	0.368	6-0	黒鉛化せず
80	2.72	1.01	0.21	0.025	0.050	0.617	6-30	黒鉛化せず
81	2.69	1.04	0.22	0.030	0.052	1.328	6-30	
82	2.86	1.06	0.21	0.024	0.050	1.643	6-30	

* 20時間保持しても黒鉛化完了せず

黒鉛化進行の状況の二、三の例を圖示すれば第18圖の如し、これより見れば錫は銅及びクロミウムの如く第一段黒鉛化の終尾を長く引かず且つ此の黒鉛化に對しては寧ろ良影響を呈す、然れども第二段黒鉛化に對してはその影響する所甚大にして0.3%も錫を含めば第二段黒鉛化は殆んど不能となる此の點は燐とよく似たる性質なりされば錫もクロミウムと同様に0.08%以下に制限するか或は全然避くべきものとす。

第九節 ニッケルの影響 ニッケルは鐵の炭化物の黒鉛化を助くる元素なる事既知の事なれどもそれが黒心可鍛鑄鐵工業に於ける焼鈍作業には影響するや判然せず、下表は此の研究試料及び焼鈍結果を示す。

試料番號	C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)	Ni(%)	第一段黒鉛化完了時間	第二段黒鉛化完了時間
No. 83	2.30	1.21	0.21	0.038	0.083	0.29	6-0	13-20 710°Cにて

84	2.20	1.16	0.21	0.036	0.083	0.51	5-30	13-0	690°	にて
85	2.18	1.23	0.21	0.027	0.082	0.77	4-30	14-0	68°	//
86	2.20	1.21	0.21	0.026	0.083	0.86	4-0	13-0	680°	//
87	2.21	1.13	0.21	0.019	0.082	1.50	3-30	14-0	670°	//
88	2.30	1.10	0.21	0.019	0.080	2.03	3-10	11-40	660°	//

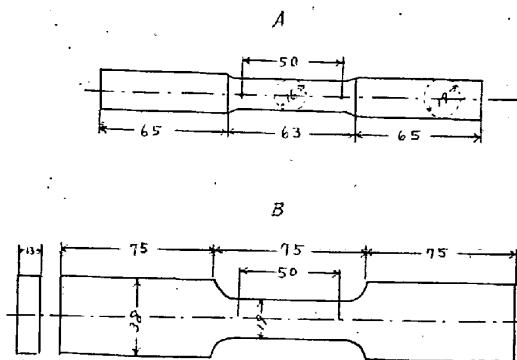
ニツケルの含有量多くなると變態點が降下する故第二段黒鉛化は 710°Cより低い溫度に行へり、黒鉛化進行の狀況の二、三の例を示すと第19圖の如くなる、此等の試料は珪素量割合に高き上にニツケルを含ましめたるを以て黒鉛化は割合速かに完了するを得たり、第20圖はニツケル含有量に對する黒鉛化完了時間を示すものにしてニツケルの増加と共に對數曲線的に此の時間は短縮せらる、而してその影響は珪素に比し少なり、第二段黒鉛化の方はその保持する溫度を表の如くニツケル含有量の増すと共に低めたれどもその黒鉛化完了時間は略相等し、斯如ニツケルは白鉄の黒鉛化を助け又燒鈍して出來上りたる黒心可鍛鑄鐵の抗張力を多少増すを以て、ニツケルを含有せしむることは望ましことなれどもその價格低廉ならざるを遺憾とす。

第十節 アルミニウムの影響 アルミニウムは珪素又はニツケルと同じく白鉄の黒鉛化を助くる元素なるは既知の事なれどもその定量的影響を知らんが爲め下表の如き試料を作れり、アルミニウムを鑄湯中に入れば容易に昇華するを以て其の配合量と分析結果とは甚だしく相違す、故に表には分析量と共に配合量(括弧内に入る)をも併せ指示せり。

試料番號	C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)	Al(%)	第一段黒鉛化完了時間	第二段黒鉛化完了時間
No. 89	2.19	1.23	0.21	0.045	0.084	(0.25) 0.14	7-30	7-0
90	2.34	1.23	0.21	0.044	0.083	(0.50) 0.25	3-30	6-30
91	2.31	1.20	0.22	0.050	0.080	(0.75) 0.10	4-30	7-0
92	2.32	1.23	0.20	0.047	0.076	(1.80) 0.21	3-0	5-40
93	2.18	1.10	0.20	0.047	0.080	(1.50) 0.24	4-0	8-20

配合量 2.0%の試料は白鉄の時に既に初期黒鉛化の斑點ありし故それらに付きての實驗は省略せり、この場合の黒鉛化進行狀況の二、三の例を示せば第21圖の如くなる、上表及第21圖より明かなる如く、アルミニウムは珪素と同じ程度に白鉄の黒鉛化を助く、又上表にて第二段黒鉛化完了時間に於ける差は主として炭素含有量に依るものの如し、かくアルミニウムは白鉄の燒鈍時間を短縮するに有利なれどもアルミニウムを多く含むに至ると鑄湯の流動性を害する如く且つ白鉄鑄物の初期黒鉛化の斑點の發生を容易ならしむる故黒心可鍛鑄鐵工業に於て有效なる元素ならず。

第二十二圖



第二章 黒心可鍛鑄鐵の牽引試験に對する成分の影響

前章に於ては各成分の燒鈍時間に及ぼす影響を述べたるがその内硫黄、滿俺、クロミウム及び錫は

その影響する程度極めて大にしてその成分の含有量は既に焼鈍方面より極めて小範囲に制限せらるゝ故、此處に於ては其等の抗張力等に及ぼす影響には言及せず、炭素、珪素、磷、銅、ニッケル及びアルミニウムにつきて、その影響を検せんとす。此等元素の中炭素、珪素及び磷(0.14%までの含有量)に對しては工場にて日々の作業上の鑄鐵より作りたる牽引試験片を焼鈍し數多の内より次の條件に適するものを選び、それに對し最小自乘法を適用し抗張力及び延伸率に對する成分の影響を算出せり。

(1) 出來上りの試験片の寸法均一なるもの

試験片は凡て鑄放しのもの、鑄張りだけをグラインダーにて取りたるものにして、その寸法は第22圖(A)の如し

(2) 熱處理即ち焼鈍程度の等しきもの

(3) 鑄巢なきは勿論收縮孔(該工業にては之をクサレと稱せり)は肉眼にては認め難き程度のもの

(4) 初期黒鉛化による薄板狀黒鉛より成る斑點の全くなきもの

以上の4條件の外注入温度の影響もあれども、それに對しては反射爐の鑄鐵を使用しその影響を軽減するを得たり。又磷(0.14%以上含有するもの)、銅、ニッケル及びアルミニウムに對しては特別の電氣爐にて鑄金を作り試験片は第22圖(B)に示せる角形断面のものを使用せり、而して一鑄金に就き4個の試験片を作り上記條件に適合するものを2個づゝ採り同時に焼鈍せり、さればその内には焼鈍不足のもの多少ありしも成分の影響を見る上に於ては大なる支障なかりき。

第一節 珪素の影響 珪素の影響を見るために珪素以外の他成分は略一定に保持せり、即ち

C=2.5±0.05% Mn=0.25±0.05% S=0.030±0.003% P=0.110±0.003% 以内に制限せり

その化學成分、抗張力及び延伸率を示せば次表の如し。

化 學 成 分					牽 引 試 験		
C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)	抗 張 力 kg/mm ²	延 伸 率 %	標 點 距 離 mm
2.51	0.95	0.25	0.029	0.108	36.13	10.9	50
2.55	0.98	0.28	0.034	0.112	36.28	11.7	"
2.47	1.05	0.21	0.034	0.108	36.55	12.5	"
2.45	1.10	0.22	0.029	0.112	37.50	14.6	"
2.54	1.16	0.22	0.027	0.110	36.86	13.3	"
2.53	1.16	0.26	0.033	0.108	37.00	14.6	"
2.45	1.24	0.22	0.037	0.111	37.33	16.4	"
2.51	1.31	0.22	0.027	0.108	38.27	14.8	"
2.47	1.33	0.25	0.030	0.112	37.50	17.2	"
2.49	1.42	0.24	0.028	0.108	37.63	11.9	"

これを曲線に表はすときは抗張力及び延伸率の珪素の量に對する關係は對數曲線になる(第23圖)それを考慮に入れて最小自乘法を適用すれば次の式となる

$$x \dots \text{鐵の含有量}(\%), y \dots \text{珪素の含有量}(\%), \text{抗張力}(\text{kg/mm}^2) = 0.3813x + 8.640 \log_{10} y, \text{延伸率}(\%) = 0.1257x + 36.5 \log_{10} y.$$

これより見れば孰れも珪素の量増すと共に對數曲線的に増す、但し此の式の珪素の量 1.0%内外の

所即ち 0.5—0.16%位までに適用せらるゝものにして之れ以下又は以上珪素が増減する時は多少正鵠を失する様になるや計られず、延伸率が珪素量の増すと共に増加するはこれ主として珪素の増加と共に焼鈍程度が充分に進むために波來土の殘留少なき爲めならん、然るにも拘らず抗張力の増すは、珪素が鐵と固溶體を作り含珪素地鐵として存在する故なり。

第二節 炭素の影響 炭素の量増す時は第二段黒鉛化が充分に進み完全なる可鍛鑄鐵を得らるべしと雖も、同時に炭素の量に比例して弱點を増すことゝなる、今炭素以外の成分を略一定にして種々の炭素量の試験片に就き牽引試験をなしたる結果を擧ぐれば下記の如し。

此場合には Si=1.00±0.05% Mn=0.25±0.05% S=0.03±0.005% P=0.110±0.003% に制限せり。

化 學 成 分					牽 引 試 験		
C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)	抗 張 力 kgr/mm ²	延 伸 率 %	標 點 距 離 mm
2.25	0.96	0.17	0.030	0.112	39.69	15.6	50
2.30	1.02	0.21	0.036	0.111	39.85	16.4	〃
2.33	0.95	0.22	0.024	0.109	38.42	14.6	〃
2.36	1.02	0.20	0.039	0.113	38.13	13.0	〃
2.39	1.02	0.19	0.026	0.109	38.13	12.5	〃
2.42	1.03	0.21	0.037	0.110	33.59	14.8	〃
2.42	1.03	0.20	0.032	0.112	37.48	14.6	〃
2.44	1.03	0.23	0.032	0.112	37.03	12.5	〃
2.47	1.05	0.21	0.034	0.108	36.55	12.5	〃
2.55	0.98	0.28	0.034	0.112	36.27	11.7	〃
2.58	0.97	0.21	0.027	0.113	36.24	14.0	〃
2.60	0.97	0.28	0.031	0.108	36.07	10.9	〃
2.65	1.00	0.22	0.027	0.110	36.70	12.5	〃
2.69	1.05	0.26	0.031	0.107	35.13	12.5	〃
2.71	1.03	0.7	0.030	0.112	34.57	10.9	〃
2.77	0.99	0.28	0.034	0.108	34.53	10.9	〃

これを曲線に表はすと略直線的となる(第24圖)故にそれに對し最小自乘法を適用すれば

$$z \dots \text{炭素の含有量}(\%) \quad x \dots \text{前と同じ 抗張力 (kgr/mm}^2\text{)} = 0.586x - 7.77z$$

$$\text{延伸率}(\%) = 0.421x - 10.99z$$

即ち炭素量増すに従つて抗張力並びに延伸率を減少す。

第三節 磷の影響 磷は黒鉛化を助くると共に又ある含量までは抗張力並びに延伸性をも増すものなり、今 0.14%までの含有量のもの、即ち日々之の鑄金より作りたる試験片に就きての試験結果を擧ぐれば下の如し。但し

C=2.6±0.05% Si=1.0±0.06% Mn=0.25±0.05% S=0.03±0.01% の範圍にて磷の含有量種々なるものを採れり。

化 學 成 分					牽 引 試 験		
C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)	抗 張 力 kgr/mm ²	延 伸 率 %	標 點 距 離 mm
2.59	0.96	0.24	0.034	0.092	34.03	12.6	50
2.57	1.01	0.20	0.038	0.095	34.65	13.0	"
2.66	1.04	0.23	0.024	0.097	33.95	13.3	"
2.64	1.06	0.26	0.030	0.093	33.55	12.5	"
2.63	0.99	0.26	0.034	0.098	33.57	12.5	"
2.59	1.01	0.28	0.034	0.098	34.97	14.6	"
2.56	0.97	0.26	0.037	0.100	34.50	14.6	"
2.59	0.99	0.28	0.027	0.101	35.00	10.9	"
2.59	1.00	0.24	0.032	0.101	34.58	10.9	"
2.60	1.09	0.24	0.035	0.105	35.46	12.5	"
2.56	1.03	0.22	0.032	0.106	35.78	14.6	"
2.58	0.97	0.21	0.027	0.113	36.24	14.00	"
2.61	0.95	0.28	0.039	0.115	35.43	11.70	"
2.65	1.05	0.28	0.037	0.121	36.60	13.50	"
2.57	1.00	0.30	0.034	0.126	37.67	15.60	"
2.56	0.99	0.19	0.026	0.137	40.50	18.0	"
2.61	1.06	0.19	0.036	0.137	40.50	18.1	"

これにて曲線を描くと第25圖の如く磷の含有量と抗張力との間の關係は對數曲線的なれども延伸率は餘り不規則にして正しき曲線を描く能はず、それ故延伸率の方は計算を控え、唯だ點線にて大體の豫想線を描くに止めたり、抗張力を最小自乘法にて計算したる結果

$$P \cdots \text{磷の含有量}(\%) \quad \text{抗張力}(\text{kgr/mm}^2) = 15.75E(0.004062x \times 3.943P)$$

即ち磷の増す程抗張力及び延伸率を増す、延伸率の増加は磷の増加により黒鉛化を助くるため波來土の量を減じたるためなるべく、抗張力の増加は磷が鐵と固溶體を作るためならん。

黒心可鍛鑄鐵工業に於ては磷の含有量は0.20%位まで高むること珍らしからず、且つ鋼等に含む磷は常溫脆性の原因となるものなれば磷含有量が上表の價を超ゆる時如何にその抗張力及び延伸性に影響を及ぼすものなりやを知るは肝要の事なり、此の場合の試料の化學分析及びその試験結果を擧ぐれば下表の如し。

化 學 成 分					牽 引 試 験		
C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)	抗 張 力 kgr/mm ²	延 伸 率 %	標 點 距 離
2.47	1.08	0.27	0.054	0.136	39.10	13.0	50
					39.27	14.0	"
2.48	1.05	0.24	0.053	0.185	38.09	14.0	"
					38.52	14.0	"
2.47	1.09	0.26	0.055	0.237	37.72	11.5	"
					36.62	11.5	"
2.44	1.10	0.26	0.054	0.348	40.00	10.0	"
					37.87	9.0	"
2.41	1.07	0.26	0.053	0.470	40.40	8.0	"
					39.55	8.0	"
2.39	1.01	0.24	0.052	0.556	39.67	5.0	"
					39.55	5.0	"

2.39	1.01	0.24	0.052	0.556	39.67 39.55	5.0 5.0	// //
------	------	------	-------	-------	----------------	------------	----------

上表の結果を示圖すれば第26圖の如くなる、圖より明かなる如く磷は 0.2%位までは別に悪影響を呈せざれども、此の量以上含むに至れば次第に延伸性を害するに至る、抗張力の方は大なる影響なし、これより考ふれば黒心可鍛鑄鐵の場合には磷の含有量は 0.25%を以て上限とするを適當と思考せらる。

第四節 銅の影響 銅は黒心可鍛鑄鐵の焼鈍作業に對しては 1.0%までは何等不良の影響なきこと前述の如し、鋼に含有する銅はその鍛錬作業に對し面白からぬ影響を呈するものなるはよく知られ居るは事實なるが可鍛鑄鐵は鍛錬の必要なくそのまま使用に適するものなる故、鋼の場合と同一視すること孚當ならざるを以て銅を可鍛鑄鐵に含ましてその抗張試験をなし如何にその性質に影響を來すかを知らるは興味ある問題ならん、下表はその試料の化學成分及び試験結果を示す。

化 學 成 分						率 引 試 験		
C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)	Cu(%)	抗張力 kgr/mm ²	延伸率%	標點距離 mm
2.48	0.82	0.26	0.055	0.217	0.186	40.75 41.42	10.5 10.5	50 //
2.47	0.81	0.27	0.055	0.186	0.604	43.75 41.97	8.5 9.0	// //
2.45	0.88	0.22	0.054	0.183	1.275	42.00 41.73	9.0 10.5	// //
2.45	0.85	0.25	0.051	0.182	1.852	42.35 43.27	9.0 10.0	// //
2.42	0.83	0.22	0.047	0.182	3.131	41.80 45.50	8.5 8.5	// //
2.36	0.82	0.22	0.044	0.176	4.272	43.80 40.91	10.0 11.0	// //

この結果より銅は 4%位までは延伸率を減少することなく、抗張力を幾分増加せしむ、而して銅が鐵と合金を作る時はその耐腐蝕度を増すものなるを以て上述の諸點を綜合し銅は黒心可鍛鑄鐵に對し優良なる影響を呈するものと思ふ。

第五節 ニツケルの影響 ニツケルを鋼に含ませしむる時は鋼の性質を改善し優良なる材料となることを良く知らるゝ事柄なり、而して白鉄鑄物にこれを含有する時はその黒鉛化を容易ならしめ焼鈍時間を短縮する事を得べし、従つて黒心可鍛鑄鐵にニツケルを含有せしむればその質を改善する事が出来る如く豫想せらるゝも果して然るか、又優良なる材質が得らるゝとせば如何なる程度まで改善せらるゝものか知る事は又興味ある問題なり。次表はその化學成分及び試験結果を示す。

化 學 成 分						率 引 試 験		
C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)	Ni(%)	抗張力 kgr/mm ²	延伸率%	標點距離
2.49	1.00	0.22	0.049	0.202	0	40.91 40.88	11.0 13.0	50 //
2.45	0.97	0.22	0.048	0.209	0.49	41.33 40.48	13.0 12.0	// //

2.45	0.98	0.22	0.049	0.202	1.20	41.18 41.65	11.5 11.5	50 "
2.44	1.00	0.22	0.050	0.202	1.70	41.05 40.88	10.0 10.0	" "
2.45	0.99	0.22	0.050	0.197	1.82	41.03 41.56	11.0 12.0	" "
2.41	0.95	0.22	0.050	0.202	2.53	42.55 42.69	10.0 11.0	" "

上表を見ると抗張力はニツケル含有量増すと共に幾分増す傾向はあれど大なる效力なし、又延伸率に於ては殆んどニツケルの影響なき如し、此等より考ふれば黒心可鍛鑄鐵に對してはニツケルは鋼程有效なる影響を呈せず、且つニツケル含有量増すに従つて變態點の降下を來し焼鈍温度は普通の方法と全は徒く同じには出來ず特別の焼鈍方法を要する故ニツケルを黒心可鍛鑄鐵に利用せんとすることらに製品の價格を高むるのみにして余り有效なるものならず、寧ろ前節に述べたる如くある目的（艦船等腐蝕する機會多き場所に使用するもの）には銅を少量含有せしめし方良結果を得らるべく思考せらる。

以上は單に牽引試験のみに就きて論ぜし黒心可鍛鑄鐵は衝撃に對し他の鑄物に比し優秀なる性質を具備するものなれば衝撃試験も併せ行ふを要するものなり此の衝撃試験は目下研究中なれば不日發表する機會あらん。

第六節 アルミニウムの影響 アルミニウムは白鉄の黒鉛化を助くる事顯著にして單に白鉄鑄物の焼鈍方面よりのみ云ふ時は有效なれどもアルミニウムが黒鉛化を助ける程度に含ましむる時は白鉄の時に既に初期黒鉛化の斑點を生じ如何に良く焼鈍を行ふも善良なる材質を得ること能はず、此點より見ればアルミニウムの牽引試験に對する影響を研究する事は無意味となれども此處に掲げたる理由は此の初期黒鉛化の斑點生ぜし時は如何にその材質を損するものか一例として掲げたるものなり、珪素及び炭素を規定量以上に含ましむる時にも又この初期黒鉛化の斑點を生ずるものなれば此の影響の一例としてアルミニウムを撰び試験せし次第なり、試料の化學成分及び試験結果を擧ぐれば次表及第27圖の如し。

化 學 成 分						牽 引 試 験		
C(%)	Si(%)	Mn(%)	S(%)	P(%)	Al(%)	抗 張 力 kgr/mm ²	延 伸 率 %	標 點 距 離 mm
2.76	1.00	0.27	0.049	0.161	0	36.38 37.92	11.0 12.0	50 "
2.71	0.91	0.28	0.049	0.150	0.12	25.10 25.20	4.0 4.5	" "
2.71	0.91	0.28	0.043	0.149	0.30	23.74 22.61	3.5 3.5	" "
2.68	0.91	0.28	0.043	0.153	0.46	19.00 21.78	2.0 1.0	" "
2.70	0.91	0.25	0.041	0.150	0.80	11.89 13.31	0 0	" "
2.67	0.89	0.28	0.045	0.146	1.00	4.21 6.42	0 0	" "

此等の試料は前節の試験片と同様に焼鈍せしものなれば黒鉛化は充分完了して居ること明かなり、然るにも拘らずアルミニウム0.12%だけ含むに至れば既に抗張力弱く延伸性少なし、アルミニウム含有量0.12%位の白鉄はその初期黒鉛化の斑點は僅少のものとは思はるゝが斯如牽引試験結果に不良を來すを見れば、黒心可鍛鑄物となる白鉄鑄物には此の初期黒鉛化の斑點は大禁物なること知らるべし此處に於て完全なる白鉄鑄物を作りそれを完全に焼鈍し得る如き成分の鑄金は可なり狭き範圍の化學成分を有するものとなる、0.5%から以上アルミニウムを含有するものは普通の鼠鉄鑄物と同様のものとなる而してアルミニウム含有量の増加と共に抗張力の減少するは主として薄板狀黒鉛の形狀に依るものなり。

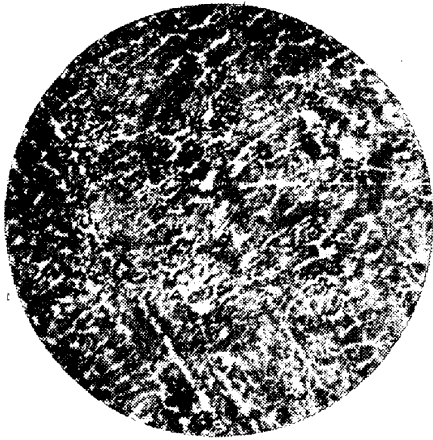
總 括

以上の研究結果を總括すれば

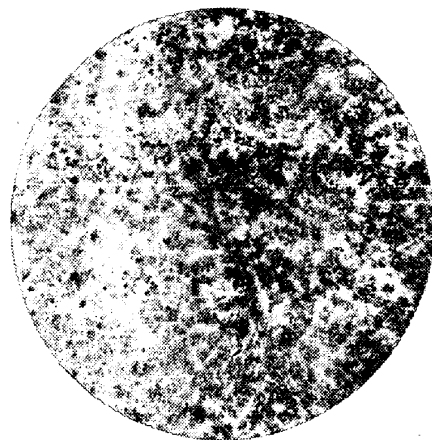
- (1) 熱膨脹計を使用し黒心可鍛鑄鐵の焼鈍即ち白鉄の黒鉛化に對する成分の影響を定量的に研究せり。
- (2) 珪素は白鉄の第一段及び第二段黒鉛化を助け、珪素の含有量を増すに従ひ黒鉛化に要する時間は對數曲線的に減少す。
- (3) 炭素は第一段黒鉛化に對しては著しき影響を呈せざるも第二段黒鉛化に對しては珪素よりも良效なる影響を呈しその焼鈍時間を短縮せしむ。
- (4) 滿俺は黒鉛化を妨ぐる作用ありて第一段黒鉛化に對しては滿俺量増すと共に黒鉛化完了時間は對數曲線的に増すも1%位まではその増加度緩かなり。然れども第二段黒鉛化に對してはその影響一層急となる故黒心可鍛鑄鐵工業に於ては滿俺は0.5%以下に制限するを要す。
- (5) 硫黄も又滿俺と同様に第一段黒鉛化に對する影響割合に小なれども第二段黒鉛化に對する影響は大にして0.06%以下に制限すべきものとす。
- (6) 磷は寧ろ黒鉛化を助け、第一段黒鉛化に對してはその影響可なり良好なれども第二段黒鉛化に對してはある分量を超れば不良となる、故に黒鉛化の方面よりのみ考ふれば磷は0.3%を限度とすべきものなり。
- (7) クロミウムは白鉄の黒鉛化を妨ぐることに甚大にして特に第二段黒鉛化に對し然りとす、故に黒心可鍛鑄鐵工業に於てはクロミウムの含有を全然拒否すべきものなり。
- (8) 錫は第一段黒鉛化に對しては僅かにそれを助くるも第二段黒鉛化に對しては甚しくその作用を阻害す故に黒心可鍛鑄鐵工業に於てはクロミウムと同様錫の含入せざる様注意すべきものとす。
- (9) ニツケル及びアルミニウムは共に第一段及第二段黒鉛化を助け。
- (10) 白鉄の黒鉛化に對する各種成分の影響を研究したる後、黒鉛化を阻害せざる元素を採り、其等の黒心可鍛鑄鐵の機械的性質に對する影響を試験せり。
- (11) 珪素及び磷の含有量を増すに従ひ黒心可鍛鑄鐵の抗張力及び延伸率は對數曲線的に増大す。
- (12) 黒心可鍛鑄鐵の機械的性質に對する炭素の影響は良好ならず、此の元素量の増加はその抗張力及び延伸率を直線的に減少せしむ。
- (13) 銅及びニツケルは黒心可鍛鑄鐵の抗張力及び延伸率に對し殆んど影響を呈せず。
- (14) アルミニウムを白鉄鑄物に含有せしむる時は初期黒鉛化の薄板狀黒鉛の發生を誘致すること甚だしく、それを焼鈍して出來たる黒心可鍛鑄鐵の抗張力及び延伸率を甚だしく遞下せしむるものなり。

著者は摺筆するに當り本研究の實驗に對し多大の助力を惜しまざりし吉田良邦君に對し感謝し、又本研究の發表を快く許可せられし戸畑鑄物株式會社に對して謝意を表す。

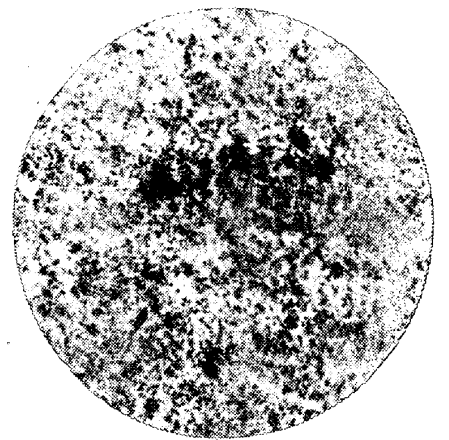
寫眞 1



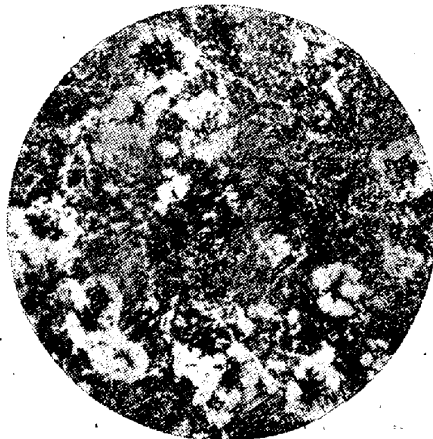
同 2



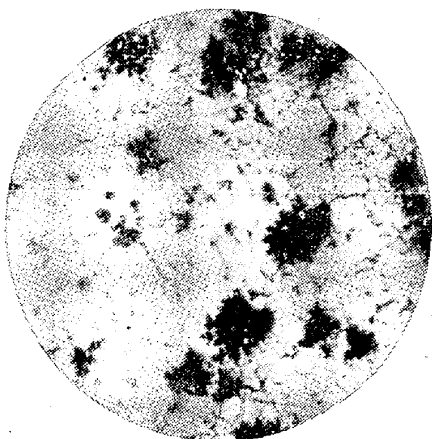
同 3



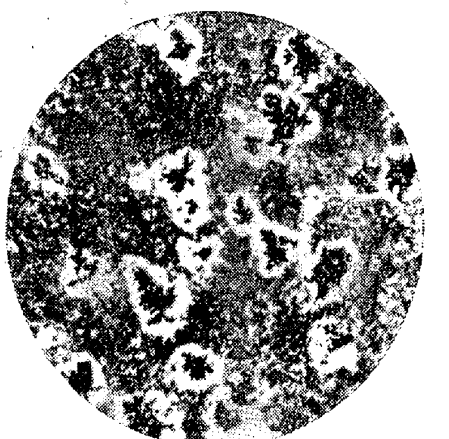
同 4



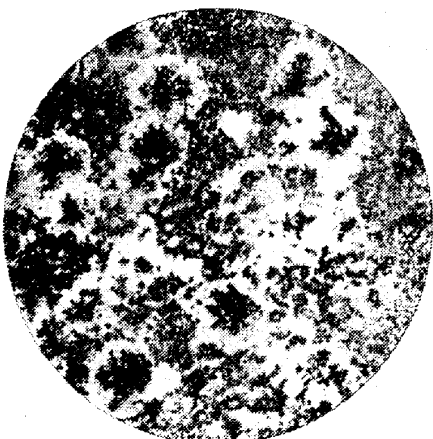
同 5



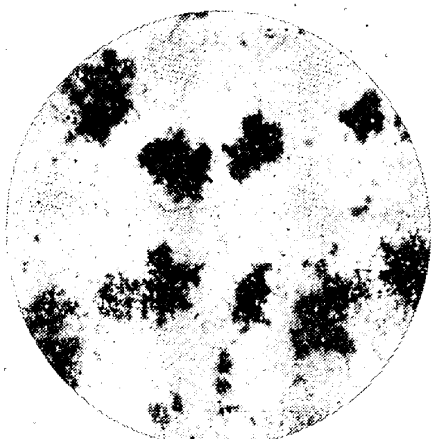
同 6



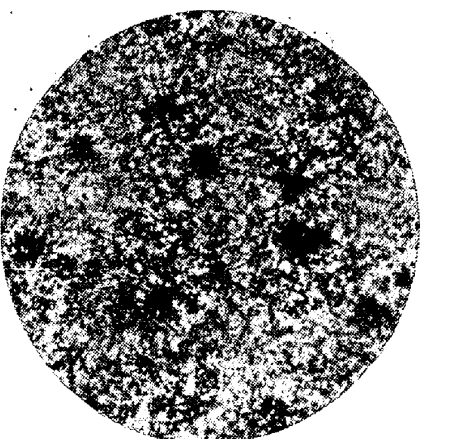
同 7

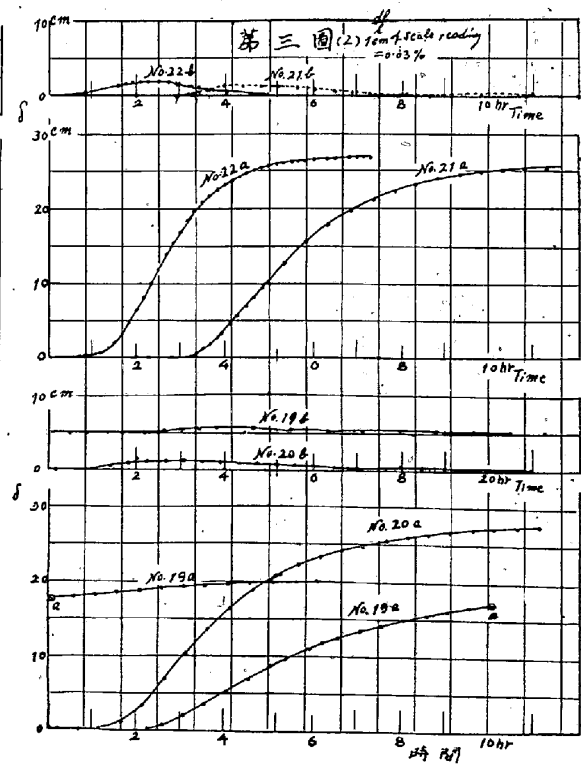
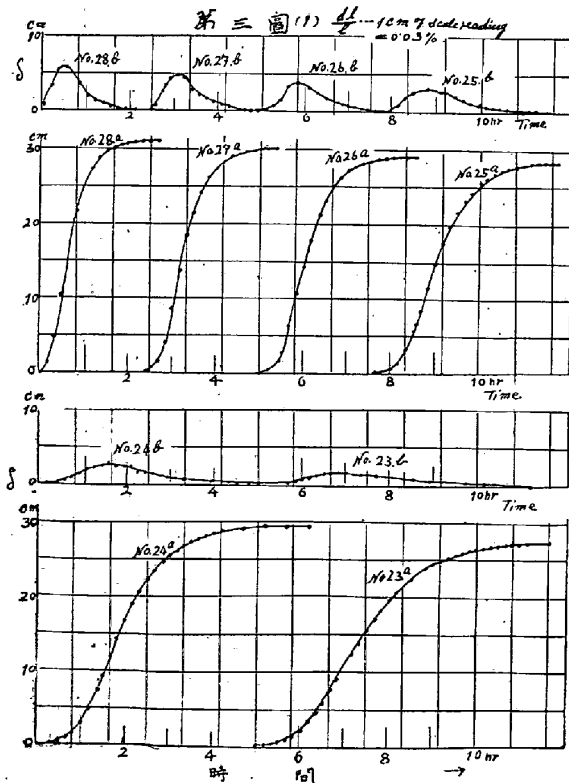
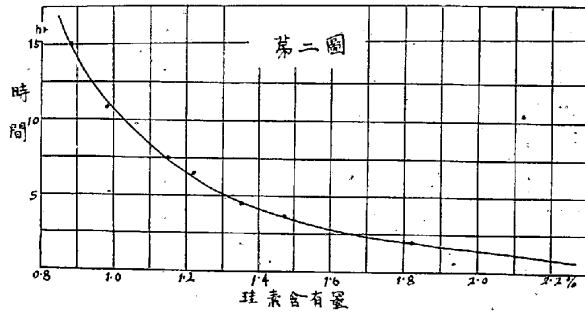
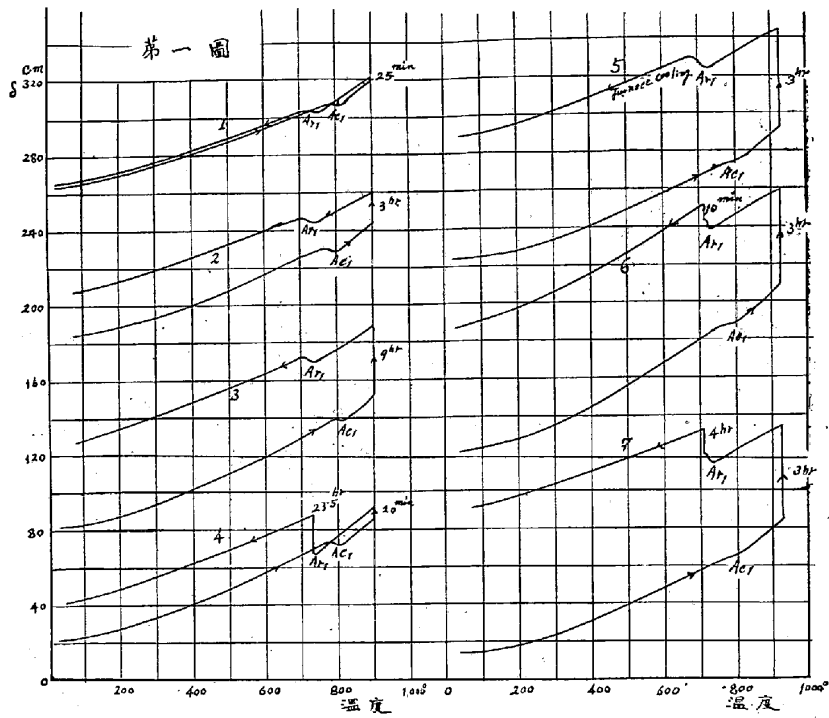


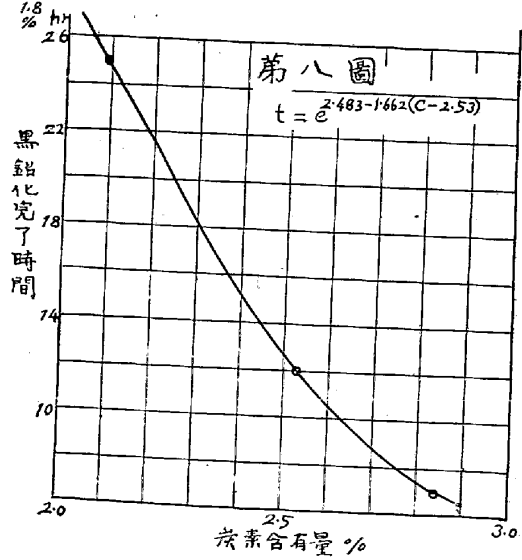
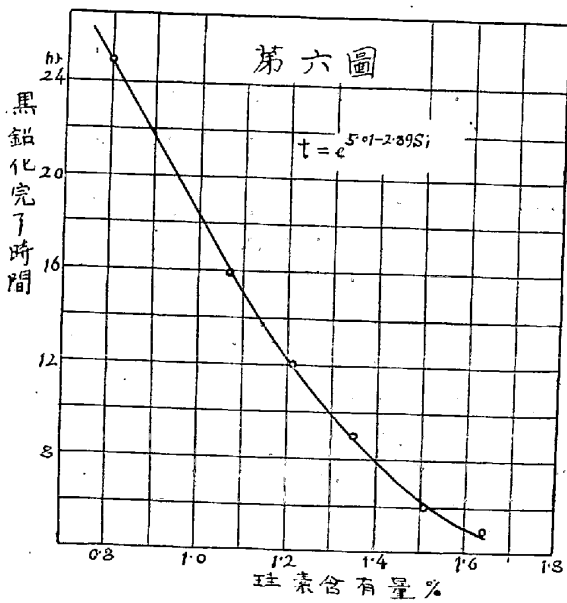
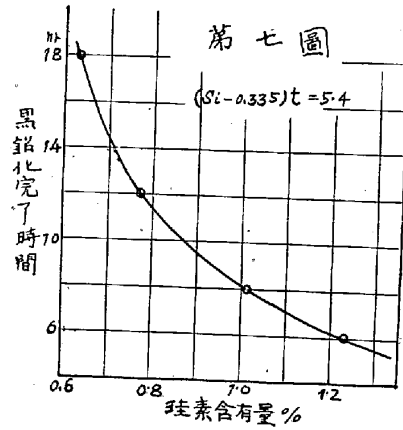
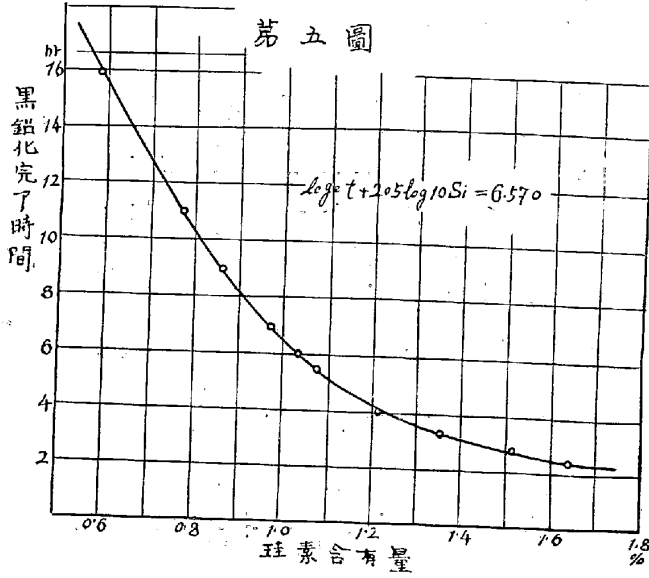
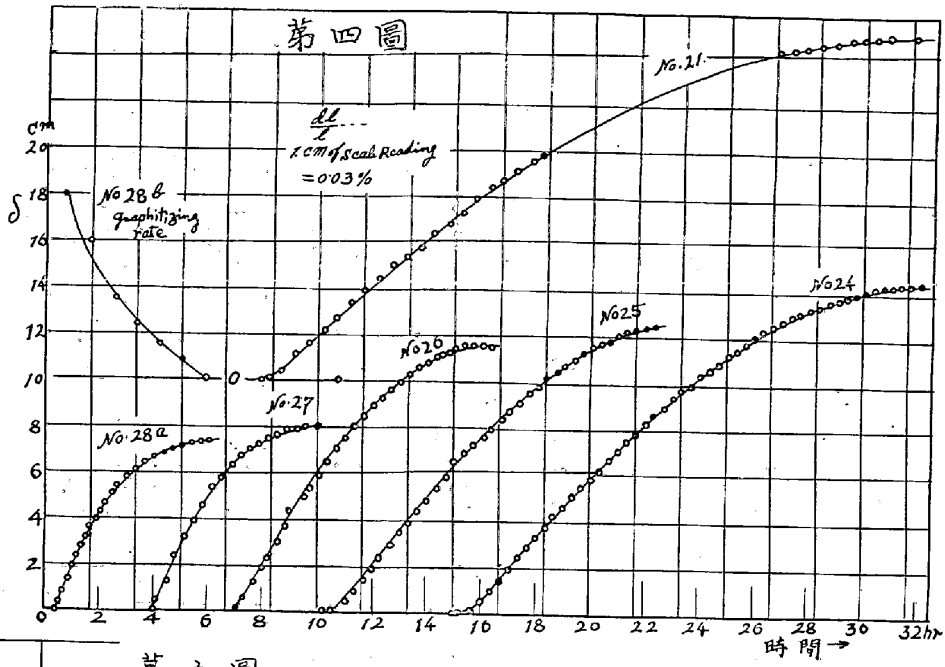
同 8



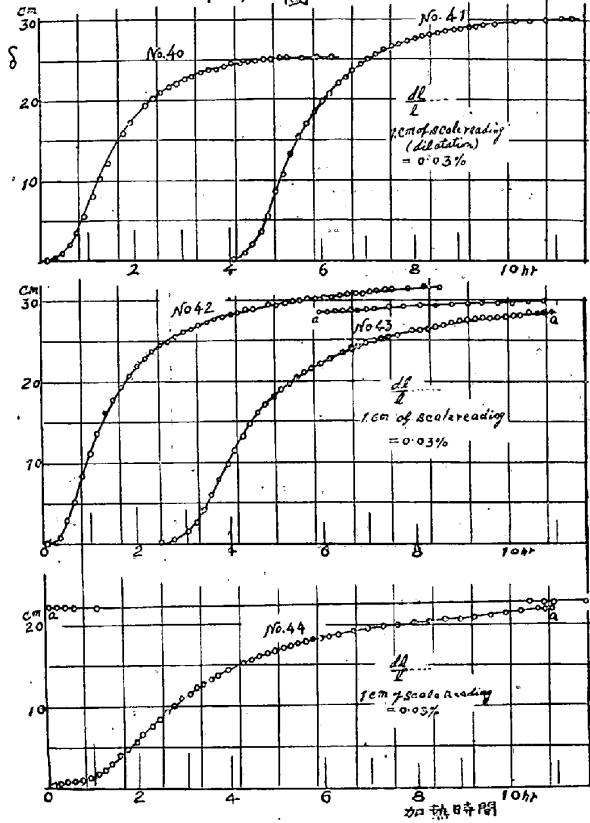
同 9



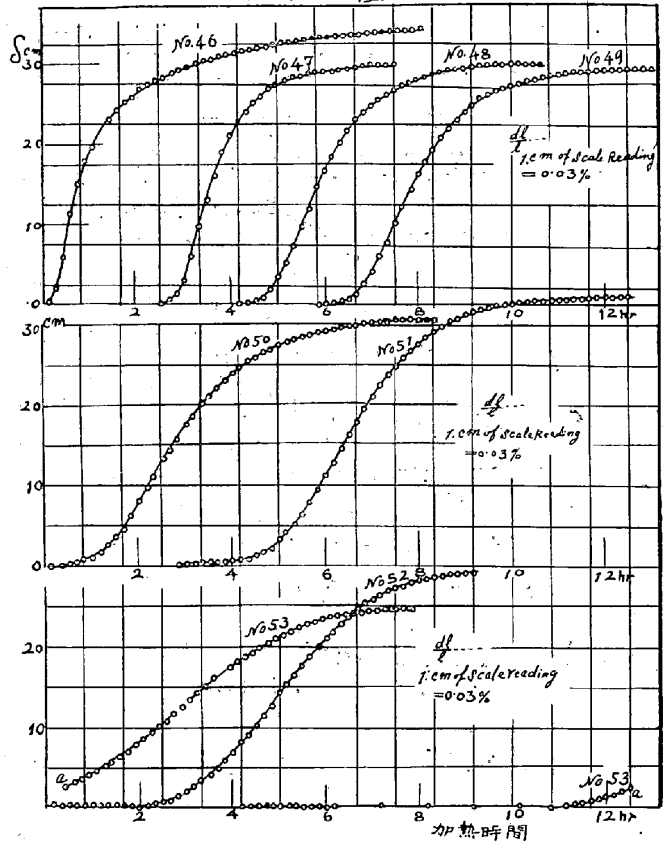




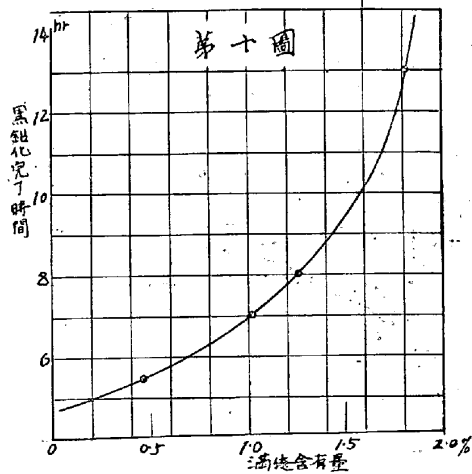
第九圖



第十一圖



第十圖



第十二圖

