

# 白銑の黒鉛化に關する新現象と其黒心 可鍛鑄物工業への應用に就て

(大正十五年十一月日本鐵鋼協會第二回講演大會講演)

齋藤大吉  
澤村宏

## 目次

### 緒言

#### 第一章 白銑の黒鉛化に關する新現象の理論的考察

##### 第一節 研究の方法

##### 第二節 白銑と一定速度にて加熱せる場合に現は る新現象の研究

###### 第一項 實驗の方法

###### 第二項 急冷溫度の影響

###### 第三項 焼入れ劑の影響

###### 第四項 繰り返し焼入れの影響

##### 第三節 白銑を一定溫度にて加熱せる場合に現は る新現象の研究

###### 第一項 實驗の方法

###### 第二項 炭素及珪素含有量を種々異にする白銑

の焼入れが其黒鉛化に及ぼす影響

###### 第三項 焼入れ溫度の影響

###### 第四項 焼入れ劑の影響

###### 第五項 繰り返し焼入れの影響

##### 第四節 新現象の理論的説明

#### 第二章 新現象の實地應用に關する實驗

##### 第一節 焼戻炭素の擴散に關する二三の實驗

##### 第二節 白銑鑄物の焼入れ實驗

##### 第三節 新現象の應用によりて製造せる黒心可鍛 鑄鐵の抗張力及延伸率に就て

總括

文獻

## 緒言

可鍛鑄物とは一定の成分を有する白銑鑄物を一定の溫度で長時間焼鈍し、其内のセメントイトを分解し總ての炭素を焼戻炭素の状態に變じて之に可鍛性を與へたものである。而して從來發表された歐米の之に關する學術的研究は、多くは定性的のものであつたのであるが最近本邦に於て之に關する有益なる二論文が發表された。其一は本年4月金屬の研究(1)及東北大學理科報告(2)に發表された菊田博士の論文で他は大正13年3月以來數回に互つて水曜會誌(3)に發表され、又本年9月京都大學工學部紀要(4)に掲載された著者の論文である。兩者とも主として本多博士の熱膨脹測定器を用ひ定量的に研究したのであるが、菊田博士は實地の作業に基き、凡て限られたる少數の成分の鑄鐵を砂型に鑄込みて造りたる白銑を試料として其黒鉛化状態を測定し、之を  $A_1$  點以上の溫度で起る遊離セメントイトの分解と  $A_1$  點以下の溫度で起るパーライト、セメントイトの分解との2つに分ち、前者を第一段黒鉛化、後者を第二段黒鉛化と名付けて普通鑄鐵中に來る各元素の影響を研究し、巧に實地作業と結付けて説明して居る。又著者は白銑の黒鉛化に對し鐵に關係ある殆んどあらゆる元素の影響を研究し同時に白銑の凝固速度が其黒鉛化に著しき關係ある事を明にした。而して著者は種々の成分の鑄鐵を凡て白銑状態に保つが爲めに試料は主として鐵型に鑄込むだものを使用したのである。

茲に此等の論文中本論文に關係ある事項に就て記述するのが順序であるが稿餘りに長きに亘るのを怖れて之を省略する。

偕て現在まで發表された此方面の研究は一つとして鑄造の儘の白銑から出發して居ないものはないのであるが、著者は新しく燒鈍前に於ける白銑の熱所理が其黒鉛化に如何なる關係あるかを研究し始めたのであるが、其結果白銑を燒れ入すると著しく其黒鉛化を容易にすると云ふ新現象を發見し、尙これが實地工業の應用の方面にも多少研究の歩を進めたのである。併し此の研究開始以來日尙淺く得る所多からざるの憾がないではないが兎に角其結果を茲に發表して御參考に供したいと存する次第である。

## 第一章 白銑の黒鉛化に關する新現象の理論的考察

### 第一節 研究の方法

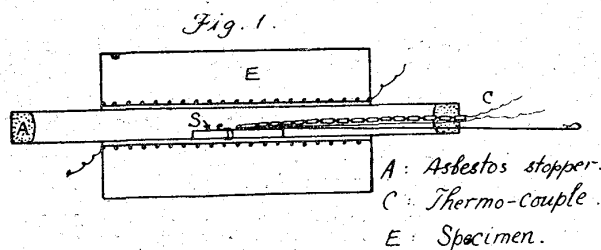
本章に於て述べる實驗に於ては白銑の黒鉛化の進行状態を正確に知る爲めに前研究に於けると同じく本多教授の熱膨脹測定器を利用した。尙顯微鏡試験を以て其結果を補足した。其詳細なる點に就ては其場合場合に説明する事とする。

### 第二節 白銑を一定速度にて加熱せる場合に現はるる新現象の研究

#### 第一項 實驗の方法

試料：— 本實驗に用ひたる試料はクリプトル爐にて熔解したる熔銑を直徑6mm、長さ200mmの生砂型に鑄込みこれから直徑5mm、長さ70mmの丸棒に仕上げたるものを使用した。

急冷方法：— 試料の急冷には Fig. 1 に示す様な裝置を用ひた。試料を圖に示す如く電氣爐内に



置き毎分  $20^{\circ}\text{C}$  なる加熱速度にて其温度を上げ所要の温度に達するや否や試料を急速に爐外に取り出し、直ちに 500c.c. の容量のピーカー内に満じたる燒入れ劑の中に投入急冷した。

加熱及冷却方法：— 本實驗に於ては特別の場合を除き凡て毎分  $10^{\circ}\text{C}$  なる一定加熱速度にて一定温度迄加熱したる後直ちに爐中冷却した。此間、熱膨脹測定器の蓋を密閉し其内部と外氣とを完全に遮斷して置く事とした。

#### 第二項 急冷温度の影響

前述の方法で試料を種々の温度から  $15^{\circ}\text{C}$  の水中に急冷したる後熱膨脹測定器によつて加熱し、急冷温度が白銑の黒鉛化に及ぼす影響を調査した。實驗に用ひた試料の成分は Table 1 に示してある。急冷温度は Table 2 に示す如くである。Fig. 2 は此實驗の結果を表はす。圖に於て急冷温度が  $A_1$  點以上なるもの限り約  $200^{\circ}\text{C}$  及  $500^{\circ}\text{C}$  附近に於て二段の收縮の存在を示すは木多教授 (5) によつて説明せられた  $\alpha$  及  $\beta$  マルテンサイトの燒戻によるものである。而して此等の收縮が燒入れ温度が高い程著しく現はるるは燒入れ温度が高い程燒入れに與るオーステナイトの量が増加する事實に因る事

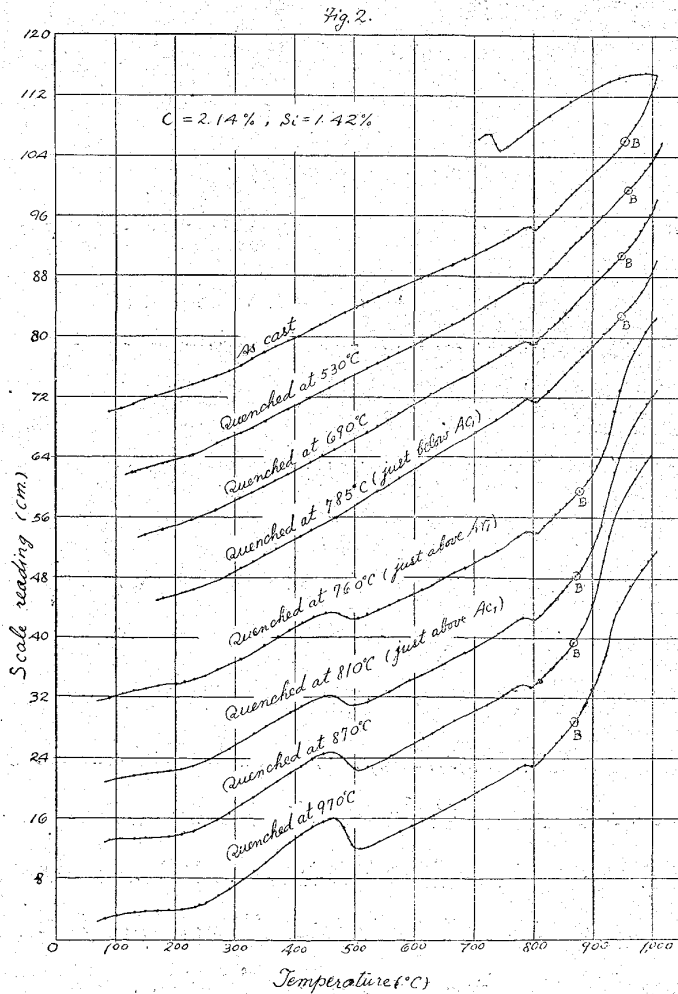
は勿論である。

Table 1.

Specimen No.	Composition					
	C	Si	Mn	P	S	Cu
A	2.14	1.42	0.34	0.094	0.05	0.23

Table 2.

Specimen No	Quenching temp. (°C)	Method of quenching	Beginning temp. of graphitization (°C)	Remarks
A. a. 1	As cast		955	凡て
// 2	530	Usual	960	15°C の水を焼入れ剤とした。
// 3	690	do.	950	
// 4	785 (just below $A_{c1}$ )	do.	950	
// 5	760 (just above $A_{r1}$ )	850°C 迄加熱したる後爐中冷却し温度が760°Cに降下するや否や焼入れす。	880	
// 6	810 (just above $A_{c1}$ )	usual	875	
// 7	870	do.	870	
// 8	970	do.	870	



此等の曲線に就て 黒鉛化開始温度を求めると圖中 B° C 及 Table 2 に示す如くである。

以上の結果から次の新現象が明となった。

(1) 白鉄の焼入れが其黒鉛化に著しい関係を有す。

(2) 白鉄を焼入れすればこれを焼鈍するに當り、斯る熱所理を加へざるものに比して遙に容易に黒鉛化するものである。

(3) 白鉄の焼入れ温度が高い程其黒鉛化は容易となるが其影響は著しくはない。

次に上の現象を顯微鏡組織學的に觀察するに、鑄造したる儘の白鉄は遊離セメントイト及パーライトよりなり

Photo. 5 に類似の組織であるが、これを焼入れすればパーライトの部分がオーステナイト乃至マルテンサイトに変化する。併しこれ等は焼入れ白鉄を焼鈍する際一旦パーライト（トルースタイト及ソルバイトを含む）に変化して後白鉄の黒鉛化開始前に其一部又は全部は再びオーステナイトに変化したものである。Photo. 1~4 は焼鈍したものの組織を示すのであるが、鑄造の儘或は  $A_1$  點以下の溫度から急冷して後焼鈍せるものの組織と  $A_1$  點以上の溫度から焼入れして後焼鈍したるものの組織と著しく異なる事が明に知られる。即ち前者に於ては Photo. 1 及 2 に示す如くパーライト基質内に尙多量の遊離セメントイトが残留して黒鉛化の進行が困難であつた事を示して居るのに反し、後者にあつては Photo. 3 及 4 に示す如くフェライト基質内に多少のパーライトを含み遊離セメントイトは全く存在して居ない。此場合には黒鉛化は極めて容易に進行したのである。尙これ等の顯微鏡組織から試料の焼入れ溫度が高いもの程残留セメントイトの量が幾分少い事が知られた。此他兩者の最も著しい差違は前者にあつては焼戻炭素は小數の大きな、丸味を帯びた形となつて多くの場合オーステナイト基質内に出來て居るが、後者にあつては多くの場合遊離セメントイトが占めて居た位置に多數の小さい、長味を帯びた焼戻炭素が出來て居る事である。

第三項 焼入れ劑の影響

本實驗に於ては Table 3 に示す成分を有する試料を採りこれを前述の方法で凡て 850°C 迄加熱し

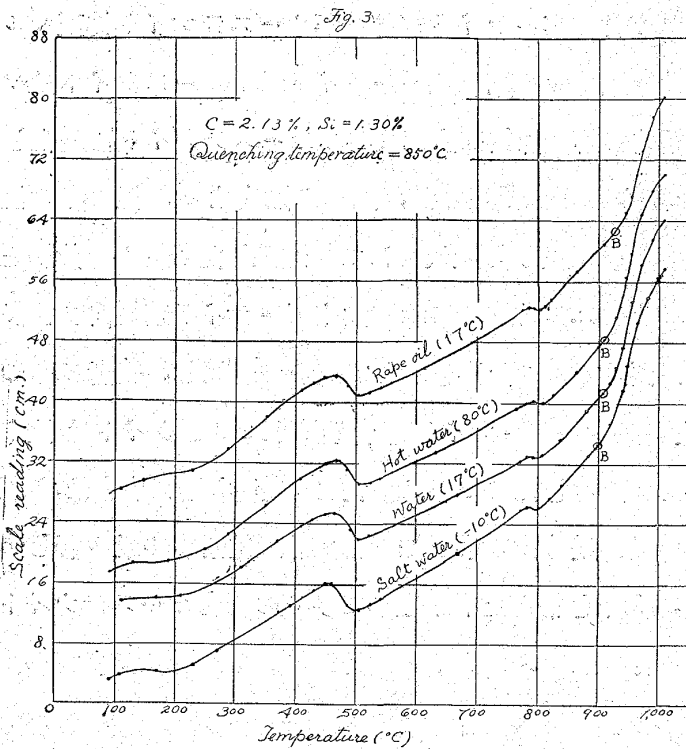
Table 3.

Specimen No.	Composition (%)					
	C	Si	Mn	P	S	Cu
M	2.13	1.30	0.33	0.096	0.053	0.23

Table 4.

Specimen No.	Quenching Medium	Temp of quenching medium (°C)	Beginning temp of graphitization (°C)	Remarks
M-1	食 鹽 水	-10	960	凡て 焼入溫度： 850°C
" 2	水	17	910	
" 3	水	80	910	
" 4	菜 種 油	17	930	

たる後 Table 4 に示す焼入れ劑の内で焼入れして種々の冷却速度の下で冷却せしめたる後熱膨脹測定器によつて其黒鉛化状態を測定した。其結果は Fig. 3 に示してある。これから各試料の黒鉛化開始溫度を求めると圖中 B °C 及 Table 4 に示す如くなる。又焼鈍せる試料の組織を検鏡せるに何れも Photo. 3 及 4 に類似の組織であるがフェライト基質内に残留せるパーライトの量は明に試料の



冷却速度が大なるもの程小である事を示した。

以上の実験結果によると焼入れの際試料の冷却速度が大なる程之を焼鈍するに當り其黒鉛化が容易となる傾向が認められるが、此実験に於ける程度の冷却速度の差は結果に著しい差違を齎さない事が知られる。

第四項 繰り返し焼入れの影響

今迄の実験は何れも一回だけ焼入れせる白鉄に就て行つたのであるが、同じ試料に就て焼入れを繰り返す毎に其黒鉛化がどの程度迄容易になり得るものであるかは興味ある問題となる。そこで此実験に於ては Specimen No. A を 4 本採り之を前述の焼入れ方法によつてすべて 810°C から 15°C の水中に Table 5 に示す如き所要の回数だけ焼入れを繰り返して後、熱膨脹測定器によつて其黒鉛化状態を調べた。其結果は Fig. 4 に示してある。これから各試料の黒鉛化開始温度を求むると圖中 B°C 及 Table 5 に示す如くなる。尙焼鈍せる試料の組織を観るに勿論この場合でも何れも Photo.3 及 4 に類似の組織となつて居るが、焼入れ回数が多いもの程パーライトの量が少なくなつて居る。

以上実験の結果によると焼入れ繰り返し

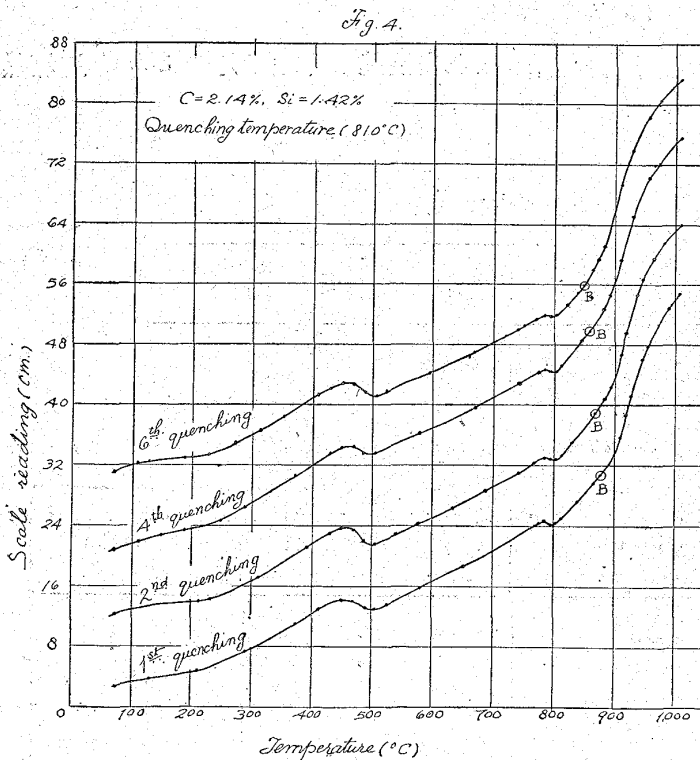


Table 5.

Specimen No.	No. of repetition of quenching	Beginning temp. of graphitization	Remarks
A. b. 1	1	880	常に 810°C より 15°C の水中に焼入れず
" 2	2	870	
" 3	4	860	
" 4	6	850	

回数が増加する程白銑の黒鉛化は容易となつて行くが2回以上の焼入れの影響初回程著しくない事が認められる。

### 第三節 白銑を一定温度にて加熱せる場合に現はるる新現象の研究

#### 第一項 實驗の方法

此實驗は黒心可鍛鑄物工業に密接なる關係を有するが故に之を遂行するに當つては萬事成る可く實際工業の操業に接近して行ひ、本實驗によつて求めたる成績を直ちに實地工業に應用し得る様に留意したのである。

試料：— 適當に配合せる材料をクリプトル爐にて熔解して之を直徑約10mm 長さ200mmの生砂型に鑄込み、これから直徑7.5mm、長さ80mmなる丸棒に仕上げて試料とした。斯して製作せる試料の組織は例へば Photo. 5 に示す如く、其粗密度に於て實地工業に於て可鍛鑄鐵用として製造せられる白銑鑄物の組織と大差がないのである。

焼入れ方法：— 焼入れ試料の製造の場合、其焼入れ方法は第二節に於て述べたと全く同じである。

焼鈍方法：— 黒心可鍛鑄物製造の實地作業に於ては一般に先づ白銑鑄物を  $A_1$  點以上の高温度(例へば  $900^{\circ}\text{C}$  或は  $870^{\circ}\text{C}$ )に長時間保持して遊離セメンタイトを全く黒鉛化せしめて後、極めて徐々に冷却せしめて過凝共晶セメンタイト及凝共晶セメンタイトを黒鉛化し、之に充分なる可鍛性を與へて居る。従つて此研究に於ても又試料を先づ  $A_1$  點以上の所要の温度迄加熱し、同温度を保持して遊離セメンタイトを完全に黒鉛化せしめたる後、爐中冷却を行ふか、又必要に應じては一定冷却速度を以て  $A_{r1}$  點以下の温度迄冷却して凝共晶セメンタイトを析出せしめたる後、 $A_1$  點以下に於ける所要の温度に保ちて過凝共晶セメンタイト(若し存在して居るとすれば)及凝共晶セメンタイトの黒鉛化状態を追究する事とした。今便宜上菊田博士の例に従ひ、此實驗に於て  $A_1$  點以上の温度に保持した場合の遊離セメンタイトの黒鉛化を第一段黒鉛化、 $A_1$  點以下の温度に保持した場合の過凝共晶セメンタイト及凝共晶セメンタイトの黒鉛化を第二段黒鉛化と名付ける事とする。

今試料の加熱及冷却速度を示すと次の如くである。

(1) 加 熱 室温 ← 毎分  $10^{\circ}\text{C}$  → 第一段黒鉛化温度(保持) 冷 却 第一段黒鉛化温度 ←

爐中冷却 → 室温

或は

(2) 加 熱 室温 ← 毎分  $10^{\circ}\text{C}$  → 第一段黒鉛化温度(保持) 冷 却 第一段黒鉛化温度

← 毎分  $10^{\circ}\text{C}$  →  $700^{\circ}\text{C}$  ← 毎分  $10^{\circ}\text{C}$  →  $730^{\circ}\text{C}$  或は  $740^{\circ}\text{C}$  (保持) ← 爐中冷却 → 室温

斯る熱所理は第二節の場合と全く同じく凡て熱膨脹測定器と外氣とを遮斷して行つた。

第一段黒鉛化溫度及第二段黒鉛化溫度に於て長時間一定溫度を保持する事は甚だ困難と考へられたのであるが、幸全實驗を通じ第一段黒鉛化溫度は $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内、第二段黒鉛化溫度は $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 以内に保持する事が出来た。而してこの實驗に於ては別に自記高溫計を以て一々熱所理の有様を記録せしめたのである。又熱所理の間に於ける目盛の讀みは加熱及冷却中は $10^{\circ}\text{C}$ 或は $20^{\circ}\text{C}$ 毎に取り、一定溫度に保持せる中は10分間毎に取つた。熱所理を終りたる試料は一々顯微鏡試験を行つた事は勿論である。

### 第二項 炭素及珪素含有量を種々異にする白鉄の焼入れが其黒鉛化に及ぼす影響

菊田博士は最近著者と略同一方法によつて $925^{\circ}\text{C}$ に於ける白鉄の第一段黒鉛化完了時間と其炭素及珪素含有量との關係を求め、又或種の白鉄に就ては $710^{\circ}\text{C}$ に於ける第二段黒鉛化完了時間との關係をも求められて居る。著者が此實驗の目的は白鉄の焼入れが如何に其黒鉛化に影響するかを決定するにあるが、其爲めには、勢、鑄造せる儘の白鉄の黒鉛化状態をも知らなければならぬ。茲に於て著者は菊田博士の實驗を再び繰り返す事となつた。但しこの實驗に於ては菊田博士の如く第一段黒鉛化溫度を一定に限らずに先づ鑄造の儘の白鉄に就て種々の高溫度に保持して實驗的に炭素、珪素含有量、第一段黒鉛化溫度及第一段黒鉛化完了時間との間の相互關係を明にし、次に焼入れせる白鉄に就ても上と同様の關係を求めて白鉄の焼入れが其第一段黒鉛化に及ぼす影響を完全に理解する事にした。第二段黒鉛化に及ぼす影響に就ては、實地應用上必要と認めたもの限り、 $A_1$ 以下の一定溫度に保持して鑄造の儘の白鉄と、焼入れせる白鉄に就て夫々其黒鉛化完了時間を求め、これを比較研究したのである。以下實驗の詳細に就て述べる。

試料：— この實驗に用ひたる試料の成分は Table 6 に示す。これは炭素含有量の多少に応じて La~e なる 5 つの群に分つてある。この表中 L.C.4 は珪素量多きに過ぎ其破面に黑色斑點を示したので省いた。又 Le は其破面に顯微鏡的の黑色斑點を示したのみであつたのでこれを採用した。

焼入れ試料を作る場合には鑄造の儘の試料を凡て $850^{\circ}\text{C}$ から $24^{\circ}\text{C}$ の水中に焼入れした。

熱膨脹實驗：— Fig. 5 a 及 b は試料 L.b に屬する白鉄の加熱及冷却曲線で、a 圖は鑄造の儘の試料、b 圖は焼入れ試料に就て實驗せる結果である。圖に於て横軸は溫度を表はし、縦軸は試料の延びに正比例する尺度上の讀みを表はしてある。又兩圖とも曲線が重り合ふのを避ける爲めに溫度の尺度を $100^{\circ}\text{C}$ づつずらしてある。先づ a 圖に就て説明せん試料を加熱すると其  $A_{c_1}$  變化は約 $800^{\circ}\text{C}$ に表はれる。更に溫度を上げ所要の溫度に保持すると遊離セメントイトの分解が始つて曲線は横軸に垂直に上るが臆て遊離セメントイトが分解し盡すと同時に其上昇は止む。そこで試料を冷却せしむる

Table 6.

Specimen No.	Composition %						Condition of Specimen	Heat Treatment No.	Graphitization Curve No.	Annealing Temperature		Annealing Time for Complete Graphitization				
	C	Si	Mn	P	S	Cu				in 1 <sup>st</sup> Stage °C	in 2 <sup>nd</sup> Stage °C	in 1 <sup>st</sup> stage min.	in 2 <sup>nd</sup> stage			
L-a	1	1.97	0.64	0.35	0.088	0.051	0.21	As Cast	A-1	S-1	1,010		3	20		
								Quenched	Q-1	Q-1	970		2	30		
	2	2.02	1.41	0.39	0.123	0.057	0.17	As Cast	A-1	S-3	960		2	0		
								Quenched	Q-1	Q-3	980		0	40		
	3	2.05	1.70	0.35	0.102	0.051	0.22	As Cast	A-1	S-5	970		1	0		
								Quenched	Q-2	Q-6	920		1	0		
	4	1.93	1.96	0.30	0.101	0.052	0.22	As Cast	A-1	S-7	970		0	50		
								Quenched	Q-1	Q-7	970	740	2	0	hr. min.	
L-b	1	2.46	0.67	0.32	0.099	0.057	0.23	As Cast	A-1	S-9	1,010		4	30		
								Quenched	Q-1	Q-9	1,010		1	20		
	2	2.43	0.14	0.34	0.102	0.057	0.23	As Cast	A-1	S-11	970		5	0		
								Quenched	Q-1	Q-12	970		1	20		
	3	2.38	1.25	0.37	0.095	0.053	0.23	As Cast	A-1	S-15, S-15'	970	730	2	10		
								Quenched	Q-1	Q-16, Q-16'	970	730	0	40	5	0
	4	2.37	1.54	0.37	0.102	0.057	0.23	As Cast	A-1	S-17, S-17'	970	730	1	0	4	0
								Quenched	Q-1	Q-17, Q-17'	930	730	1	0	4	0
L-c	1	2.81	0.65	0.24	0.102	0.060	0.24	As Cast	A-1	S-22	1,010		5	10		
								Quenched	Q-1	Q-23	970		2	30		
	2	2.80	0.94	0.21	0.109	0.058	0.23	As Cast	A-1	S-24	970		4	0		
								Quenched	Q-1	Q-25	970		1	0		
	3	2.79	1.35	0.28	0.179	0.072	0.11	As Cast	A-1	S-27, S-27'	950	740	3	0	11	0
								Quenched	Q-1	Q-28	940		0	30		
	4	2.81	1.58	0.23	0.109	0.057	0.24	As Cast	A-1	S-28	920		5	0		
								Quenched	Q-1	Q-29	900	740	1	20	1	3
L-d	1	3.33	1.03	0.15	0.088	0.049	0.18	As Cast	A-1	S-30	970		4	30		
								Quenched	Q-1	Q-31	970		1	30		
L-e	1	3.77	0.43	0.05	0.010	0.016	0.06	As Cast	A-1	S-32	970		10	0		
								Quenched	Q-1	Q-33	970		5	30		

⊗ 黒鉛化曲線及焼鈍試料の組織より決定す。

⊕ 破面に微量の黒色斑点あり



Fig. 5-a.

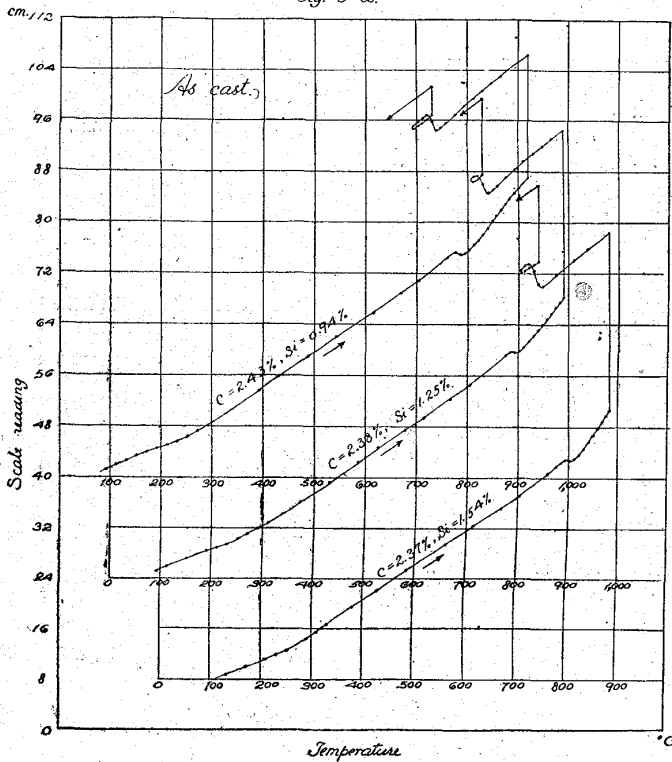
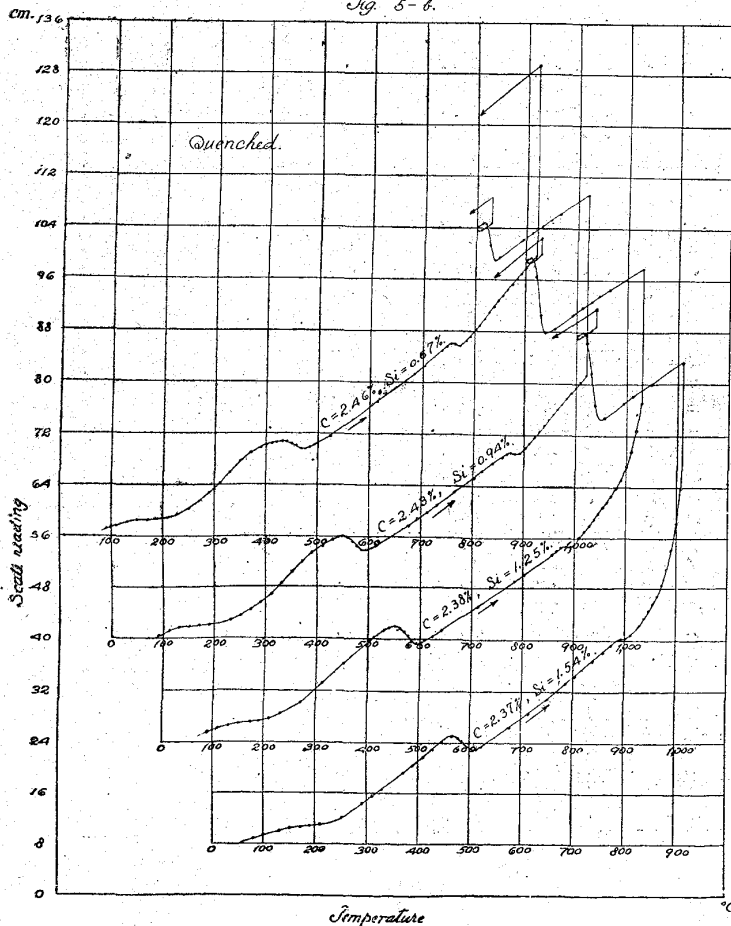


Fig. 5-b.



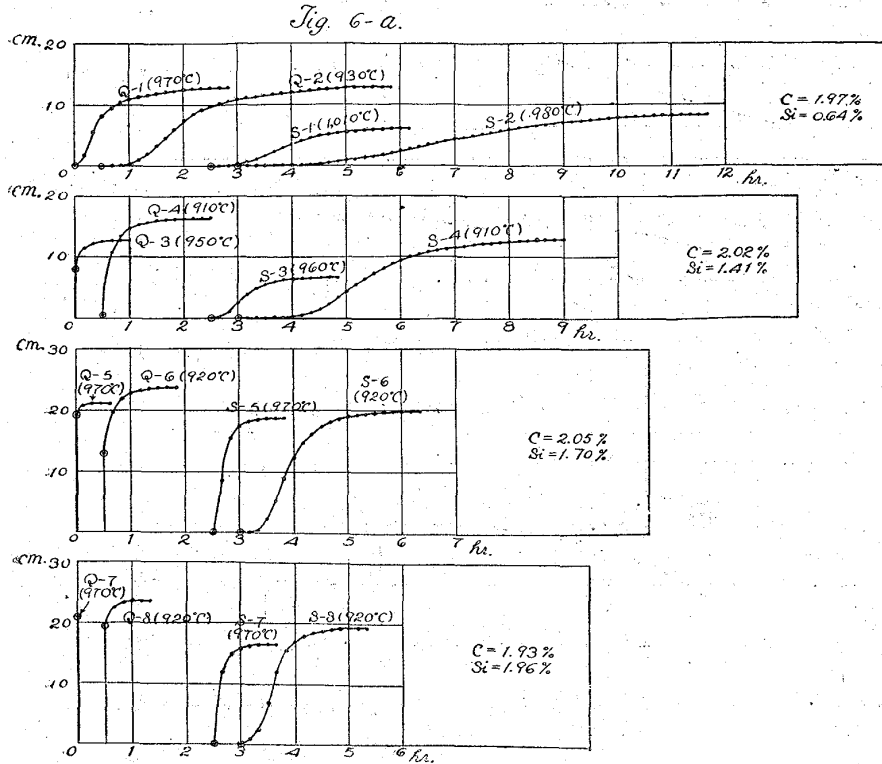
と約 750°C から  $A_1$  變化が始まる。  
 $A_1$  變化が終つて後、再び温度を少しく上昇せしめ、 $A_1$  點の下の一定温度 (730°C 或は 740°C) にて再び温度を保持すると、曲線は再び横軸に垂直に上昇し始める。これはパーライト、セメントイト及若し存在するとせば過凝共晶セメントイトが黒鉛化する爲めである。次に此等のセメントイトの消失即ち曲線の上昇が止みて後試料は爐中冷却する。

焼入れ試料の加熱に際しては前節に説明せる如く約 200°C 及 500°C に於て二段の収縮が表はれる。 $A_c1$  點は鑄造の儘の試料と同一温度に表はれる。尙温度を上げると珪素量の多い試料は 830°C 位から遊離セメントイトの黒鉛化が始まり曲線は急速に上昇し始める。而して所要の第一段黒鉛化温度に達する迄に已に遊離セメントイトの大半は分解して居て、同温度に達して後残部の遊離セメントイトの分解によつて曲線は横軸に垂直に上昇する。其後は前の場合と變りがない。

鑄造の儘の試料でも焼入れ試料でも第一段黒鉛化のみを目的としたものは凡て b 圖の最上曲線に示す如くに第一段黒鉛化が完了して後爐中冷却を行つた。

Table 6 に示す試料は凡て第一段黒鉛化温度を種々に採りて Fig 5 に示すと全く同様の熱所理を施して夫々第一

段黒鉛化完了時間及必要に應じては第二段黒鉛化完了時間を求めたのであるが、茲には重複を避ける爲め單に代表的の例とし Fig. 5 を掲げ他の試料の加熱及冷却曲線は總て省略する事にした。但し第一段及第二段黒鉛化期に於ける各試料の黒鉛化進行の状態は此實驗に於て極めて重要な點であるの



でこれを詳細に圖示する事にした。Fig. 6 a-e 及 Fig. 7 a 及 b がそれである。兩圖に於て横軸は所要の黒鉛化溫度に保持せる時間を表はして、縦軸は試料の延びを表はす。これは黒鉛化せるセメントイドの量に相當するものである。圖中 S 及 S' 曲線は鑄造の儘の試料、Q 及 Q' 曲線は焼入れ試料の黒鉛化曲線を示す。又 Fig. 6 に於て a 圖は炭素 2.0% の白鉄、

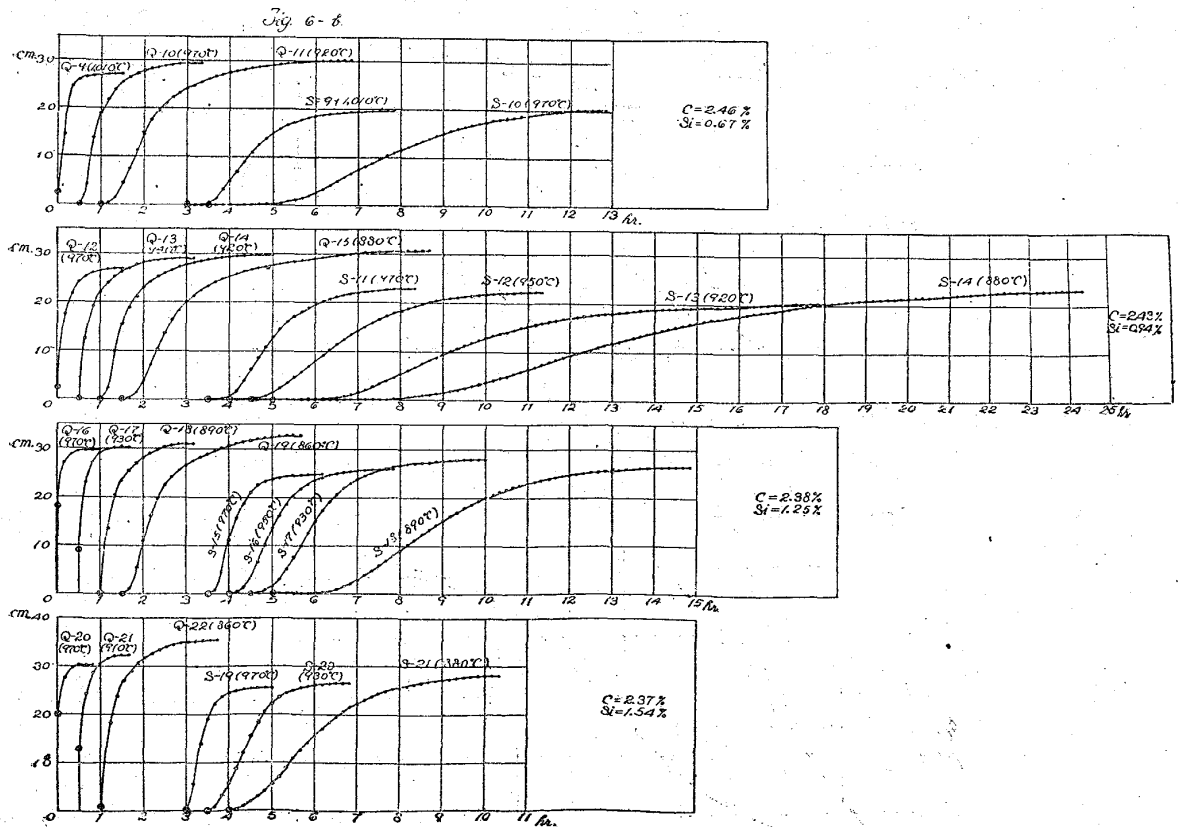


Fig. 6-c

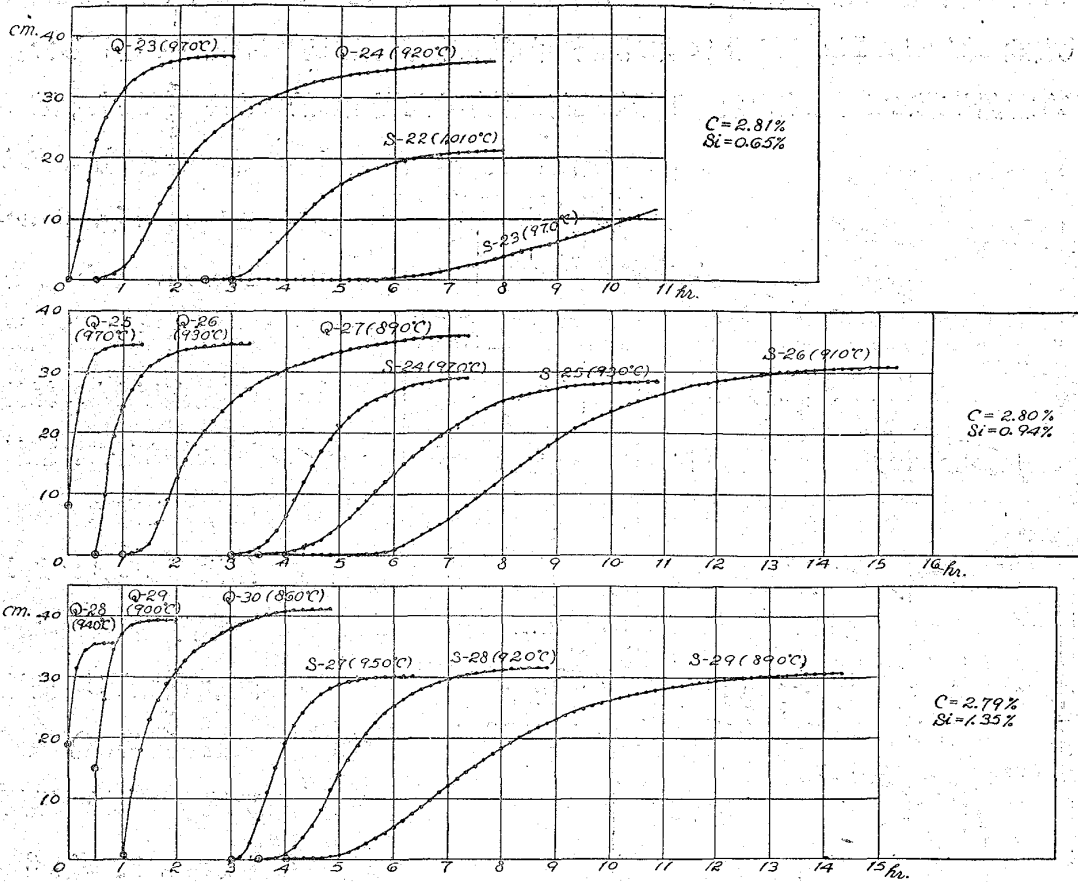


Fig. 6-d

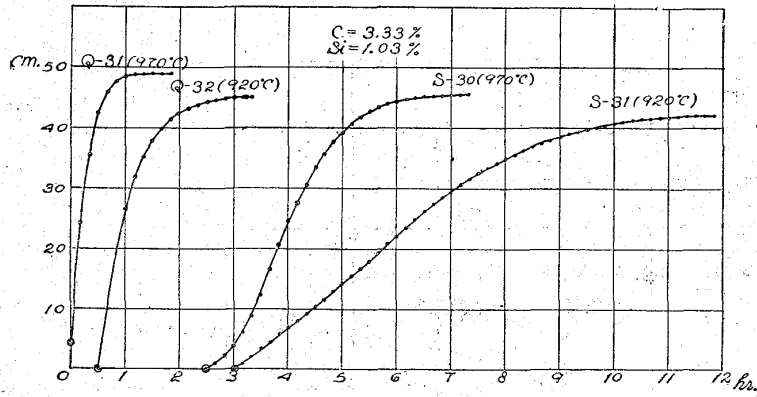
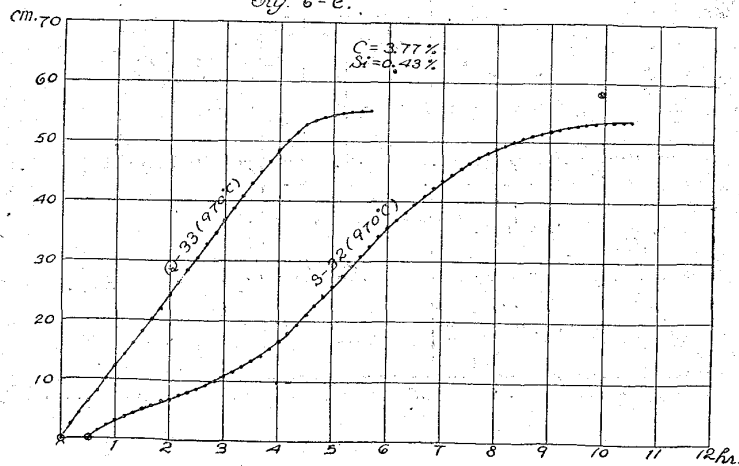
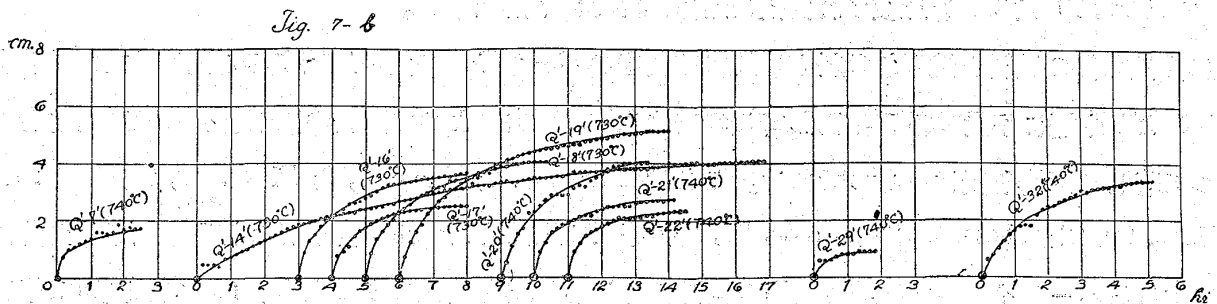
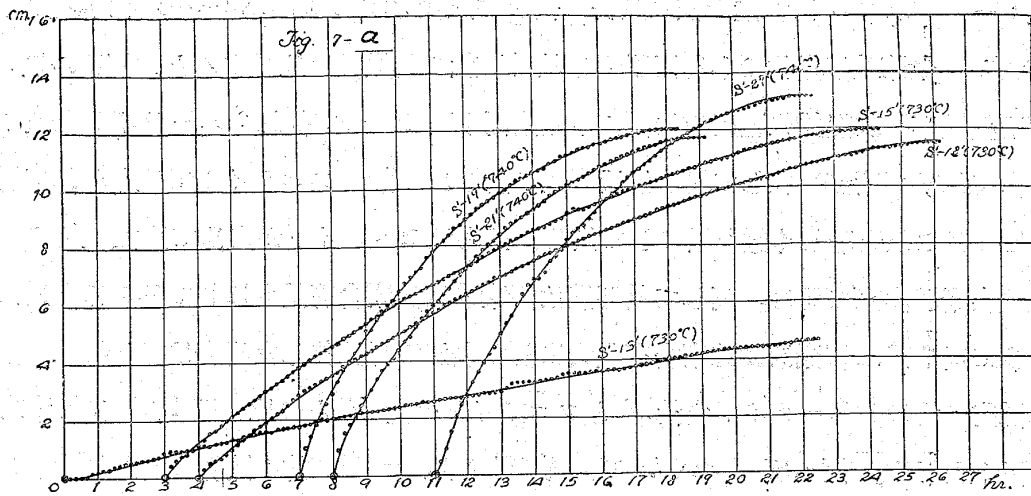


Fig. 6-e





b 圖は炭素 2.4% の白鉄、c 圖は炭素 2.8% の白鉄、d 圖は炭素 3.3% の白鉄、e 圖は炭素 3.8% の白鉄の第一段黒鉛化曲線を表はし Fig. 7 に於て a 圖は鑄造の儘の試料、b 圖は焼入れ試料の第二段黒鉛化曲線を表はす。而して曲線の番號例へば S'-13' とは第一段黒鉛化を Fig. 6 中の曲線 S-13 に従つて完了せしめたる試料の第二段黒鉛化曲線を示すものである。尙此等の曲線中 Q-20 の如きに於ては零時間に於て 200mm の延びを示して居るのは Fig. 5 b から知らるゝ如く試料の温度が第一段黒鉛化温度に達する迄に已に遊離セメントイトの分解によつて 200mm だけ延びて居た事を示して居る。他の此種の曲線も又これと同様の事を表はす。

今此等の黒鉛化曲線を通覽すると吾々は種々の現象を知る事が出来る。

先づ第一に第一段黒鉛化完了時間に於ても又第二段黒鉛化完了時間に於ても焼入れ試料が他に比して遙に短い事が知られる。これに就ては後に詳しく論ずる事とする。

次に試料の炭素含有量が多い程第一段黒鉛化曲線の高さが大である事である。これは炭素含有量が大なる程試験の遊離セメントイトの量が増加する事實による事は云ふ迄もない。

又同量の含炭量であつても珪素含有量が大なる程第一段黒鉛化曲線の高さが大なるは珪素含有量が大なる程遊離セメントイトの量が増加する事實によるものである。

最後に、同一の試料であつても一般に焼入れ試料の第一段黒鉛化曲線の高さは、鑄造の儘の試料のそれに比して遙に大で、逆に前者の第二段黒鉛化曲線の高さが後者のそれに比して遙に小なるは甚だ興味ある現象である。此現象は全く鉛黒化に與つたセメントイトの量に基因する事は次に述べる。

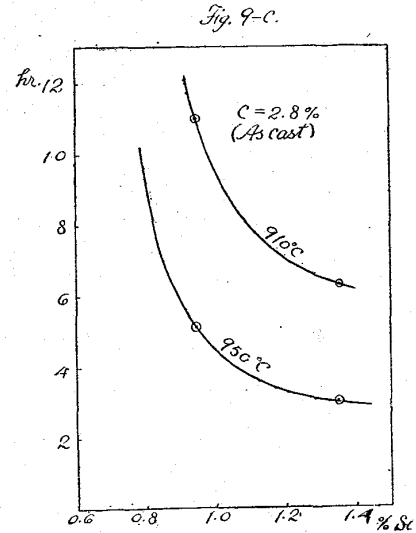
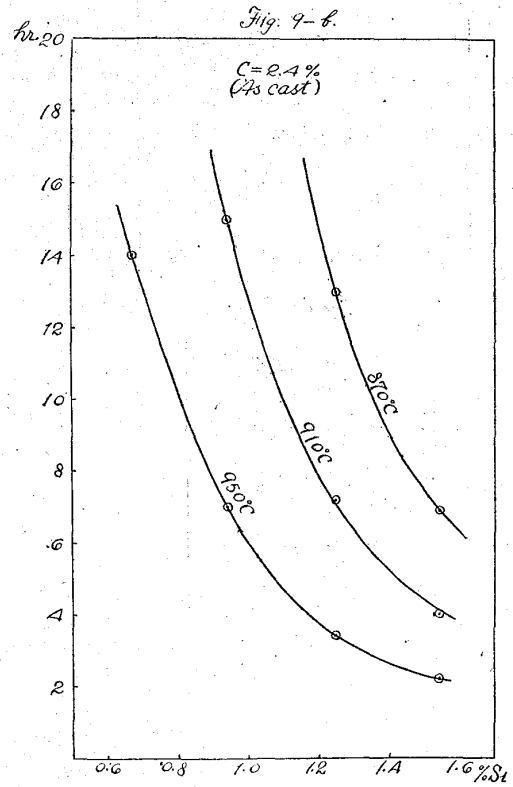
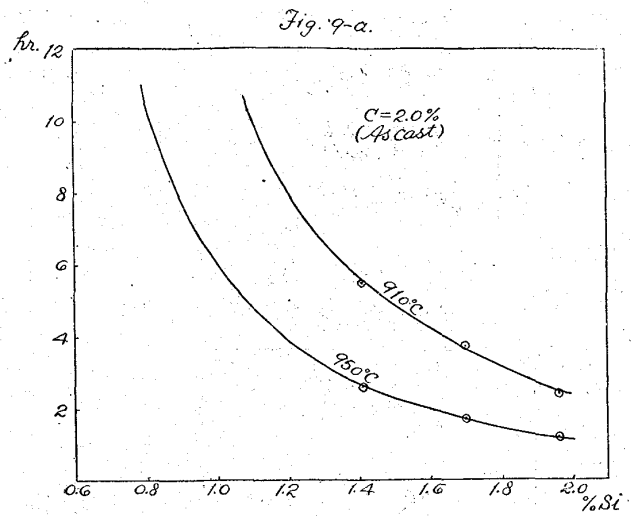
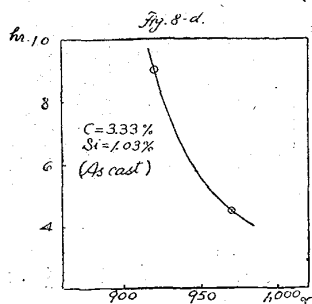
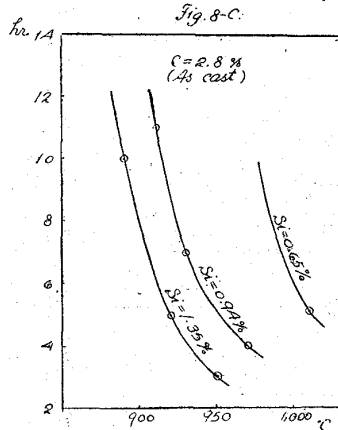
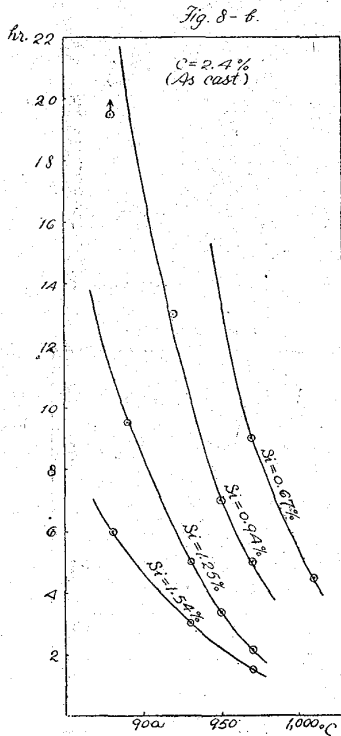
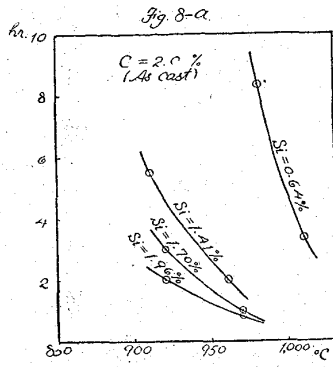
顯微鏡試験：— Photo. 5 は鑄造の儘の試料の代表的組織を示し Photo. 6~25 は焼鈍せる試料の代表的組織である。今第一黒鉛化のみを完了せる試料に就て其組織を比較すると、鑄造の儘の試料は炭素及珪素含有量及第一段黒鉛化温度の如何に不關大同小異であつて何れもパーライト基質中に小數の、大なる、圓狀燒戻炭素が點在して居り燒戻炭素の周圍は少量のフェライトで取り巻かれて居る。焼入れ試料にあつてはこれと著しく趣を異にして居る。即ち元セメントが占めて居た位置に多數の極めて小さい燒戻炭素が出来て居る。而して其形狀は炭素或は珪素含有量小にして徐々に黒鉛化した場合は丸味を帯びて居るが、炭素或は珪素含有量大にして急速に黒鉛化した場合は多少長味を帯びて居る。而して基質内に於けるパーライトの量  $P$  とフェライトの量  $F$  との比 即  $P/F$  は炭素或は珪素含有量大なる程小となる。例へば Photo. 7, 11 及 19 を比較すれば前の關係が知られ Photo. 7 及 9 或は Photo. 19 及 21 を比較すれば後の關係が容易に了解出来る。

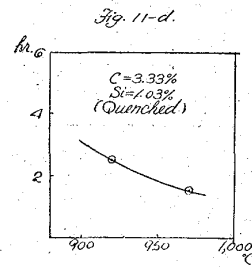
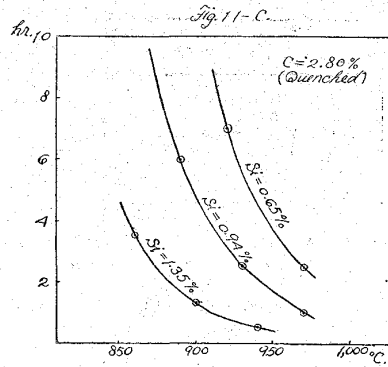
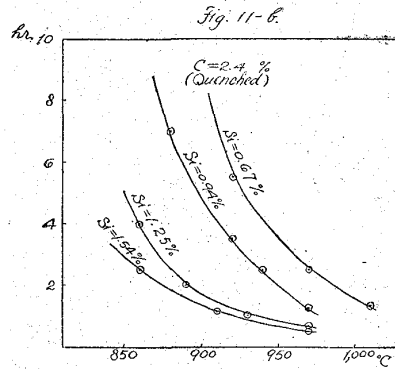
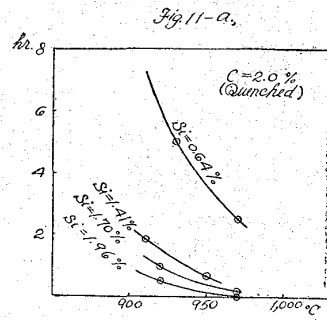
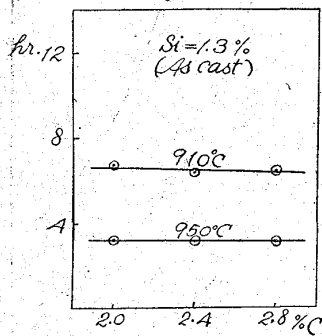
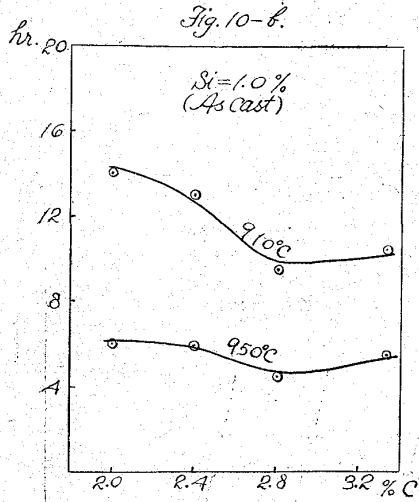
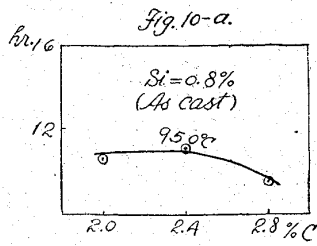
次に鑄造の儘の試料と焼入れ試料とに於て基質中のパーライトの量を比較すると後者に於ては前者に於けるよりも遙に少量である。而してこの差は上述の理由によつて試料の炭素含有量及珪素含有量によつて著しく影響を受けるものである。これは Photo. 6, 7; Photo. 8, 9; Photo. 10, 11; Photo. 18, 19; Photo. 20, 21; Photo. 22, 23; Photo. 24, 25; 等互に比較研究すれば自ら明となる。此等の寫眞に於て現はるるパーライトの量は即ち此等の試料を若し第一段黒鉛化のみに止めずして更に續いて第二段黒鉛化をも完了せしむれば第二段黒鉛化曲線に其高さとなりて表はれて來るものである。茲に於て吾人は焼入れ試料の第一段黒鉛化曲線の高さは鑄造の儘の試料のそれに比して遙に大で前者の第二段黒鉛化曲線の高さはこれと反對に後者のそれに比して遙に小なる理由を明瞭に理解する事が出来たのである。即ち同一成分の試料でも之を一定の第一段黒鉛化温度に保持する時焼入れ試料に於て黒鉛化に與ふる遊離セメントの量は鑄造の儘の試料に於けるよりも遙に多量であるが爲めに前者の第一段黒鉛化曲線の高さは後者のそれに比して遙に大となるが前者に於て第二段黒鉛化に與るセメントの量は逆に後者のそれに比して遙に小となり従つて前者の第二段黒鉛化曲線の高さは後者のそれに比して遙に小となるものである。

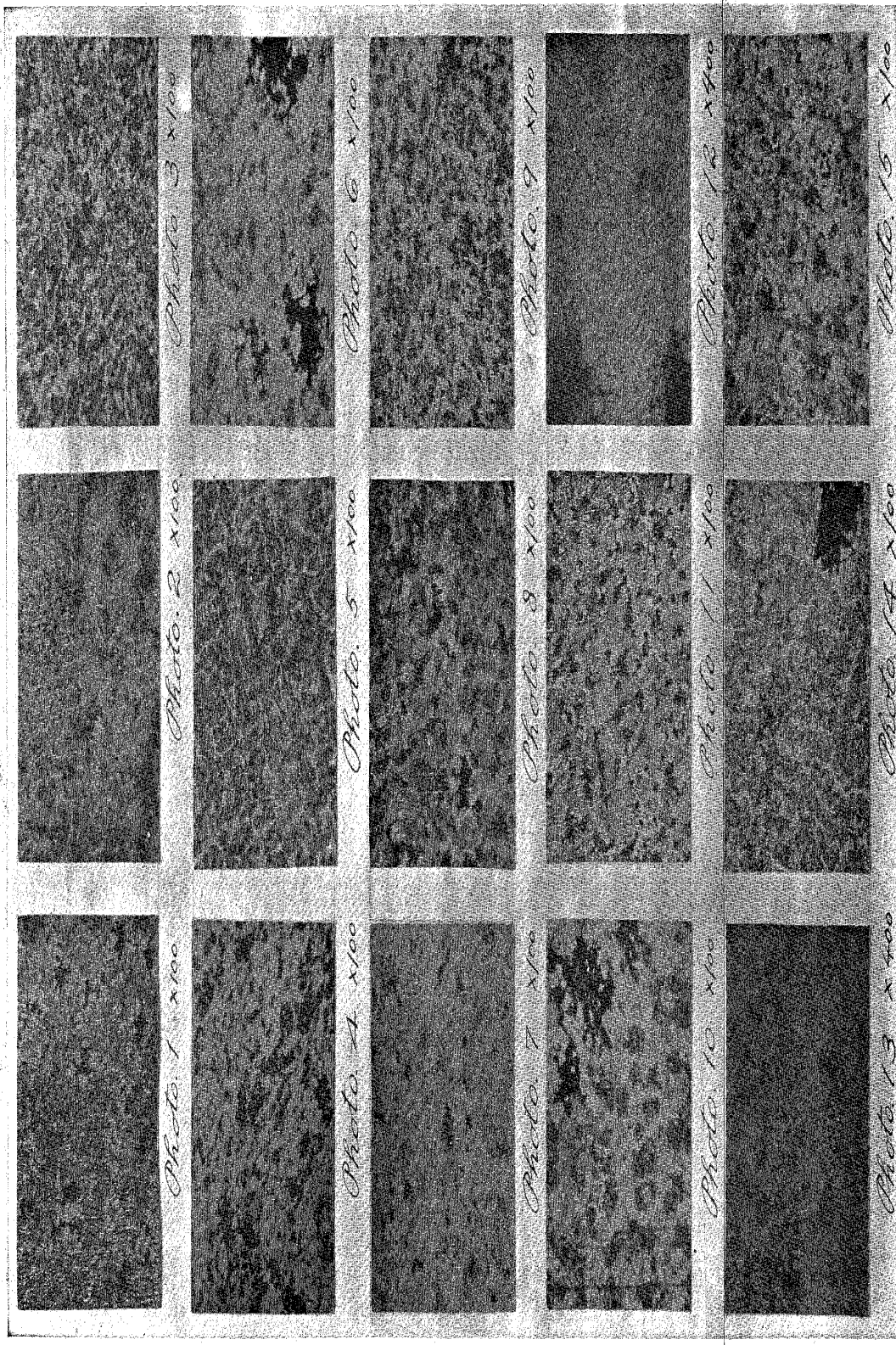
鑄造の儘の試料と焼入れ試料との第一段黒鉛化完了時間の比較：— Fig. 6 から第一段黒鉛化温度に相當する黒鉛化完了時間を求むると Table 6 に示す如くなる。此結果から先づ鑄造の儘の試料で含炭量夫々 2.0%, 2.4%, 2.8% 及 3.3% の白鉄に就て第一段黒鉛化温度と同完了時間との關係を圖示すると Fig. 8 a~d となる。此關係から各白鉄系に就て珪素量と第一段黒鉛化完了時間との關係を圖示すれば Fig. 9 a~c となり、更に又 Fig. 9 によつて珪素含有量夫々 0.8%, 1% 及 1.3% の白鉄に於ける炭素含有量と第一段黒鉛化完了時間との關係を圖示すると Fig. 10 a~c となる。

上と同様の順序でこれ等の關係を焼入れ試料に就て求めると Fig. 11 a~d, Fig. 12. a~c. 及 Fig. 13 a~d となる。

以上の曲線をよく觀ると鑄造の儘の試料に於けると同様焼入れ試料に於ても又珪素量及黒鉛化温度







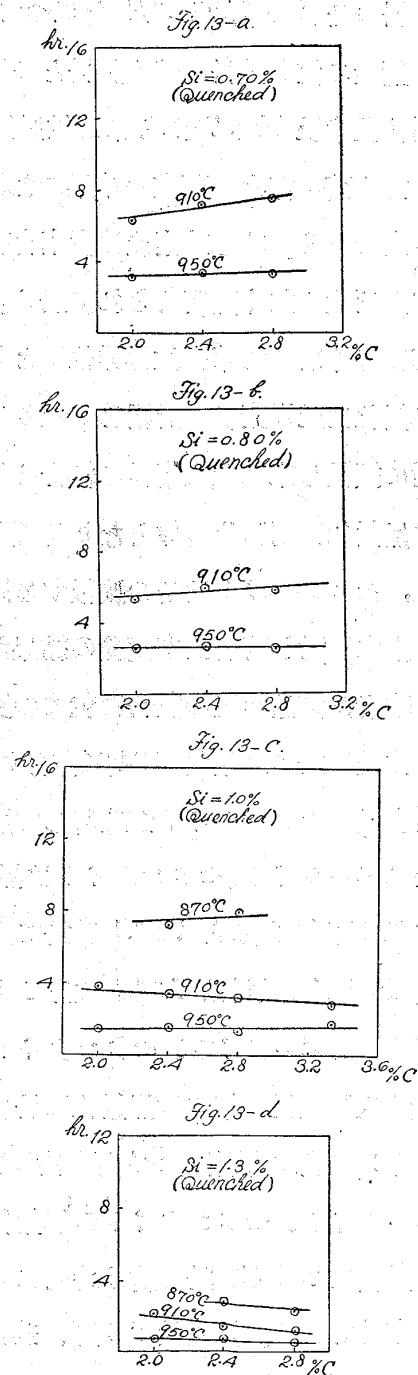
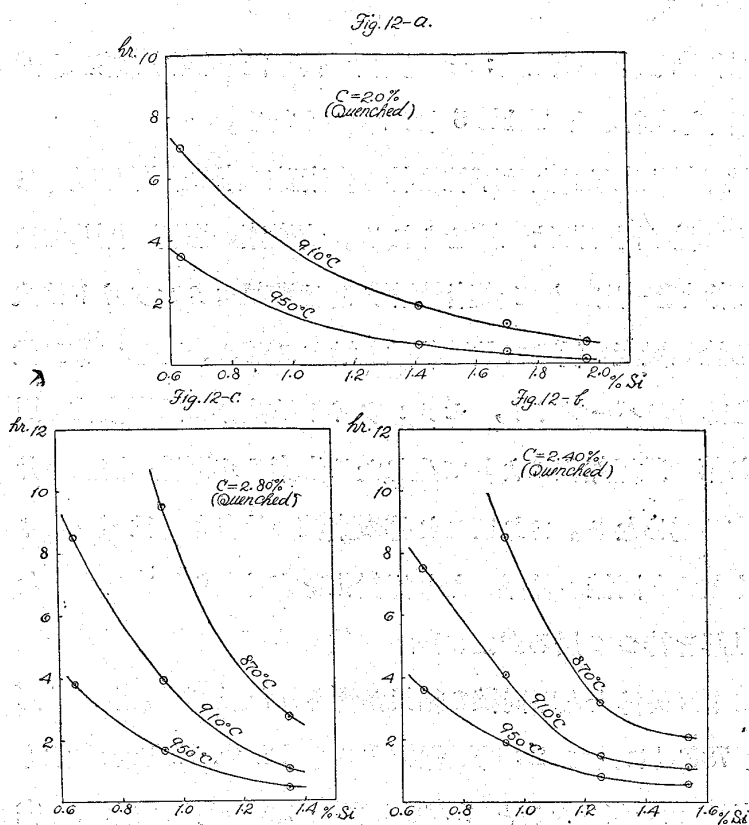
寫眞の説明(其一)

Photo. No.	Specimen No.	Heat treatment.	の如く	所理子
1	A. s. 1	Fig. 2 に示す曲線	の如く	所理子
2	" 4	" "	"	"
3	" 5	" "	"	"
4	L. b. 2	" "	"	"
5	L. a. 1	Fig. 6 に示す曲線	の如く	所理子
6	" "	" "	"	"
7	L. a. 3	" "	"	"
8	" 9	" "	"	"
9	L. b. 1	" "	"	"
10	" 2	" "	"	"
11	" "	" "	"	"
12	" "	" "	"	"
13	" "	Fig. 6 及 7	"	"
14	" "	Fig. 6	"	"
15	" "	" "	"	"

S-1  
Q-1  
S-6  
Q-6  
S-9  
Q-9  
S-11  
Q-11  
Q-14及Q'-14'  
S-13及S'-13'  
Q-15







が其黒鉛化に及ぼす影響如何に大なるかが容易に知られる。又鑄造の儘の試料に就て第一段黒鉛化完了時間に及ぼす炭素量の影響を見るに珪素量 0.8% の白鉄は第一段黒鉛化温度 950°C に於て同完了時間は炭素量 2~2.4% までは變化がないが炭素量がそれ以上増加するに従ひ幾分短縮される。珪素量は 1% のものにあつては第一段黒鉛化温度 950°C に於ては前と略同様の關係が存在するが 910°C に於ては炭素量 2% 以上増加するに従ひ黒鉛化完了時間は漸次短縮される。珪素量 1.3% の白鉄にあつては黒鉛化完了時間は殆んど炭素量の影響を受けない。此等の諸點は菊田博士の實驗結果とよく一致して居る、併し焼入れ試料に就ての此等の關係は Fig. 13 に示す如く試料の含炭量は第一段黒鉛化完了時間に殆んど關係ない事が知られる。

以上鑄造の儘の試料及焼入れ試料に就て別々に其等の第一段黒鉛化完了時間に及ぼす種々の影響に就て考察したのであるが、次に兩種白鉄に就き比較して見ると一般に焼入れ試料の第一段黒鉛化完了時間は鑄造の儘の試料のそれに比して遙に短い事が明に認められるのであるが、尙此等兩種白鉄を夫々 950°C 及 910°C に保持せる場合に於ける第一段黒鉛化完了時間の差を各種試料に就き數字を以て示せば Table 7 となる。即ち白鉄を焼入れして後焼鈍する時は其第一段黒鉛化完了時間は鑄造の儘の

試料のそのの  $1/3.5 \sim 1/4$  を以つて足りるのである。

鑄造の儘の試料と焼入試料との第二段黒鉛化完了時間の比較：— 實驗に供したる試料の第二段黒鉛化温度及 Fig. 7 から第二段黒鉛化完了時間を求むると Table 6 に示す如くなる。

抑も菊田博士の研究の結果によれば第二段黒鉛化完了時間は不純物特に炭素及珪素の影響を受くる事大である。即ち珪素或は炭素含有量大なるに従ひ同時間は短縮せられる。尙炭素の影響に關しては博士は次の如く説明せられて居る。(6)「珪素量を一定にして炭素量増す時は遊離セメントは次第に多くなりて第一段黒鉛化によりて生ずる焼鈍炭素も従つて量及其數を増すに至る。而して第二段黒鉛化は此炭素粒の周圍より起りそれに遠き部分のパーライト、セメントは次第に此炭素粒の周圍に擴散し來り此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圍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パーライト、セメントはその擴散する距離短か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」之に對し著者は本實驗の結果から他の見解を持つて居るが之に就ては後で述べる。

著者が鑄造の儘の試料に就ての實驗に於ても又同博士と略同様の結果が得られた。即ち炭素量 2.4% の白鉄に於て珪素量 0.94% 含有する試料は 730°C に於て 23 時間保持するも Photo, 12 に示す如く尙多量のセメントが残留して居るが珪素量 1.25% となると 730°C に於て 22 時間にて殆んど完全にパーライト、セメントは黒鉛化し盡して居る事は Photo. 16 から明である。珪素量更に増加して 1.54% となると 740°C に於て 11 時間保持すれば充分である。又炭素量 2.8% の白鉄に於て珪素量 1.35% の試料は 740°C に於て 11 時間で充分である。若し珪素量 1.54% となればこれより遙に短時間でパーライト、セメントは黒鉛化し盡すであらう。

焼入れ試料の第二段黒鉛化に於ても鑄造の儘の試料に於けると同様に珪素量特に炭素量の影響が大である。即ち炭素量 2.4% の白鉄に於て珪素量 0.94% の試料は 730°C に於て 20 時間保持するも未だパーライト、セメントの黒鉛化不十分なる事は Photo. 13 から明である。然るに珪素量 1.25% の試験は 730°C に於て約 5 時間にて第二段黒鉛化は完了せられる。又珪素量 1.54% となると約 3 時間で充分である。炭素量 2.8%、珪素量 1.35% の試料に至つては僅に 1.5 時間なる短時間を以つて其パーライト、セメントは完全に黒鉛化せられる。又炭素量 3.3%、珪素量 1.03% の白鉄にあつては 740°C に於て第二段黒鉛化は 5 時間を以て終了する。これを試料 L. b の場合に比すれば遙に短時間とすべきである。尙鑄造の儘の試料に於ても又焼入れ試料に於ても第二段黒鉛化完了時間は第一段黒鉛化温度の影響を著しく受けない事が知られる。

次に鑄造の儘の試料と焼入試料とに就いて第二段黒鉛化完了時間を比較して見ると Table 6 から明なる如く、一般に焼入れ試料の第二段黒鉛化完了時間は鑄造の儘の試料のそれよりも遙に短い事が知られる。此事實を數字的に示せば Table 7 に示す如くなる。而して白鉄の焼入れによりて第二段黒鉛化完了時間が短縮される割合は炭素量によつて著しく異り、例へば炭素量 2.4% の白鉄に於て珪素量

Table 7.

Composition of Specimen %		Annealing time for Complete graphitization in 1 <sup>st</sup> stage.				Annealing Temp. °C		Annealing time for Complete graphitization in 2 <sup>nd</sup> stage.		Ratio of annealing time for complete graphitization A/B		
		950°C		910°C		As cast	Quenched	in 1 <sup>st</sup> stage		in 2 <sup>nd</sup> stage		
		As cast (A)	Quenched (B)	As cast (A)	Quenched (B)			Annealing Temp				
C	Si	hr. min.	hr. min.	hr. min.	hr. min.	hr. min.	hr. min.	950°C	910°C			
2.00	0.70		3 0									
	0.80	10 40	2 30							4.3		
	1.00	6 0	1 30	14 0						4.0 3.7		
	1.30	3 10	0 40	6 40						4.8 3.1		
2.40	0.70	13 0	3 20									
	0.80	11 0	2 40							(Si=0.9%) 2		
	1.00	6 0	1 30	13 0						(Si=1.25%) 4.4		
	1.30	3 10	0 40	6 20						(Si=1.54%) 3.7		
2.80	0.70		3 20									
	0.80	9 0	2 30									
	1.00	4 30	1 20	9 30						(Si=1.35%) 11		
	1.30	3 10	0 30	6 20								
3.33	1.03	5 30	1 50	10 30								
3.97	0.43	1 (970°C)	5 (970°C)							1 (970°C)		

\* 豫想

1.54% の試料は焼入れによつて其第二段黒鉛化完了時間は約 1/4 に短縮されるのであるが炭素量 2.8% の白鉄に於て珪素量 1.35% の試料は焼入れによつて實に 1/11 に短縮されるのである。

白鉄の焼入れによつて第二段黒鉛化完了時間がかくも著しく短縮される事實は實地應用上重要な現象であるが其理由は次の如くに釋明せられる。

前に述べた如く焼入れ試料に於ては第一段黒鉛化に與るセメントイトの量は鑄造の儘の試料のそれに比して遙に多量で従つて前者に於ける第二段黒鉛化に與るセメントイトの量は後者に於けるよりも遙に少量となるものである。故に若し兩種白鉄の第二段黒鉛化が同一の速度を以て進行すれば當然黒鉛化に與るセメントイトを少量含有する焼入れ試料の第二段黒鉛化が他に比して急速に完了せらる可きである。従て焼入れ試料に於ては炭素量が多い程第二段黒鉛化に與るセメントイトの量が小となるが故に其第二段黒鉛化時間は短縮せられるのである。

第三項 焼入れ温度の影響

この實驗に用ひた試料の成分は Table 8 に示す通りである。

Table 8

Specimen No.	Composition (%)					
	C	Si	Mn	P	S	Cu
P	2.80	1.21	0.28	0.193	0.072	0.17

試料を前述の方法を以て種々の温度より 24°C 水中に焼入れしたる後之を 920°C 及 740°C に保持して第一段黒鉛化完了時間及第二段黒鉛化完了時間を測定した。其結果は Fig. 14. a. b. 及 Table 9 に示してある。a 圖は第一段黒鉛化、b 圖は第二段黒鉛化の進行の状態を表はす。

Table 9

Specimen No.	Quenching temperature (°C)	Time required to complete the graphitization		Remarks
		1 <sup>st</sup> in stage (hr.-min.)	2 <sup>nd</sup> in stage (hr.-min.)	
P. a. 1	850	1 50	4 0	凡て 24°C の水を焼入れ劑とす
" 2	920	0 50	1 30	
" 3	1,000	0 50	1 0	

上の實驗の結果によると此場合でも又焼入れ温度が高い程第一段黒鉛化は容易に進行し其結果第二段黒鉛化に與るパーライトの量は減少し第二段黒鉛化完了時間は幾分短縮される。併し白鉄の焼入れ温度の影響は左程著しいものではない。

第四項 焼入れ劑の影響

此研究に於ては Table 8 に示す成分を有する試料を用ひた。

試料を前述の方法で 850°C から種々の焼入れ劑の内に急冷した後 920°C 及 740°C に保持して其黒鉛化状態を測定した。其結果は Fig. 15 a 及 b 並に Table 10 に示してある。a 圖は第一段黒鉛化、b 圖は第二段黒鉛化の状態を表はす。

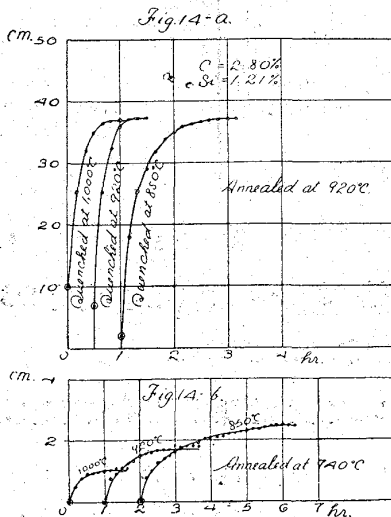
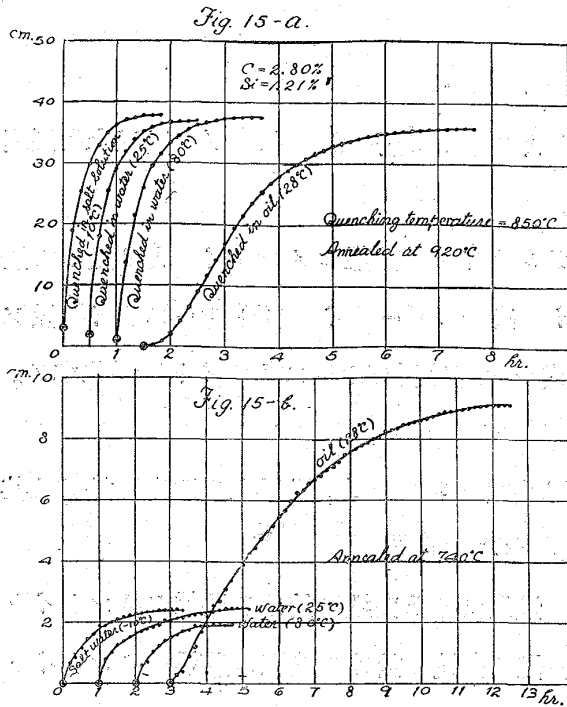


Table 10

Specimen No.	Quenching medium	Temp. of quenching medium (°C)	Time required to complete the graphitization		Remarks
			1 <sup>st</sup> in stage (hr.-min.)	2 <sup>nd</sup> in stage (hr.-min.)	
P. b. 1	食 鹽 水	-10	1 30	3 0	凡て850°C より焼入れす
" 2	水	25	1 40	3 30	
" 3	水	80	2 30	2 30	
" 4	菜 種 油	28	6 0	9 0	



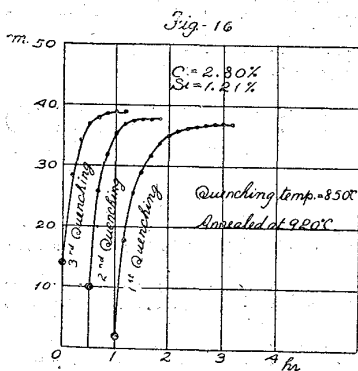
此實驗の結果によると試料の冷却速度が大なる程第一段黒鉛化は容易に進行し又大體に於て第二段黒鉛化完了時間は短縮される。併し焼入れ劑の水の溫度が0°Cであつても 100°Cであつてもこれが焼入れ試料の黒鉛化に及ぼす影響は餘り變らない事が知られる。

第五項 繰り返し焼入れの影響

此實驗に於ても又 Table 8 に示す成分を有する試料を用ひた。試料の焼入れを繰り返してこれが第一段黒鉛化進行の状態に及ぼす影響を調べた。焼入れ溫度は毎回 850°Cとし焼入れ劑としては 24°Cの水を用ひた。實驗の結果は Fig. 16 及 Table 11 に示す通りである。

Table 11

Specimen No.	No. of repetition quenching.	Time required to complete the graphitization in 1 <sup>st</sup> stage (hr.-min.)	Remarks
P. C.- 1	1	1 40	常に 24°Cの水
" 2	2	1 0	中に 850°Cより
" 3	3	0 50	焼入れす



此實驗によつて白鉄の焼入れを繰り返す時は第一段黒鉛化完了時間は幾分短縮されるのであるが其影響は餘り著しくない事が知られる。

第四節 新現象の理論的説明

著者は前研究(7)に於て白鉄が黒鉛化する際は次の2つの作用が同時に進行し得ると論じた。

- (1)  $Fe_3C \rightarrow 3Fe + C$
- (2) 含炭量大なる オーステナイト  $\rightarrow$  含炭量小なる オーステナイト + C

イト + C

而して(1)なる機構によつて起る黒鉛化を分解黒鉛化と稱し(2)なる機構によつて起る黒鉛化を沈澱黒鉛化と名付けた。

偕て白鉄は焼入れによつて何故に著しく不安定となるか其真相を究めんには先づ白鉄の鑄造の儘のものゝ焼入れせるものとに就て其組織を比較研究すべきである。

兩種白鉄の組織は次の2點に於てのみ異なるものである。

(1)

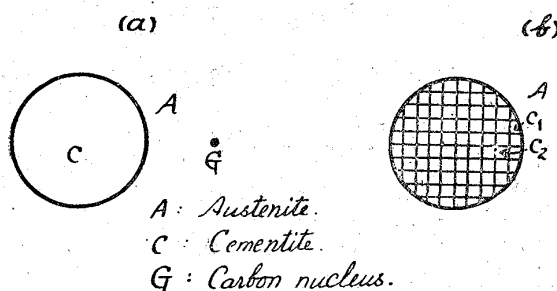
(i) 鑄造の儘の白鉄はパーライト及遊離セメンタイトよりなつて居るがこれを  $A_1$  點以上の温度に加熱する時はパーライトはオーステナイトに變化する。

(ii) 焼入れせる白鉄は最初はオーステナイト、マルテンサイト及遊離セメンタイトより成つて居るがこれを焼鈍するに當りオーステナイト及マルテンサイトは先づパーライト（トルースタイト及ソルバイトを含む）に變化し  $A_1$  點を越ゆるに及び其一部或は全部は再びオーステナイトに變化する。

(2)

(i) 鑄造の儘の白鉄に於ける遊離セメンタイトは普通塊状のもので  $A_1$  點以上の温度に於ては其周邊は Fig. 17 a 中 c に示す如く悉くオーステナイトに接觸して居る。

Fig. 17.



(ii) 焼入れせる白鉄に於ける遊離セメンタイトは鑄造の儘の白鉄に於ける塊状の遊離セメンタイトが焼入れの爲めに種々の方向に應力を受けて其位置に於て細に破壊され従つて Fig. 17 b 中  $e_2$  の如き自由表面によつて包まれたる多數の細いセメンタイトの集合より成つて居るものである。何となれば白鉄の鑄造の儘の組織はパーライト基質によつて包ま

れたる遊離セメンタイト或は遊離セメンタイトによつて包まれたるパーライトより成つて居り、此パーライトの部分は焼入れによつてオーステナイトよりマルテンサイトとなり非常に膨脹するものである。従つてこれと交錯せる極めて脆き化合物なるセメンタイトが焼入の際種々の方向に應力を受けて破壊されるのは疑ふ餘地がない。顯微鏡下に於て斯る破壊面を或程度迄認める事が出来る。

以上二方面から本現象の原因を究めて見ると本現象は(1)に述べたる事項によつては了解し難く(2)に述べたる事實によつて容易に説明する事が出来るのである。

今 Fig. 17 a を鑄造の儘の白鉄に於ける塊状セメンタイト、オーステナイト及炭素核の位置關係、Fig. 17 b を焼入れ白鉄に於ける破壊細分されたるセメンタイト、オーステナイト及炭素核の位置關係を表はすものとする。a 圖に於てセメンタイト c は周邊は凡てオーステナイトによつて包まれて容易にオーステナイトに擴散し得る位置にあるが、b 圖に於てはオーステナイトに直接接觸せるセメンタイト粒は  $e_1$  の如く此セメンタイト粒の群の周邊に位置せるものに限り、其内部に存在せる多數のセメンタイト粒  $e_2$  の如きは何れも自由表面を有して居るが故に單獨に分解し得る位置にある。従つて a 圖に示す如き位置に存在する遊離セメンタイトを含む白鉄に於ては専ら沈澱黒鉛化が進行する場合に於ても遊離セメンタイトが b 圖に示す如く破壊細分されて居ると直接黒鉛化が専ら進行し得るものである。而して自由表面を有するセメンタイトはオーステナイトにて包まれるセメンタイトに比

して分解し易く且つ焼入れ白鉄に於けるセメントイト粒の大きさが鑄造の儘の白鉄のそれに比して遙に微細なるが爲めに焼入れ試料の黒鉛化は鑄造の儘の試料に比して遙に低温度に始まり且つ前者の第一段黒鉛化は後者のそれに比して遙に短時間に完結せられる。

本現象を斯くの如く説明する事によつて本實驗によつて得られた種々の現象を凡て容易に了解する事が出来る。

即ち焼入れ温度が高くなる程焼入れに與るオーステナイトの量が多くなり、これがセメントイトに對する破壊作用が大となる爲めに焼入れ温度が高くなる程白鉄の黒鉛化開始温度が低下せられ第一段黒化完了時間が短縮せられる。

焼入れを繰り返す毎に白鉄の黒鉛化開始温度が低下せられ、又第一段黒鉛化完了時間が短縮されるは焼入れを繰り返す毎に遊離セメントイトの破壊が進む爲めである。但しセメントイトは初回の焼入れによつて殆んど極度に近い迄に破壊されて居るが故にそれ以上焼入れを繰り返すもセメントイトの破壊は餘り進行しなく従つて2回以上焼入れを繰り返すも初回の焼入れ程影響せぬのである。

焼入れの際の試料の冷却速度は丁度オーステナイトの全部をマルテンサイトに止め得る程度が一番有效であつて第二節第三項及第三節第四項に於ける實驗の結果も此原則に従つたものに外ならない。

尙實地應用上重要な現象は焼入れ試料に於ては第一段黒鉛化を完了せし際オーステナイトの平均炭素量は一般に鑄造の儘の試料に於けるそれよりも遙に少く又之には炭素の影響が著しいことであるが、これは前者に於ては主として分解黒鉛化が進行し後者に於ては主として沈澱黒鉛化が進行したる結果に他ならない。分解黒鉛化によりて生じたるオーステナイトの平均含炭量は試料の炭素含有量の影響を受け其含有量大なる程オーステナイトの平均含炭量が小となる傾向あるは言を須たない。白鉄の焼入れによつて第二段黒鉛化完了時間が著しく短縮されるのは單に焼入れによつて第一段黒鉛化が主として分解黒鉛化の機構によつて完了せられたる結果これに與つたセメントイトの量が著しく多量になり逆にオーステナイトの平均含炭量少となり従つて第二段黒鉛化に與るパーライト、セメントイトの量が著しく少量となりたる結果による事は前に述べた通りである。鑄造の儘の試料に於ても沈澱黒鉛化と同時に分解黒鉛化が勿論進行するものである。而して分解黒鉛化に與る遊離セメントイトの量は試料の含炭量大なる程多く従つて鑄造の儘の試料に於ても又含炭量大なる程第一段黒鉛化完了の際に於けるオーステナイトの平均含炭量少となり従つて第二段黒鉛化に與るパーライト、セメントイトの量従つて第二段黒鉛化完了時間は試料の含炭量が小となる程小となるものと考へられるのである。

## 第二章 新現象の實地應用に關する實驗

### 第一節 燒戻炭素の擴散に關する二三の實驗

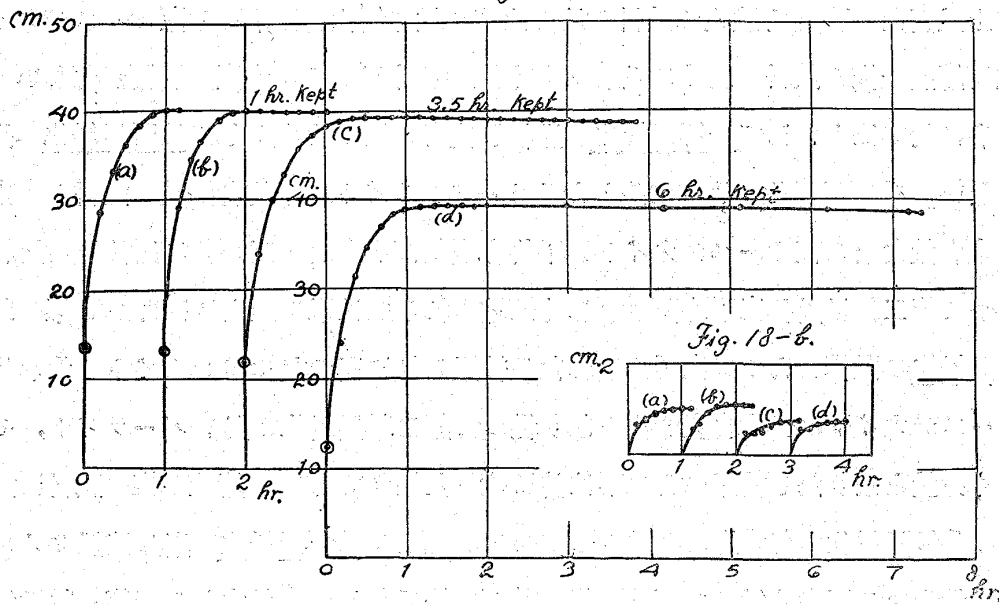
菊田博士の實驗の結果によれば鑄造の儘の白鉄を完全に黒鉛化せしめたるものを再加熱して  $A_1$  點以上の温度に保持する時は燒戻炭素は割合急速に  $\gamma$ -鐵内に擴散し試料は膨脹する。而して斯る試料を再び完全に黒鉛化せしむるには  $A_1$  點以下の温度にて再び長時間保持せねばならない。前述の如く燒



入れ試料が第一段黒鉛化を完了せる時は其際生じたるオーステナイトの平均炭素量が鑄造の儘の試料に於けるよりも遙に小で従つて前者の第二段黒鉛化に與るパーライト、セメントタイトの量が後者に於けるそれよりも小で其結果前者に於ける第二段黒鉛化完了時間は後者のそれよりも短いと云ふ特徴がある。これを實地工業に利用するには理想としては焼鈍に際し焼入れせる白鉄鑄物の第一段黒鉛化完了時間だけ保持するや否や鑄物の温度を下げて焼戻炭素が折角炭素に貧しくなつたオーステナイトの内に再び擴散する機會をなからしむ可きであるが實際問題としては斯る操業方法は甚だ困難である。茲に於て焼入れ試料に就て其第一段黒鉛化完了時間だけ焼鈍せる後更に加熱を續行せる場合に含炭量の小なるオーステナイト内に焼戻炭素が如何様に擴散して行くか又斯る擴散によつて第二段黒鉛化が如何に影響を受くるかは本現象を實地に應用するに當つて重要な問題である。

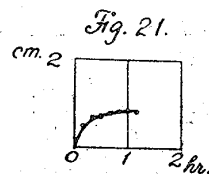
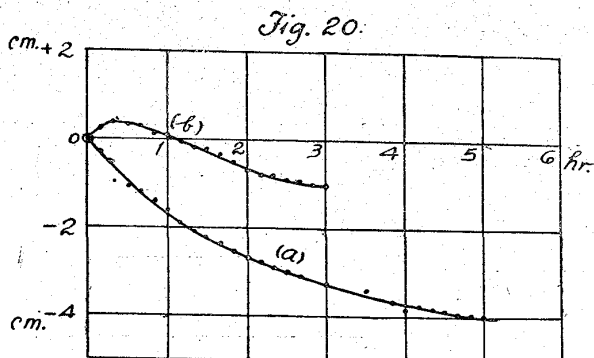
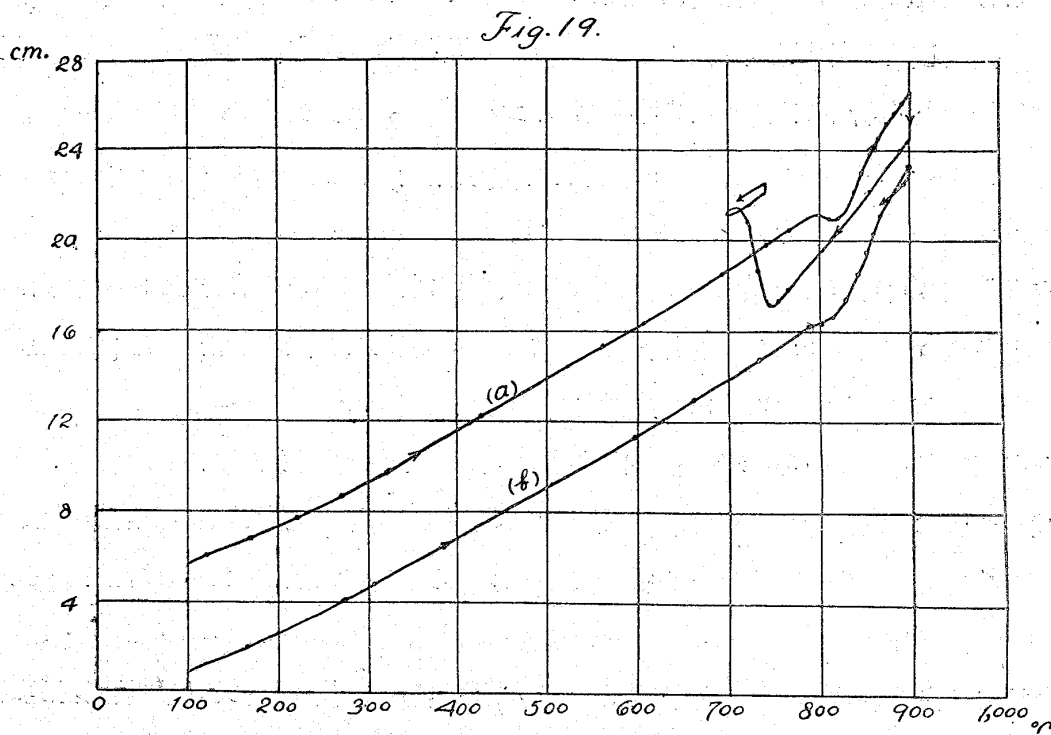
この實驗方法としては先づ Table 6 に示す試料 L. C. 3 を 4 個採りて前章に述べたる方法によりて凡て 850°C より 23°C の水中に焼入れし a は 900°C に保持して其第一段黒鉛化が完了せられるや否や直ちに冷却し b, c 及 d は夫々同温度にて第一段黒鉛化が完了せられたる後尙 1 時間、3.5 時間、6 時間同温度に保持して後冷却し凡て一旦 Ar<sub>1</sub> 變化を完了せしめ尙 700°C 迄冷却せしめたる

Fig. 18-a.



後再び 740°C 迄温度を上げ同温度に於て各試料の第二段黒鉛化の状態を調べた實驗の結果は Fig. 18 a, b に示す如くである。a 圖は第一段黒鉛化及加熱續行の曲線で b 圖は第二段黒鉛化曲線である。同種試料の鑄造せる儘の白鉄の第二段黒鉛化曲線は已に Fig. 7 b (S-27,) に示してある。

此實驗の結果によると試料を其第一段黒鉛化完了時間以上加熱を續行するも少しも膨脹せずして却つて少しづつ収縮する事を知る。而して此程度の加熱の續行は第二段黒鉛化完了時間に何等影響を與へないのである。この事實は即ち加熱續行によつて焼戻炭素は殆んどオーステナイト内に擴散しなかつた事を示すものである。



次に完全に黒鉛化する C 試料を採り之を熱膨脹測定器によつて再加熱して 900°C に達せしめ同温度に 5 時間保持して後冷却し第二段黒鉛化の状態を調査したるに Fig. 19-a, Fig. 20 a, 及 Fig. 21 に示す如き曲線を得た。Fig. 19-a は試料の加熱及冷却曲線である。加熱に際し  $A_1$  以上の温度に達すると試料が異状に膨脹するのは焼戻炭素が  $\gamma$ -鐵内へ擴散するによるのであらう。Fig. 20-a は 900°C に保持した間に於ける試料の伸びの變化を示す。此實驗の結果によると試料は菊田博士の實驗の結果に反して次第に收縮する。Fig. 21 は 740°C に於ける第二段黒鉛化曲線を示す。即ち此試料は再加熱に際し極く微量の焼戻炭素が  $\gamma$ -鐵内に擴散した事を示す。尙 Fig. 19-b 曲線は第一章第二節第四項に於て述べたる實驗に於て完全黒鉛化せしめたる試料 M. b. 3 を再加熱せる際に於ける加熱曲線を示し Fig. 20-b 曲線は同試料を 900°C に 3 時間保持の間に於ける伸びの變化を示す。此場合に於ては最初の間は少しく膨脹するが其後は矢張り收縮する。此の收縮は何に基因するやは將來の研究に待つものである。

之を要するに焼入れせる白鉄の第一段黒鉛化によりて生じたる焼戻炭素はオーステナイト或は $\gamma$ -鐵内に極めて擴散し難く實地操業に於て焼入れせる白鉄鑄物を焼鈍するに當り其焼鈍時間長きに失するも第二段黒鉛化完了時間には關係なき事を確めたのである。

## 第二節 白鉄鑄物の焼入れ實驗

一般に高炭素鋼の焼入れは焼割れの現象を伴ひ易く實地家を苦しむるは普く知らるる所である。特に白鉄の如き多量の遊離セメントイトを含みたるものは其焼入れに際し焼割れを生じ易きは想像に難くない。此事實が本現象を實地に應用するに當りて起る一大難關である。

本現象を實地に應用する場合を考ふるに白鉄鑄物は之を成る可く急速に所要の溫度迄加熱し可成短時間内に焼入れ操業を終了せしむるを最も得策とする。然るに加熱速度が早いと鑄物の各部に於ける溫度の均一を缺き焼割れを生じ易くなる。従つて此方面から鑄物の加熱速度は或る制限を受けることとなる。

本實驗に於ては白鉄鑄物を種々の加熱速度を以つて加熱したる後焼入れして加熱速度が焼割れの現象に及ぼす影響を調査し之によつて白鉄鑄物は如何なる程度迄焼入れによつて焼割れを生じ易きかを定性的に知るを主眼としたのである。

試料:一實驗試料として某可鍛鑄物會社から寄贈せられた Table 12 に示す3種の白鉄鑄物を用いた。Photo. 26 は此等試験の外観を示す。

Table 12

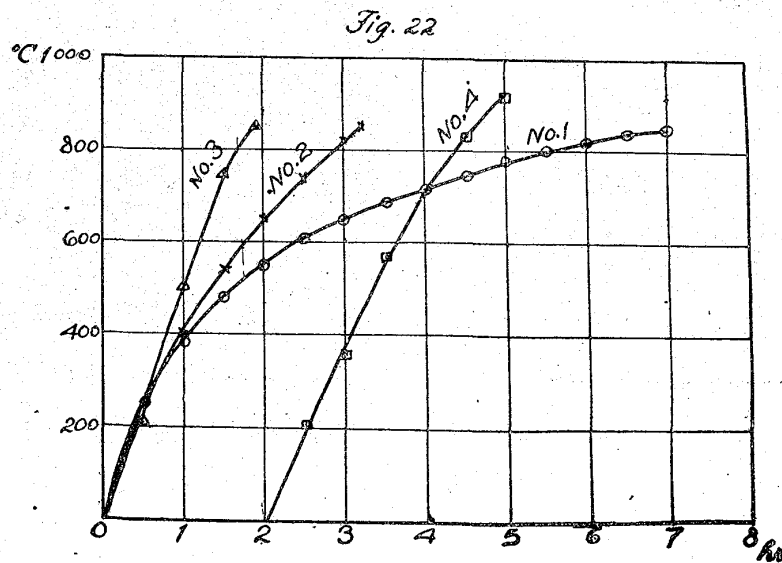
Sample No	Kind of Sample	Composition (%)		Remarks
		C	Si	
A-I	Photo. 26-A	2.87	1.06	清淨面を有す 鑄造の儘にて表面に多少の砂及酸化物附着す
A-II	do.	do.	do.	
B	photo. 26-B	2.74	1.03	清淨面を有す
C	Photo. 26-C	do.	do.	清淨面を有す

實驗の方法:一マツフルの容量 190 mm × 130 mm × 350 mm を有するホスキム爐の中央に 焙燒皿を置き其上に試料を乗せて加熱した。其溫度は熱電對の接合點を丁度試料の上に置いて測定した。焼入れの時は試料を出来るだけ速く爐外に取出して焼入れ剤の中に投入した。試料の溫度が焼入れ剤と同一の溫度になるのを待つて取り出し直ちに試料の表面を乾いた木綿片を以て拭き其表面に附着せる焼入れ剤を拭ひ取る。其間表面に注意して居て拭ひ取つた後から焼入れ剤が滲み出るとそれを焼割れに基因するものとしたのである。

實驗の結果:一實驗の結果を總括すると Table 13 に示す如くである。此表に於て

Table 13

Sample No.	Method of heat treatment	Quenching Medium	Nos. of Specimen	
			No crack was produced	Crack was produced
A-II C	A	水 (25°C)	3 1	
A-II	B	do.	4	
A-II	C	do.	4	
A-II	D	do.	4	
A-II C	E	do.	4 1	
A-II B C	F	do.	6 6 3	4
A-I	G	菜種油 (24°C)	6	
A-I	A	水 (25°C)		5



- A は試料を Fig.22 加熱曲線 No.1 に沿ひて加熱し 850°C に達するや否や焼入れした。
- B は試料を Fig.22 加熱曲線 No.2 に沿ひて加熱し 850°C に達するや否や焼入れした。
- C は試料を Fig.22 加熱曲線 No.3 に沿ひて加熱し 850°C に達するや否や焼入れした。
- D は試料を Fig.22 加熱曲線 No.4 に沿ひて加熱し 920°C に達するや否や焼入れした。
- E は試料を 850°C に加熱せる 爐内に入れ其温度が 850°C に達してから 10 分間同温度に保持して後焼入れした。
- F は試料を 920°C に加熱せる 爐内に入れ其温度が 920°C に達してから 10 分間同温度に保持して後焼入れした。

G は試料を 850°C に加熱し直ちに焼入れした。但し其加熱速度は明でないが加熱曲線 No.1 と No.2 との中間に屬す。

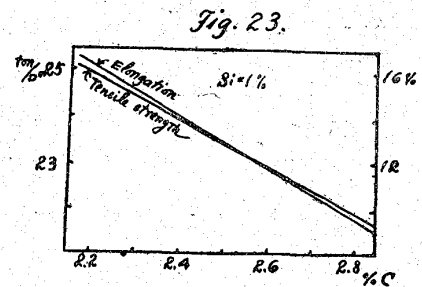
以上の結果によると Photo. 26 B,C の如き簡単な形の鑄物は其加熱速度が極めて大であつたに不拘焼割れを伴はないが鐵管継手の焼入れは甚だ困難であつた。併し此實驗によつて或簡単な形の白鉄鑄物なれば常溫の水中に焼割れを生ぜしめないで焼入れする事が出来る事を確め得たのである。

### 第三節 新現象の應用によりて製造せる黒心可鍛鑄鐵の抗張力及延伸率に就て

黒心可鍛鑄鐵の最も重要な機械的性質は抗張力と同時に延伸率である。米國の材料試験協會が 1919 年に定めた規格は抗張力 45,000 lb/□" 及延伸率 7.5% (標點距離 2 吋) で本邦海軍省及鐵道省の規格は Table 14 に示す如くであると聞いて居る。尙 Fig.23 は戸畑鑄物會社に於て日々の作業中

Table 14

	Tensile strength ton/□"	Elongation %(2")
海軍省	18	8
鐵道省	20	5



に焼鈍せる珪素約 1% を含有する試験棒から得たる炭素量、抗張力及延伸率の關係 (8) を示すものである。此試験に用ひた試験棒は著者が本研究に用ひた試験棒の寸法と全く同じである。

試験棒：——これは某黒心可鍛鑄物工場に於て白鉄鑄物鑄造用の白鉄湯で造りたるもので其寸法は Fig. 24 に示し其成分は Table 15 に示してある。

Fig. 24.

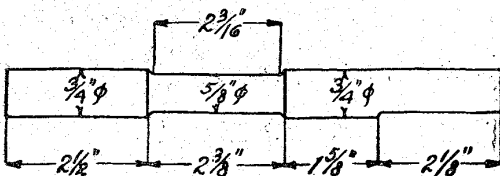


Table 15

C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
2.36	1.02	0.28	0.136	0.046

焼入れ方法：——試験棒を焼入れ實驗に用ひたるマツフル爐に入れ Fig.22 加熱曲線 No.2 なる速度を以つて加熱し試料の溫度が 850°C に達して後同溫度にて 5 分間保持したる後 22°C の水中に焼入れした。

焼鈍方法：——試験棒の焼鈍の爲めに Fig.25 に示す如き装置を用ひた。即ち熱電對保護管を中心として 3 本の試験棒を圖に示す如く縛りこれを鑄鐵管内に入れ溫度を成る可く均一ならしむる目的を

Fig. 25.

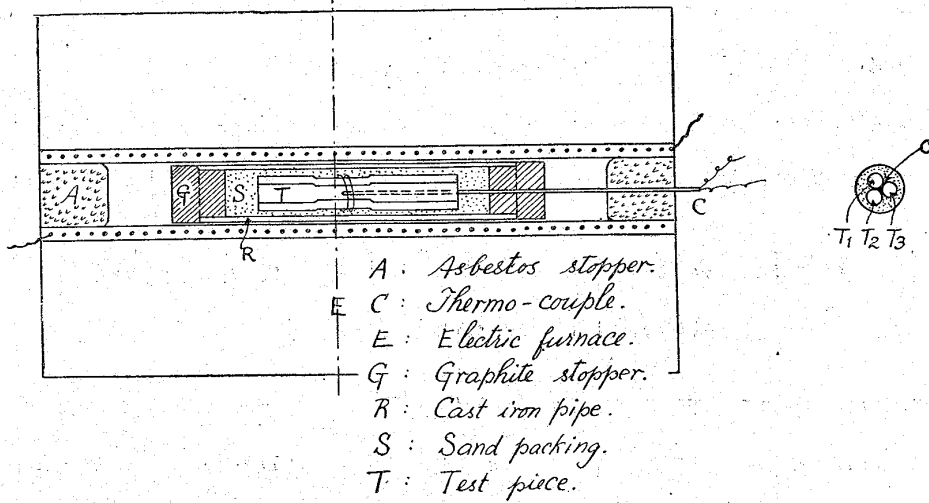
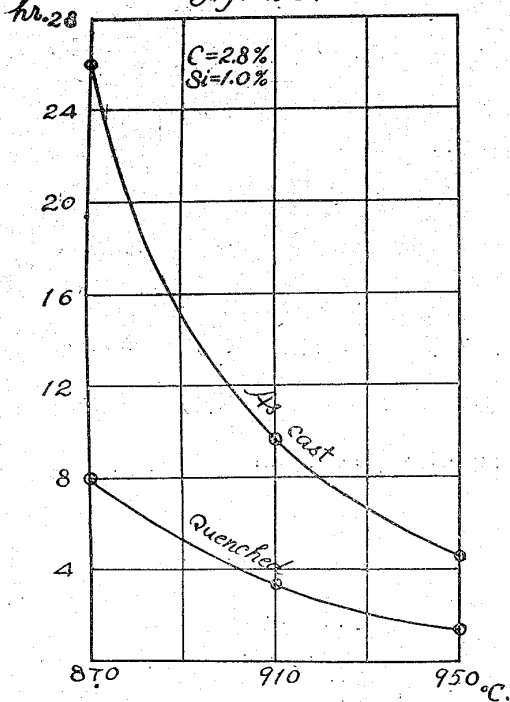


Fig. 26.



以つて其間を砂を以つて充填したる 後鑄鐵管の兩端を 黒鉛製栓を以つて 閉塞しこれを 管狀電氣爐内に入れて 燒鈍した。此試驗棒の第一段黒鉛化完了時間は Fig.9 C 及 Fig.12 C から容易に知られる。Fig.26 はこれを示す ものである。又この試驗棒の第二段黒鉛化完了時間は 前章に述べた 實驗の結果から 判斷すると 燒入れ白鉄に 於て約 6 時間、鑄造の儘の白鉄にあつては 20 時間以上 である。此實驗に於ては 安全の爲め 第一段黒鉛化時間 を理論的完了時間の 2 倍以上にとり 第二段黒鉛化時間 は試驗棒の  $Ar_1$  點附近に於ける 冷却速度を考慮に入れ 燒入れ試驗棒に對して 6.5 乃至 7 時間採つた。

燒鈍溫度を 變へて 4 回試驗を行つたのであるが其毎 回の試驗に於ける 試驗棒の溫度の昇降は略同じくした。 次に其一例を擧げるに止める。

Experiment No.2

室溫 ← 7 時間 → 900°C ← (10 時間保持) → 900°C ← 3 時間 → 700°C ← 30 分 → 740°C ← (7.5 時間保持) → 740°C ← 3 時間 → 450°C

各試驗に於ける 燒鈍溫度及燒鈍時間は Table 16 に示してある。

實驗の結果：— 實驗の結果は Table 16 に示す如くである。實驗番號 1 に於ては 比較の爲めに同 時に 1 本の鑄造の儘の試驗棒を用ひ、實驗番號 4 は鑄造の儘の試驗棒の燒鈍を 目的としたのである。 燒鈍後各試料の組織を觀るに實驗番號 1 に於ける 鑄造の儘の試料を除く外皆 Photo. 28 或は Photo. 30

Table 16

Experiment No.	Condition of test piece before annealing	Method of heat treatment				Mechanical property		State of fracture
		Annealing temp.		Annealing time		Tensile strength in ton/□"	Elongation (5cm) in %	
		1 <sup>st</sup> stage (°C)	2 <sup>nd</sup> stage (°C)	1 <sup>st</sup> stage hr.-min.	2 <sup>nd</sup> stage hr.-min.			
1	Quenched do. As cast	960	740	3 30	6 30	21.5 failed (*) 24.6	5.8  3.3	black ditto white
2	Quenched do. do.	900	740	10 0	7 30	22.4 21.7 (*) failed (*)	5.7 > 5	black do. do.
3	Quenched do. do.	870	740	15 0	6 30	25.9 23.1 failed (*)	5.8 5.2	black do. do.
4	As cast do. Quenched	910	740	19 0	11 0	20.7 20.4 22.9	7.5 7.5 5.7	black do. do.

(\*) 標點外切斷

に示す如くに完全に黒鉛化する事が知られた。而して焼入れ試験棒にあつては何れも Photo. 28 に示す如く細い長味を帯びた焼戻炭素が出来て居るが鑄造の儘の試料にあつては前章に於ける實驗の結果と同様に何れも大なる丸味を帯びた焼戻炭素が出来て居る (Photo. 30)。Photo. 27 は實驗番號 1 に於て鑄造の儘の試験棒と焼入れ試験棒との焼鈍後に於ける破面を示す。A は前者の破面で白色を呈しこれを顯微鏡で見ると Photo. 29 に示す如く尙多量の遊離セメントが残留して居るのが知れる。又 B は後者の破面で黒色を呈して居る。これは Photo. 28 に示す如く完全に黒鉛化して居るものである。

以上の結果を綜合すると白鉄を焼入れして後焼戻して得たる黒心可鍛鑄物は鑄造の儘の鑄物を焼鈍したるものに比べて抗張力に於て遙に優るが延伸率に於て少しく劣る事が知られる。

此實驗に用ひた試料を同一成分の白鉄を實地工場にて焼鈍すれば Fig. 23 から知られる如く其抗張力は約 21.5 ton/□" で延伸率は約 9% となり、これを本實驗の結果に比しても矢張り上と同様の關係が認められるのである。此原因は恐らく焼鈍の際に生ずる焼戻炭素の大きさ及形狀に因るもので試験棒の含炭量がより小なれば其延伸率も大に改善されるは想像に難くない。

### 總 括

- (1) 白鉄の黒鉛化現象を鑄造の儘の試料と焼入れ試料に就て比較研究したる結果後者が前者に比して遙に容易に黒鉛化する事實を發見した。

- (2) 白銑の焼入れ温度が高い程其黒鉛化は容易となる。
- (3) 白銑を水中に焼入れする際水の温度は其黒鉛化に著しい關係がない。
- (4) 白銑を繰返し焼入れして其黒鉛化に及ぼす影響を研究せるに最初の焼入れは著しく白銑を不安定とするが2回以上の焼入れは餘り影響しない事を知つた。
- (5) 鑄造の儘の白銑の炭素、珪素含有量、第一段黒鉛化温度及同完了時間との關係を明にした。これによつて一般白銑鑄物の炭素量と珪素量とが分れば所要の焼鈍温度に於ける必要なる第一段黒鉛化完了時間を容易に見出す事が出来る。
- (6) 實地に必要なる成分の鑄造の儘の白銑に就き第二段黒鉛化完了時間を測定した。
- (7) 焼入れせる白銑の炭素珪素量、第一段黒鉛化温度と同完了時間との關係を明にした。
- (8) 實地に必要なる成分の白銑を焼入れして其第二段黒鉛化完了時間を測定した。
- (9) 鑄造の儘の白銑及之を焼入れせるものに於て黒鉛化温度が高くなる程著しく黒鉛化が容易となる。
- (10) 鑄造の儘の白銑及之を焼入れせるものに於て珪素量大なる程第一段黒鉛化並に第二段黒鉛化完了時間は著しく短縮せられる。
- (11) 炭素は菊田博士の研究の結果と同じく鑄造の儘の白銑の第一段黒鉛化完了時間には餘り影響を及ぼさない。焼入れ白銑に就ても之と同様の關係が見出された。尙焼入れ白銑にあつては炭素量が第二段黒鉛化完了時間に著しく關係がある。これは菊田博士が鑄造の儘の白銑に就て見出された關係と一致する。
- (12) 同一成分の白銑にして鑄造せる儘の物と焼入れせるものとに就て其黒鉛化状態を比較するに、後者の第一段黒鉛化完了時間は前者のそれの約 $\frac{1}{3.5}$ に當る。而して此關係に白銑の成分は餘り影響しない。後者の第二段黒鉛化完了時間も前者のそれに比して遙に短い。但しこれは白銑の成分特に炭素量の影響を受くる事極めて著しい。
- (13) 上述の種々の現象から新現象を説明した。即ち白銑が焼入れによつて黒鉛化し易くなるのは白銑内の遊離セメントイトが焼入によつて破壊細分されるに基因するものである。鑄造の儘の白銑に於ては遊離セメントイトはオーステナイトにて包まれ主として沈澱黒鉛化が起る場合でもこれが破壊細分されると自由表面を有する多數のセメントイト粒を生じ主に分離黒鉛化が進行するものである。而して自由表面を有するセメントイト粒の黒鉛化がオーステナイトに包まれたるセメントイトに比して黒鉛化し易しき事實とセメントイトの大きさの非常なる差違によつて焼入れ白銑は鑄造の儘の白銑に比して遙に低温度にて黒鉛化を始め又前者の第一段黒鉛化完了時間は後者のそれに比して遙に短縮されるものである。
- (14) 鑄造の儘の白銑に於ては主として沈澱黒鉛化が進行し焼入れ白銑に於ては主として分解黒鉛化が進行するものであるが故に、後者の第一段黒鉛化に與る遊離セメントイトの量は前者のそれに比して遙に多い。換言すれば焼入れ白銑が第一段黒鉛化を完了せる際に於けるオーステナイトの平均含炭量は鑄造の儘の白銑の場合よりも遙に小である。其結果として焼入れ白銑の第二段黒鉛化に與るセメントイトの量は鑄造の儘の白銑の場合に比して遙に小となる。これが焼入れ白銑の第二段黒鉛化完了時間が鑄造の儘の白銑のそれに比して遙に短縮される理由である。
- (15) 焼入れ白銑の第一段黒鉛化が完了して後尙加熱を續けるも第二段黒鉛化完了時間に著しい影響がない。これは第一段黒鉛化が完了せる際に生じたるオーステナイトの内に焼戻炭素が擴散し難い爲めである。
- (16) 3種の白銑鑄物を種々の加熱速度にて加熱して後焼入れして焼割れの有無を調べ簡單なる形状の鑄物なればこれを安全に水中に焼入れする事が出来る事實を確めた。
- (17) 本現象を應用して製造せる黒心可鍛鑄鐵は抗張力に於ては遙に從來の方法によりて製造したるものに優るが延伸率に於て幾分劣る。これは主に鑄鐵内に生じたる焼戻炭素の大きさ形状並に分布状態に因るものであると考へられる。

終りに臨み本研究を遂行するに當り實驗に用ひたる試料の一部を提供せられて多大の御援助を與へられたる戸畑鑄物會社木津川製作所常務取締役村山威士氏並に戸畑鑄物會社技師菊田博士に對し深謝し又前研究及本研究を通じて終始正確なる分析の勞を執られたる幸田軍一氏に多謝す。



## 文 献

- (1) 金屬の研究: 第3卷, 第4號, 185.  
 (2) 東北帝國大學理科報告: 第15卷, 第2號, 115.  
 (3) 水曜會誌: 第4卷,  
     第5號, 703; 第6號, 929; 第7號, 1147;  
     第8號, 1195; 第9號, 1355.  
 (4) 京都帝國大學工學部紀要: 第4卷, 第4號.  
 (5) J. Iron Steel Inst.: (1919) No. 2, 417.  
 (6) 金屬の研究: 第3卷, 第4號, 206.  
 (7) 鐵と鋼: 第11年 12號, 891.  
     京都帝國大學工學部紀要: 第4卷, 第4號, 248.  
 (8) 金屬の研究: 第3卷, 第4號, 215.

## 含銅鋼の表面疵に就て

On the Surface Defect of the Copper-bearing Steel.

大 石 源 治

本誌に掲載した炭素鋼塊に関する研究論文<sup>(1)</sup>の一節に含銅鋼(C=0.46%, Cu=0.48%及びC=0.89%, Cu=0.52%の2種)は銅を含ま無い同程度の炭素を含む鋼に比し鑄造後樹晶が著しく残り之れを950°C, 1,100°C, 1,200°C等の温度で焼鈍するに950°Cでは30時間焼鈍しても多少樹晶の残る試料があるが1,200°Cでは1~3時間で夫れが消えると云ふ事を實驗し、尙含銅鋼を熱間加工する際に表面に疵の出るのは此樹晶が一因を成すのではあるまいかと云ふ事を想像したので本實驗では之れを確める爲めに含銅鋼の樹晶の消えた試料に就て熱間牽引試験を行つて見た。然るに其結果は豫想に反して樹晶の無い含銅鋼でも1,060°Cで熱間牽引試験をすれば疵の出る事を確めた。今實驗の結果を次ぎに記載する。  
<sup>(1)</sup> 試料は前に本誌に掲載したものと同一成分で次ぎの様なものを用ゐた。

	C %	Cu %	Cr %	Si %	Mn %
A	0.56	—	—	0.52	0.50
B	0.46	0.48	—	0.61	0.43
C	0.42	—	0.53	0.56	0.45

直径 50 mm の鋼塊を鍛造して直径 8 mm とし尙端切れを防ぐ爲めに加熱切斷す可き部分だけは更に削つて直径を細くし 6 mm にした。此試料を別に熱處理を施さ無いでニクロム又は白金電氣抵抗爐内に入れて 900°C 又は 1,060°C の孰れかで各 30 分間保持した後に牽引切斷した。

其結果に依れば銅を含ま無い試料 A 及び C は孰れも 900°C 並びに 1,060°C で切斷したものに疵が

(1) 本誌 XII, No. 8(大正十五年八月)