

鑄鐵に現はるゝ黒鉛の形狀に就て

(昭和3年11月日本鐵鋼協會第4回講演大會講演)

齋藤 豊三

目次

I 總論	(A) 全炭素と黒鉛
II 普通鑄鐵に現はるゝ黒鉛	(B) 硅素と黒鉛
III 供試原料	(C) 滿俺と黒鉛
IV 共晶點と黒鉛の形狀との關係	(D) ニツケルと黒鉛
(A) 鑄鐵の共晶點	VI 共晶狀黒鉛に就て
(B) 過冷却を起したる場合發達する黒鉛の形狀	VII 擬共晶狀黒鉛に就て
(C) 過冷却を起さざる場合の黒鉛の形狀	VIII 渦狀黒鉛を興ふる條件
(D) 結論	IX 結論
V 鑄鐵の成分と黒鉛との關係	X 本實驗に引用せし文献

I 總論

「強力なる鑄鐵」と言ふ問題は相當に古から研究され工夫されつゝあつた問題であつて日に増し優良なる鑄鐵が発見されつゝある、從來抗張力 14kg/mm^2 の規格で尙困難であつたのが現今では 23kg/mm^2 位のものも左程困難を感じずにも「キューボラ」で製造さるゝ様になつたのである、今若し單に強力に就いてのみ考ふるなれば鑄鐵に現れて來る黒鉛を取除けば良いのであるが斯くするときには鑄鐵の特長を失つて鑄鋼に近くなるのであるが故に鑄鐵としては何うしても黒鉛の現はれて來るのは止むを得ないのである。

然らば如何にすれば此の黒鉛を有する鑄鐵に強力を附與する事が出来るかと言ふに先づ第一に考へなければならぬ事は黒鉛の形狀である黒鉛の形狀の強力に及ぼす影響に就いては既に多くの學者に依つて研究されて居る、例へば石川博士、濱佳博士、⁽¹⁾E. Piwowarsky; ⁽²⁾F. Meyer; ⁽³⁾E. Sihüz; ⁽⁴⁾P. Bardenbeuer; ⁽⁵⁾F. Wüst, ⁽⁶⁾J. W. Bolton ⁽⁷⁾等の人々がある、而して何れも極く細かに渦狀をなして一様に分布して居る事が鑄鐵に強力を附與する一原因となると稱して居る。

第二には地即ち (Matrix) の問題である、鑄鐵の組織に於て地が全部 Pearlite であるか Ferrite が加はつて居るか又は Cementite の如きものが混つて來るかに依つて其の強力に變化を及ぼす事は勿論である普通鑄鐵としては地は全部 Pearlite である事が甚だ望ましいとの事である、即ち Pearlite Cast iron の研究が是である Pearlite Cast iron の研究に就いては ⁽¹⁰⁾K. Emmel; ⁽¹¹⁾K. Sippi; ⁽¹²⁾A. Marks, C. ⁽¹³⁾Tresberger 等の人々が發表して居る更に進んで地を Sorbitic にする事が Pearlitic より一層優秀と

なる理であるが是れは合金鑄鐵として取扱ふべきものである即ち=ツケルとか滿俺或は其の他の元素を加ふる必要がある尙其の他 Ferrite の性質も見逃し難いと思ふ即ち Ferrite は縱令 Free Ferrite としてではなくとも Pearlite Ferrite として鑄鐵には必ず含まれて來るものであるが此の Ferrite は炭素以外に他の成分を相當に固溶體として含み居るものであるが斯く固溶體として色々の成分を含んだ時には其の機械的性質にも亦變化を來すと思ふ。

強力なる鑄鐵と言ふ問題に就いては以上の各問題に就いて論議すべきであるが此處に於ては單に黒鉛の形狀に就いてのみ論議し他の問題に就いては他日に譲るとする。

II 普通鑄鐵に現はるゝ黒鉛

普通鑄鐵の中の黒鉛の形狀が機械的性質に如何なる影響があるやに就いては前述した様に既に多くの學者に依つて實驗されて居る而して何れも皆渦狀黒鉛が最も好ましいものである事に一致して居る。

然るに其の渦狀黒鉛は如何にして出来るか又吾等が造り得るかの問題に就いては意見が一致して居ない。例へば石川博士⁽¹⁾は硅素及全炭素の量の適當な時であるとし、濱住博士⁽²⁾は成分には幾分關係するが其れよりも冷却速度に一層大なる關係ありとし又 E. Piwowarsk 及 F. Meyer⁽³⁾は鑄鐵を過熱した時にも生ずるとし、E. Schüz⁽⁵⁾は此の渦狀黒鉛は共晶黒鉛であつて硅素の量の適當な時冷却速度が適當であれば生ずるとし又 F. Wüstü; H. Meitzner⁽⁶⁾は滿俺の多くある時に生ずるとし又 J.W. Botton⁽⁹⁾は此の渦狀黒鉛は一種の擬共晶黒鉛とも稱すべきもので化合炭素の分解に依つて成つたものであると稱して居る。

以上の如く此の渦狀黒鉛の成生に對しては色々に論議されて居るのである故に是等の點に就いて明かにして見ようと思ふ、一體普通鑄鐵に現はれて來る黒鉛の形狀は大別して次の 5 通となる。

- (1) 棒狀黒鉛 (Garschaum Graphit) (2) 扁狀黒鉛 (Graphite in Flaky or Large Curved Form)
 (3) 共晶狀黒鉛 (Graphite in Eutectic Form) (4) 節狀黒鉛 (Graphite in Nodular Form) (5)
 擬共晶狀黒鉛 (Graphite in Pseudoeutectic Form)

棒狀黒鉛とは彎曲することなく眞直に平たく發達して居る黒鉛である。

扁狀黒鉛とは彎曲はして居るが甚だ大型の黒鉛である。共晶狀黒鉛とは全炭素及硅素等多い場合に出来る黒鉛であつて甚だ細かく彎曲して居る其して不純物の多い下等鑄鐵の肉の中心部に現はれる黒鉛である。又節狀黒鉛とは共晶狀黒鉛を中心とし扁狀黒鉛が其の周圍に發達してゐる黒鉛である、更に又擬共晶狀黒鉛とは共晶狀黒鉛と全く同様の形をした黒鉛ではあるが全炭素の少き場合滿俺の相當に高き場合等に生ずる黒鉛で場合に依つては Free Cementite 或は未だ分解せぬ共晶セメントイトを含んで居る場合がある、而して是等の標準形狀の黒鉛が單獨に或は同時に現はれて來るものである Fig 1 乃至 Fig 5 が此の種のものを示す。

III 供試原料

此の研究に用ひた供試原料の成分は次の如くである。

第 1 表

番 號	名 稱	成 分	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Fe
(1)	瑞 典 木 炭 銑		4.11	0.73	0.23	0.018	0.009			
(2)	軟 鋼 板		0.24	0.25	0.30	0.03	0.03			
(3)	電 解 鐵(理研製)		0.013	0.000	0.000	0.000	0.0019			
(4)	電 氣 爐 銑 No. 1		3.89	0.840	0.181	0.023 ^x	0.005 ^x			
(5)	同 No. 2		3.72	0.698	0.197	0.026	〃			
(6)	同 No. 3		3.26	0.633	0.296	〃	〃			
(7)	同 No. 4		2.92	0.553	0.362	〃	0.006			
(8)	同 No. 5		2.38	0.361	0.461	〃	0.005			
(9)	釜石木炭再製銑		3.10	1.23	0.78	0.092	0.020			
(10)	本邦産三號銑		3.80	1.45	0.85	0.103	0.025			
(11)	金 屈 硅 素			99.41						
(12)	金 屬 滿 俺	Trace		0.202	98.95					0.699
(13)	電 解 ツケル レトルト	0.093					0.003		Rest	0.140
(14)	其 他	ash		1.6%						
(15)	其 他	1.501								

(燐及硫黄は著者の分析の結果は P=0.014% S=0.0014 であつた)

以上の内電気爐銑と稱するは瑞典木炭銑を原料とし6 吨エル一式鹽基性電気爐を以て製造せる自家製のもので一定の成分のものである爲特に製造したものである而して炭素の量のみ異なる5種の銑を製造する目的であつたのであるが少量の硅素、滿俺の相異を來たした、其れで實驗では是等の不純物に依つて起す心配のあつた誤差は電解鐵に必要な成分を加へて調査する事にした。

IV 共晶點と黒鉛の形狀との關係

純粹な鐵-炭素合金に於て一度融液中に溶け込んだ炭素が如何なる経路を通つて再び現れて來るかの問題であるが是は今尙議論のある處で熔融鐵中より直接分離するとの説と一度は炭化鐵として分離し後此の炭化鐵が分解して黒鉛を生ずるとの説とある、前者は安定及不安定平衡の状態圖を以て説明し後者は鐵セメントの狀態圖のみを以て説明して居る、而して是等の研究の歴史に就いては P. Bardenheuer が詳しく述べて居るから茲に再び繰返す事は止めるが要するに尙議論のある所である。

然しながら普通鑄鐵としては鐵、炭素以外に硅素、滿俺、燐、硫黄或は其の他の多くの不純物を固溶體とし或は化合物等にし又は遊離の状態に於て含有して居るのであるから黒鉛の現れも之等の不純物の影響を受けて異なつて來るだらう。

(A) 鑄鐵の共晶點 今種々の鑄鐵の冷却速度曲線を求むるなれば共晶點は約 1,150°C 附近より 1,100°C 附近迄色々に變化して而して一般に此の靜止點の高いものが黒鉛はよく發達して居る Ruer und Georens⁽¹⁵⁾ は此の過冷却を行なつた試料を其のまま溶解點附近を繰返し加熱せるに次第に靜止點の上

昇を見て居る是は鉄鐵が凝固の際始め不安定平衡であつたのが次第に安定平衡に移つて行くからであると論じてゐる。

然らば如何なる場合に此の過冷却の現象を起すだらうか鐵炭素二元素平衡の時に於ては普通の場合此の過冷却の現象を起すのであるが一般の鑄鐵の場合には必らずしも起すとは限らない、鉄鐵に鐵炭素以外の成分が含まれて居たり又融液中に此の融液には溶けざる固體液體等が存在する時には往々過冷却は妨げられる、例へば硝酸曹達は水に完全に溶解するが其の溶解度は温度と共に増して居る今或量の硝酸曹達を高温の水に溶解せしめ後是れを徐冷せしに 45.5°C にて硝酸曹達の結晶を發見した。

次に全く之と同様の濃度の溶液中に極く少量の木炭末を加へ充分に攪拌し後徐冷せるに此の時の結晶開始温度は 50.1°C になつた、即ち少量の木炭末を加へたのみにて約 4.6°C の結晶開始温度上昇を見たのである、又水に不溶性の油を加へたる場合も上と全く同様の結果を得た、之と同様の現象が鑄鐵の場合にも起り得ると思ふ。

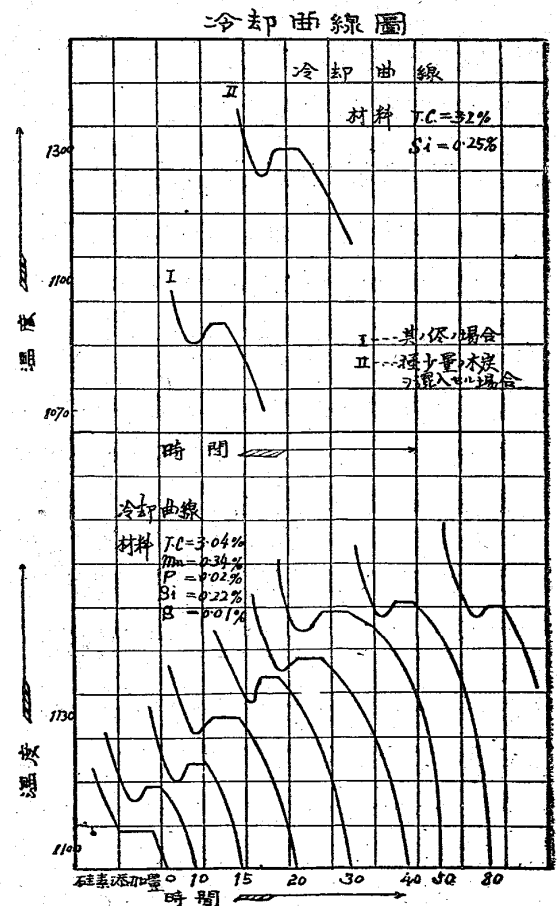
今 3.2% 炭素を含む鐵を熔解し約 1,200°C 附近にて極く少量の木炭末を加へ充分攪拌して徐冷却し木炭末を加へざる場合と其の冷却速度曲線を比較して見るに靜止點に於て約 40°C も過冷却は妨げられてゐる、此の原因は木炭末が幾分融液中に溶け込んだ爲にも依るならんも尙残留せる木炭末の該作用に依るものと考へらる。

今若し黒鉛の非常に發達してゐる鉄鐵を熔解する場合に於て其の遊離黒鉛は容易に融體中に溶け難く相當時間其まゝにある事は P. Bardenheuer⁽⁶⁾ も説く所であつて之又事實であると思ふ。斯の如き場合に於ては鑄鐵の過冷却は妨げられねばならぬ、次に過冷却に對しては第三成分即ち鐵—炭素以外の成分の影響も考へねばならぬ。例へば硅素の加つた場合に於ては過冷却の妨げられる事は一般に認められて居る事である。

次の曲線は 3.04% の炭素を含む鐵に硅素を加へた場合に於て硅素の増加に伴つて靜止點は上昇してゐることを示す。

(B) 過冷却を起した場合發達する黒鉛の形狀更に進んで過冷却を起した場合黒鉛は如何に發達するだらうかに就て考へて見よう。

鐵—炭素合金に於て共晶點は 1,145°C 或は 1,150°C と稱されてゐる、今此の温度以下で靜止點を求め得たとする此の過冷却の程度は 1,100°C 附近迄色々に変化して居るのであるが何れにするも鉄鐵が過



冷却をなした場合に於ては炭素は一度は共晶炭化鐵として現はれねばならぬ、而して此の炭化鐵の分解に依つて現はるゝ黒鉛は先づ母體の周圍に集り後或は凝集して大型のものとなるものと思はれる、今粘性等の關係で凝集出来なかつたとすれば此の黒鉛は其の母體の形狀大小に依つて其の形狀大小は左右されるものである、例へば Fig 6 は 1,140°C 附近より水銀焼入を行なつたものであるが明かに共晶炭化鐵の結晶に沿ふて黒鉛の發達し始むる事を示して居る、尙 Fig 5 に示せるは同一試料を徐冷却した場合である。

然るに此の炭化鐵の形狀大小は過冷却の程度に影響さるゝものである、例へば比較的高溫にて結晶を生じた場合には ⁽¹⁶⁾Tammann の説の如く縦令結晶核の数が最高に達したとするも此の時の結晶速度も亦大なれば其の結晶は大となるべく又過冷却をなして結晶せる場合に於ては結晶核は最高となり結晶速度は非常に減少するを以て結局結晶粒は甚だ小となるべきである、而して其の炭化鐵の分解に依つて生じた黒鉛は小さく現れて來るものである、次に一般に過冷却を起した場合に於ては粘性等の關係上黒鉛は凝集し難く又過冷却は全炭素の低き時、硅素の低き時、或は滿俺の多き時(後述する)等であつて此の場合には固溶體中よりの黒鉛の分離及炭化物の分離も甚だ起し難きを以て此の種の場合前述した共晶炭化鐵の分解せる黒鉛は發達する事少ないと思ふ即ち斯の如き場合には甚だ細い黒鉛を得るのである。

今 3.2% 炭素附近の試料を採り 1,400°C 附近にて熔解し一方は其まゝ他方は約 1,200°C 附近迄極少量の木炭末を加へ其の冷却速度曲線を見るに前者は 1,090°C 後者は 1,130°C にて靜止點を得て居る、此の兩者を靜止點附近より水銀中に焼入せるに何れも(固溶體+炭化鐵)組織にて唯木炭末を加へたるものは倍率大なる顯微鏡下にて檢するに木炭末の其まゝ止まるを見るのである、然るに是れを徐冷して其の組織を見るに木炭末を加へたるものは其の然らざるものより黒鉛は一層良く發達してゐる Fig 7. 及 8. に示すが即ち是れである。

次に炭素 3.1%、硅素 1.2%、滿俺 0.7% より成る釜石木炭再製鉄を採り之が冷却速度曲線を見るに甚だしく過冷却をなしてゐる、今之れを 1,050°C、950°C 及 750°C より水銀焼入を行ひ或は徐冷却して其の組織を見るに約 1,050°C 以上より焼入せるものは何れも(固溶體+レデブユライト)より成り其以下では甚だ細かい黒鉛が現れて居る Fig 9 乃至 11 が是れを示す、即ち凝固に於て非常に過冷却を行つた場合には黒鉛は發達し難く一見共晶狀黒鉛に類似せる形狀をなすものである是れを擬共晶狀黒鉛と稱した濱住博士及 ⁽²⁾Bolton ⁽⁹⁾等の唱ふる渦狀黒鉛は是れに屬するものと思ふ、之は冷却速度に依つて多少の大小はあるも其れのみには依るとは思はれぬ。

(C) 過冷却を起さざる場合の黒鉛の形狀 以上は融液より黒鉛の分離する場合に過冷却を起した場合を述べたのであるが若し過冷却を起さずに凝固した場合に就いて述べて見やう。

此の場合起ることは融液の尙存在に於て既に黒鉛の現はるゝ現象である、斯くして現はるゝ黒鉛に 2 通りある、1 は所謂 Garschau's Graphit と稱さるべきもので棒狀黒鉛である、他は極く細かに

共晶狀をなした黒鉛である（此の詳細は項を改めて述ぶる事にする）

今本邦産 3 號鉄を採り其の冷却速度曲線より凝固點を見るに約 1,150°C 附近を示してゐる、之れを 1,450°C 附近に熱し 1,300°C、1,150°C、1,130°C、1,000°C、800°C、及 700°C より水銀焼入を行ひ或は又徐冷して其の組織を見るに 1,300°C 附近より焼入せるものは尙融液の狀態を示して殆んど完全に白鉄の組織をなして居るが 1,150°C 焼入のものは固溶體の樹狀組織が相當に發達し次に共晶狀黒鉛が其の地を埋め尙此の共晶狀黒鉛の境界にはレデブユライトが現はれて居る、即ち焼入された其の溫度に於ては共晶狀黒鉛が既に發達し尙少量の融液の存在して居た事を示して居る、此の融液がレデブユライトとして現はれて來たものと思ふ、次に 1,130°C 以下の溫度より焼入せるものにはレデブユライトは發見されず、初晶固溶體及共晶固溶體はマルテンサイトに變化してゐる、又 700°C 焼入及徐冷の場合に於ては初晶固溶體は Pearlite になり然も此の固溶體の結晶の外周は Ferrite に變じ其の分離した黒鉛は其の周圍に集り環狀をなして居る、Fig 12 乃至 16 が之を示してゐる。

斯くして現はれた黒鉛を共晶狀黒鉛と稱したのである、次に考ふる事は棒狀黒鉛即ち所謂 Garschaum Graphit である、此の黒鉛は凝固點に達せざるときに於て既に現はるゝもので相當高き溫度にて生ずるものである其の爲め黒鉛は自由に良く發達し彎曲する事が少ない、例へば 4.3% 炭素の試料に硅素 2.5% を加へ徐冷して見るに Fig 17 に示すが如くに甚だ自由に發達した黒鉛を見るのである、此の黒鉛は凝固點以上にて生ずるを以て往々湯の表面に多く集まるを以て此の名がある。

(D) 結論 要するに鑄鐵中の黒鉛の成因に就いては二つの異なる經路がある即ち

(i) 融液の尙存在せる時に生ずるもの (ii) 融液全部が凝固せる後生ずるものとである、

而して融液の尙存在せる間に分離する黒鉛は普通の場合には一般に共晶狀をなして現はるゝが又場合に依つて棒狀黒鉛として現はれて來る又融液全部が凝固せる後に生ずる場合に於ては過冷却の程度に依つて、其の形狀大小を異にして居る、例へば過冷却の程度非常に小なる場合に於ては縱令共晶炭化物より分解せる黒鉛でも甚だしく大型のものとなる事がある又過冷却の程度非常に大なる場合に於ては發生せる黒鉛は其の形狀共晶狀をなしてゐる。

次に材料が均一性を欠く場合に於ては (i) 及び (ii) の場合が同じ材料中に同時に現はれて來る事がある、此の場合(i)及(ii)に依つて成つた黒鉛が明かに區別される場合と區別され難い場合とがある後者の場合に於ては先づ一次的に發生した黒鉛を中心として二次的に發生した黒鉛が發達して來て丁度節狀をなすものである之れを節狀黒鉛と稱したのである、Fig.18 は前者の場合で第一段として尙融液の存在せる間に一部分の黒鉛が共晶狀に發達し尙大部分は過冷却を起して其のまま炭化物となり後直ちに分解して黒鉛を生じたものである Fig 19 は一次的黒鉛が共晶狀に發達し次に二次的の黒鉛が一次的黒鉛を中心として發達したものである。

V. 鑄鐵の成分と黒鉛との關係

前項に於ては鑄鐵は共晶點の如何に依つて色々の形狀の黒鉛が現はるゝ事に就いて述べたのであるが是等の現象は鑄鐵の成分に大なる關係があるのであるから次に色々の成分が此の現象に對して如何なる働を有してゐるかに就いて述べよう。

(A) 全炭素と黒鉛 第三成分と黒鉛の發生の有様を考ふる前に先づ全炭素量と黒鉛との關係を調ぶる必要がある、此の問題は即ち鐵-炭素の平衡關係となるのであつて前述した様に學者間に尙議論のある問題であるから餘り深く這入る事を望まないが極少量の他の不純物が混入した場合に現はるゝ黒鉛の形狀に如何なる影響があるかに就き主として述べたい。

今理研製電解鐵を用ひ之にレトルトカーボンを加炭劑とし 80#. 黒鉛坩堝にマグネサイト及アルミナを以て裏塗したるものを用ひ 20 kg を熔解した、熔解後は是れを水中に急冷し後再び其の儘熔解した斯くする事數回にして 4.3% の全炭素を有するものを

第 2 表

全炭素%(計算量)	靜止點°C
4.3	1,143
3.8	1,140
3.3	1,125
2.8	1,120
2.3	1,100

造り得た、此の試料約 50 瓦熔解し之に電解鐵を加へ全炭素 3.8, 3.3, 2.8, 2.3% を有する相當純粹なる鐵-炭素合金をタンマン爐に依つて造つた此の場合各々の靜止點は第 2 表の如くである。

即ち全炭素の低下するに従つて過冷却の度は高まるものであ

る、今徐冷却後等々の黒鉛の發達の状態を見るに 3.3% 炭素以上にては何れも黒鉛は發達してゐるが其以下に於ては何れも白鉄であつて黒鉛は全く見受けられぬ又各試料を凝固點附近より焼入して見るに何れも全く (Austenite + Ledeburite) で黒鉛の存在を認め得ない、唯 4.3% C のものはタンマン管の周圍及保護管の周圍等に僅かに共晶狀黒鉛を認め得たが是れは不純物の影響であるだらう。

要するに全炭素量が相當に多くとも (4.3% 以下) 融液の存在に於て分離する棒狀及共晶狀黒鉛は認むる事が出来ない、次に全炭素低き場合に於て例へば T.C = 3.3% 附近にても極く徐冷する場合に於て黒鉛は認め得るか擬共晶狀は成してゐない。

然し全炭素の減少するに従つて黒鉛の形狀は幾分小さくなる、要するに純粹なる鐵-炭素合金に於ては炭素含有量 4.3% 以下に於て棒狀黒鉛、共晶狀黒鉛又は擬共晶狀黒鉛は認むる事は出来ない、Fig 2.0 2.1 2.2 2.3. 及 24 が全炭素各々 4.3%, 3.8%, 3.3%, 2.8% 及 2.3% を有する試料を徐冷却した場合を示す。

今上述せる純粹なる鐵-炭素合金に極く少量の不純物の存在せる場合如何に其の黒鉛は變化するか就いて簡単に述べれば第 3 表の如くであつて其の顯微鏡組織は Fig 25 乃至 108 に示す如くである、尙詳細は各項に分つて後述する。

第 3 表 少量の第三成分の黒鉛の形狀に及ぼす影響

第 3 成分	全炭素 4.2 % 第 3 成分 0.5 %	全炭素 4.3 % 第 3 成分 1.0 %	全炭素 4.3 % 硅素 2.5 % 第 3 成分 1.0 %	全炭素 2.8 % 第 3 成分 0.5 %	全炭素 2.8 % 第 3 成分 1.0 %	全炭素 2.8 % 硅素 2.5 % 第 3 成分 1.0 %
Si	扁 狀 黒 鉛 + 棒 狀 黒 鉛	棒 狀 黒 鉛 + 扁 狀 黒 鉛	多くの棒状黒鉛 + 扁状黒鉛	殆んど黒鉛現はれ ず	扁 狀 黒 鉛	扁 狀 黒 鉛
Bi	扁 狀 黒 鉛	棒 狀 黒 鉛 + 扁 狀 黒 鉛	多くの棒状黒鉛 + 扁状黒鉛	殆んど黒鉛現はれ ず	扁 狀 黒 鉛	扁 狀 黒 鉛
Sb	扁 狀 黒 鉛	棒 狀 黒 鉛 + 扁 狀 黒 鉛	多くの棒状黒鉛 + 扁状黒鉛	殆んど黒鉛現はれ ず	擬 共 晶 狀 黒 鉛	擬 共 晶 狀 黒 鉛
Zn	扁 狀 黒 鉛	扁 狀 黒 鉛	棒 狀 黒 鉛 + 扁 狀 黒 鉛	殆んど黒鉛現はれ ず	擬 共 晶 狀 黒 鉛	擬 共 晶 狀 黒 鉛
Ni	扁 狀 黒 鉛	扁 狀 黒 鉛	棒 狀 黒 鉛 + 扁 狀 黒 鉛	殆んど黒鉛現はれ ず	擬 共 晶 狀 黒 鉛	擬 共 晶 狀 黒 鉛
Cu	扁 狀 黒 鉛	扁 狀 黒 鉛	棒 狀 黒 鉛 + 扁 狀 黒 鉛	殆んど黒鉛現はれ ず	擬 共 晶 狀 黒 鉛	擬 共 晶 狀 黒 鉛
Pb	扁 狀 黒 鉛	扁 狀 黒 鉛	少しの棒状黒鉛 + 扁 狀 黒 鉛	殆んど黒鉛現はれ ず	擬 共 晶 狀 黒 鉛	扁 狀 黒 鉛
Mo	扁 狀 黒 鉛	扁 狀 黒 鉛	扁 狀 黒 鉛	殆んど黒鉛現はれ ず	擬 共 晶 狀 黒 鉛	扁 狀 黒 鉛
P	扁 狀 黒 鉛	扁 狀 黒 鉛	扁 狀 黒 鉛	殆んど黒鉛現はれ ず	扁 狀 黒 鉛	扁 狀 黒 鉛
Sn	小型の扁状黒鉛	小型の扁状黒鉛	扁 狀 黒 鉛	殆んど黒鉛現はれ ず	殆んど黒鉛現はれ ず	扁 狀 黒 鉛
Mn	甚だ小型の扁状黒鉛	甚だ小型の扁状黒鉛	扁 狀 黒 鉛	擬 共 晶 狀 黒 鉛	擬 共 晶 狀 黒 鉛 + 炭 化物	擬 共 晶 狀 黒 鉛
Va	甚だ小型の扁状黒鉛	甚だ小型の扁状黒鉛 + 炭化鐵	扁 狀 黒 鉛	殆んど黒鉛現はれ ず	殆んど黒鉛現はれ ず	扁 狀 黒 鉛
Cr	甚だ小型の扁状黒鉛 + 炭化鐵	甚だ小型の扁状黒鉛 + 炭化鐵	扁 狀 黒 鉛	殆んど黒鉛現はれ ず	殆んど黒鉛現はれ ず	扁 狀 黒 鉛
S	甚だ小型の扁状黒鉛 + 炭化鐵	殆んど黒鉛現はれ ず	小型の扁状黒鉛	擬 共 晶 狀 黒 鉛	殆んど黒鉛現はれ ず	擬 共 晶 狀 黒 鉛

以上は極て少量の不純物を含んだ場合に如何に黒鉛の發達に影響するか例であるが縦へ少量の不純物でも黒鉛の發達には非常に影響がある事だけは明瞭に知る事が出来る、茲に注意すべきは此の表に於ては磷、硫黄以外は金屬元素を用いたのであるが是等の元素 1 % 以下に於ては徐冷の場合に於て棒状黒鉛、扁状黒鉛及擬共晶状黒鉛の發達は認むる事が出来るが共晶状黒鉛の發生從つて節状黒鉛の發生をも認め得なかつた事である、即ち金屬元素に依つては共晶状黒鉛及節状黒鉛は發生し得ないものである。

次に以後主として實驗に供した、電氣爐銑 No. 1 より No. 5 迄の黒鉛の形狀及靜止點は第 4 表の如くである。

第 4 表

試料 番號	成 分					靜止點	黒鉛の形狀	
	全炭素	硅 素	滿 俺	磷	硫 黄		靜止點附近 より焼入	徐 冷 却
No. 1	3.89	0.840	0.181	0.023	0.005	1,145	共晶状黒鉛	節 狀 黒 鉛
No. 2	3.72	0.698	0.197	0.026	0.005	1,140	黒 鉛 無 し	扁 狀 黒 鉛
No. 3	3.26	0.633	0.296	0.026	0.005	1,130	同 上	擬 共 晶 狀 黒 鉛
No. 4	2.92	0.553	0.362	0.026	0.006	1,125	同 上	同 上
No. 5	2.37	0.361	0.461	0.026	0.005	1,110	同 上	黒 鉛 無 し

尙顯微鏡寫眞は Fig 109 より 118 に示す如くである。

(備考 以後の實驗方針として先づ No. 1 より No. 5 迄の試料を用ひ尙之れを電解鐵を以て吟味する事にする)

(B) 硅素と黒鉛 鑄鐵中の黒鉛の發達に及ぼす硅素の影響に就いては相當に古くから研究されてゐるが尙決定的のものはない、其の研究の主なるものは W. H. Hatfield; Wüst and Peterson, E. Adomson; E. Sihüz, Handson; T. Ishikawa; Honda and Murakami; H. Sawamura, 及 H. Nishimura 等である。

石川博士は鑄鐵中の黒鉛の状態は $T.C+Si=K$ とし此の K の値に關係がある、而して T.C=3.3%以下 Si=1.2~2.5% の時渦狀黒鉛を得ると稱し又濱住博士は全炭素 3.0% 附近硅素 0.64~0.7% 附近に於て渦狀黒鉛を得、硅素 2% 或は以上に於ては大型の扁狀或は大型の渦狀黒鉛を得ると稱し又 E. Sihüz は硅素が適當に多量にして然かも冷却速度が適當なる時に於てのみ渦狀黒鉛を(共晶黒鉛と稱してゐる)を得ると稱して居る、又一方 Handson 及西村博士等は鐵-炭素-硅素系の三元的平衡關係より理論的に硅素の黒鉛化に及ぼす影響を考案されてゐる。

第 5 表 硅 素

試料	1 %			1.5 %			2.0 %		
	靜止 點 °C	燒入	徐冷	靜止 點 °C	燒入	徐冷	靜止 點 °C	燒入	徐冷
No. 1	1,145	eut. gr. +Led.	eut. gr. +nod. gr. +larg. gr.	1,155	eut. gr. +Led.	eut. gr. +nod. gr. +large. gr.	1,155	eut. gr. +Led.	eut. gr. +nod. gr. +large. gr.
No. 2	1,145	eut. gr. +Led.	nod. gr. +larg. gr.	1,147	eut. gr. +Led.	nod. gr. +large. gr.	1,155	eut. gr. +Led.	nod. gr. +large. gr.
No. 3	1,145	Led.	curv. gr.	1,150	Led.	curv. graphite	1,152	Led.	curv. gr.
No. 4	1,140	Led.	fine gr.	1,145	Led.	fine gr.	1,145	Led.	fine. gr.
No. 5	—	Led.	pseu. eut. gr.	—	Led.	pseu. eut. gr.	—	Led.	pseu. eut. gr.

備考 硅素の量は計算上のものを示す。

著者は前述した試料を用ひ金屬硅素 1%より 3%迄計算上含有する様に加へ是れをタンマン爐中にて溶解し徐冷及共晶點より水銀燒入を行つた。其の結果は第 5 表の如くである。

茲に eut.gr. nod.gr. 或は pseu. eut.gr. と稱したのは共晶狀黒鉛、節狀黒鉛及擬共晶狀黒鉛の意味である、又 Led と稱したのは鐵-

2.5 %			3.0 %		
靜止 點 °C	燒入	徐冷	靜止 點 °C	燒入	徐冷
1,160	eut. gr. +Led.	eut. gr. +nod. gr.	1,160	eut. gr. +Led.	eut. gr. +nod. gr.
1,157	eut. gr. +Led.	eut. gr. +nod. gr. +large. gr.	1,160	eut. gr. +Led.	eut. gr. nod. gr. +large. gr.
1,157	eut. gr. +Led.	eut. gr. +cur. gr.	1,158	eut. gr. +Led.	eut. gr. +curv. gr.
1,150	Led.	med. gr.	1,155	Led.	med. gr.
—	Led.	pseu. eut. gr.	—	Led.	fine. gr.

炭素系の Ledeburite. に相當するものとの意味である、焼入或は徐冷せるものには此の外に鐵-炭素系に於ける Austenite, Martensite, Ferrite 或は Pearlite に相當するものを含んで居るのであるが其れは省略した。

第 5 表の内の一一部分の顯微鏡寫眞を Fig 119~142 に示した又肉眼的試験として巾 70 長さ 300 高さ 60mm の乾燥砂型鑄物を造り其の中央より切斷して見るに上の表と略同様の結果を示して居る、即ち No. 1 及 No. 2 にては何れも其の中心部に共晶狀黒鉛を現はし其の外周は甚だ粗粒である、又 No. 3 にては硅素 3 %にて僅かに共晶狀黒鉛の存在を認め得、No. 4 及 No. 5 に於ては著しく細粒にして全面略一様の破面を呈して居るが硅素の増加に従つて幾部分粗になつてゐる。

尙上の實驗で使用した材料は瑞典木炭鉄に軟鋼板を加へ電氣爐で製造したるを以て相當に不純物を含んで居ると思はれる故に補正として電解鐵に炭素を加へた純粹な試料に金屬硅素を加へ吟味する事にした、全炭素 4.8 %を含む電解鐵に硅素を加へたるに硅素 0.5%にて既に棒狀黒鉛を現はし硅素の増加に伴つて次第に其の量及大いさを増してゐるが此の場合に於ては共晶狀黒鉛を認むる事が出来なかつた、唯焼入の場合に僅かに之を認むる事が出来たのである。

次に全炭素の量を減少して見るに即ち約 3.2 % C 附近に於て硅素の量を色々に變化して見るに棒狀黒鉛は最早現はれず何れも二次的黒鉛即ち融液の全部凝固後現はるゝ黒鉛にして扁平狀のもののみであつて此の場合擬共晶狀黒鉛は認むる事が出来ない Fig 143 乃至 148 に示すものが其の例である。

要するに電氣爐鉄 No. 1 より No. 5 迄の試料に就いて見れば全炭素の多き場合に於ては硅素が割合に少くとも又全炭素の少き場合に於ては硅素が甚だ多き場合に於て共晶狀黒鉛の發生を見ることが出来た、然るに電解鐵に炭素及硅素を加へた場合に於ては多くの場合に於て棒狀黒鉛のみ現はれて來るのである、又電氣爐鉄 No. 4 及 No. 5 に於ては容易に擬共晶狀黒鉛を生じ得たが電解鐵の場合は炭素及硅素の如何なる量に於ても生じ得なかつた。

今西村博士の三元平衡圖を見るも又 Hurst 氏の實驗を見るも鐵-炭素、硅素系に於て鐵-炭素の共晶點に相當する變化は硅素の増加に伴つて（硅素の或量迄は）鐵側に近付きつゝ其の溫度は上昇してゐる、即ち最後に凝固する融液中に溶込み得る炭素の量は硅素の増加に伴つて減少するのである、又一方此の場合鐵-炭素系の初晶オーステナイトに相當する鐵-炭素-硅素の固溶體中の炭素の量は硅素の増加に伴つて減少してゐる、故に今縱令炭素の量共晶點以下の場合に於ても之れに硅素の加はつた場合に於ては共晶點以上の場合と同様の結果となり溫度の低下に従つて融液中より炭化物或は黒鉛を發生するに至る、此の場合に於て炭化物を分離するとするも此の炭化物は本多、村上兩教授の説に依れば幾分硅素を含むものなるべく硅素を含む炭化物は甚だ不安定なれば直ちに分解して黒鉛を發生するものなるべし。

今若し以上の如くして發生した黒鉛が自由に發達し得る状態にあるとすれば始め生じた黒鉛は其の結晶軸の方向に従つて延長して行くものである、然も附近に是れを妨ぐる物無き場合であるから針狀

に發達し所謂棒狀黑鉛を生ずるものである、Fig 149 は 4.3% C の電解鐵に 0.5% 硅素を加へ凝固直前焼入せるものにて星形に見ゆるものが此の種の黑鉛を示して居る、今是れが徐冷さるゝ場合に於ては此の星形の黑鉛結晶は更に發達して棒狀黑鉛をなすものである。

次に電氣爐鉄に容易に現はれし共晶狀黑鉛の發生に就いては項を改めて詳細に述べる積りであるが要するに電氣爐鉄の場合には發生し電解鐵の場合には硅素の添加のみに依つては發生し難いものである更に次に考ふべき事は硅素の増加に伴つて起る靜止點の上昇に依る黑鉛形狀の變化である。

今鐵—炭素—硅素の溶け合つてゐる融液が冷却するに際して一方に於ては鐵—炭素—硅素の固溶體を分離しつゝ溫度は低下して來る此の場合炭素及硅素の量相當にある場合に於ては固溶體を分離すると同時に一方炭化物或は黑鉛を分離するのであるが何れも鐵炭素の共晶點に相當する一變形の變化更に不變形の變化迄融液の溫度が降下して來るのである、此の際此の融液が不安定平衡にて凝固したとせば凝固直後に於ては〔初晶固溶體+共晶炭化物+共晶固溶體(+初晶黑鉛)〕なる組織をなす、然るに此の共晶炭化物は直ちに分解して〔固溶體+黑鉛〕となる、今若し融液の存在に於て發生する黑鉛が無いとすれば融液の凝固直後に於ては〔初晶固溶體+共晶炭化物+共晶固溶體〕である其の後に於ては 共晶炭化物→黑鉛+固溶體 なる變化を起す。

此の變化に於て生ずる黑鉛は前章にて述べたる如く過冷却の程度及共晶炭化物の安定度に依つて其の形狀は左右さるゝものである、而して此の黑鉛は純粹なる鐵—炭素—硅素合金に於ては擬共晶狀黑鉛とはなり得なかつたのである。又融液の存在に於て黑鉛を發生する場合には若し純粹な鐵—炭素—硅素、合金に於ては其の溫度に相當して炭化物或は黑鉛を發生し溫度の降下に從つて此の分解或は發生した黑鉛は次第に發達し大型の棒狀黑鉛を生じ融液は一變形の變化を受け更に不變形の變化を受け不安定平衡にて凝固するとすれば共晶炭化物を生ずるものであるが此の場合は殆んど過冷却の影響を受くることなきを以て共晶炭化物の分解せる黑鉛も甚だ大型の黑鉛即ち扁狀黑鉛として現はれて來るものである。

要するに鑄鐵に於て硅素の黑鉛の形狀に及ぼす影響は次の如くである。

- (i) 普通鑄鐵に於て擬共晶狀黑鉛を得るには全炭素及硅素の低き事が必要條件である。
- (ii) 全炭素多き場合に於ては僅かの硅素に依つても容易に棒狀黑鉛を發生し得。
- (iii) 硅素のみに依つては共晶狀黑鉛を得ること困難である。
- (iv) 他の或種の成分の存在する場合に於て硅素の増加は共晶狀黑鉛を生じ易からしむ。
- (v) 硅素のみに依つては擬共晶狀黑鉛は生ぜず。

(C) 滿俺と黑鉛 滿俺の黑鉛の發生及形狀に及ぼす影響に關する文献は尙充分でない、又鐵—炭素—滿俺の平衡關係に就いての研究も餘りない様である、次に鑄鐵の物理的性質に及ぼす滿俺の影響に就いては ⁽²⁵⁾ Coe; ⁽²⁶⁾ West; ⁽²⁷⁾ Donaldson; 濱住等の人々がある、何れも滿俺の増加に依つて A_1 點の低下を來し Pearlitic は Sorbitic; Martensitic 等になる爲であると稱してゐる、唯 F. Wüst and Meit

zner は満俺は初晶固溶體の量を増し Ledeburite の量は減じ黒鉛は細かに現はるゝものと稱してゐる、又濱住博士も満俺に依り黒鉛の形状は甚だ改良され 0.5%以上の満俺を加ふる場合に於て渦狀黒鉛を得ると述べてゐる。

一體鐵炭素系中に満俺を加ふる時は一部は固溶體中に溶け込み他の一部は炭化満俺となり炭化鐵と固溶體とを作るのであるが $3Mn+C \rightarrow Mn_3C$ なる變化は Exothermic の變化であつて $3Fe+C \rightarrow Fe_3C$ の場合の如く Endothermic の變化でない爲め前者は安定であつて後者は不安定であると Guertler は述べてゐるのであつて炭化満俺は炭化鐵に比して安定であつて分解して黒鉛を發生し難いのである。然るに Coe の實驗⁽²⁵⁾に依れば含硅素鑄鐵に 0.5%附近の満俺を加へた場合は其の然らざる場合に比して却つて鑄鐵を軟化せしむる事。若し硅素が 1%以下なる場合にはかゝる現象は現はさない事を發表して居る然るに濱住博士の實驗⁽²⁾を見るにかゝる現象は全く認められず満俺の増加に伴つて硬度の増加を示してゐる。

第 6 表 満 俺 (Mn)

試料	0.5%			1.0%			1.5%		
	靜止 °C	燒入	徐冷	靜止 °C	燒入	徐冷	靜止 °C	燒入	徐冷
No. 1	1,152	eut. gr. +Led.	eut. gr. +Larg. gr.	1,150	eut. gr. +Led.	eut. gr. +larg. gr.	1,141	eut. gr. +Led.	eut. gr. +med.
No. 2	1,150	eut. gr. +Led.	eut. gr. +med. gr.	1,140	eut. gr. +Led.	eut. gr. +small. gr.	1,130	eut. gr. +Led.	fine. gr.
No. 3	1,140	Led.	fine. gr.	1,140	Led.	fine. gr.	1,135	Led.	pseud. eut. gr.
No. 4	1,135	Led.	pseud. eut. gr.	1,125	Led.	pseud. eut. gr.	1,110	Led.	pseud. eut. gr.
No. 5				1,110	Led.	斑點狀ノ微 量ノ黒鉛 +Carb.	1,100	Led.	Carbide

備考 「満俺」の量は計算上のものを示す。

2.0%			2.5%			3.0%		
靜止 °C	燒入	徐冷	靜止 °C	燒入	徐冷	靜止 °C	燒入	徐冷
1,140	eut. gr. +Led.	eut. gr. +med. gr.	1,140	eut. gr. +Led.	eut. gr. +small. gr.	1,140	eut. gr. +Led.	eut. gr. +small. gr.
1,135	Led.	fine. gr.	1,140	Led.	fine. gr.	1,140	Led.	Carbide
1,135	Led.	pseud. eut. gr.	1,130	Led.	pseud. eut. gr.	1,120	Led.	Carbide
1,120	Led.	pseud. eut. gr. +Led.	1,115	Led.	斑點狀の微 量の黒鉛 +fracarb	1,120	Led.	Carbide
1,130	Led.	Carbide	1,130	Led.	Carbide	1,120	Led.	Carbide

以上は鑄鐵に及ぼす滿俺の影響に關する歴史の概略である、次に著者は前述せる電氣爐鉄 No. 1 より No. 5 迄の試料をタンマン爐にて熔解し之れに金屬滿俺 0.5 %より 0.5 %毎に 3 % 迄添加し黒鉛の發生状態及其の形狀を調査した其の結果は第 6 表の如くである。

全炭素の多き場合に於て滿俺の増加は靜止點の僅かの降下を示してゐる West の實驗に於ては高炭素合金に於て少量の滿俺は靜止點の降下を來すと稱してゐるが此の場合も同様の結果を示してゐる、然るに全炭素低き場合に於ては滿俺の増加に依つて少しく靜止點の上昇を示す、黒鉛形狀の變化に對しては上表の一部を Fig 150~165 に示した、又肉眼的觀察としては硅素の場合と同様なる形狀の試験片を切斷して行なつた其の結果は上表と略同様である、即ち No. 2 に於ては滿俺 3 %にて白鉄となり 2.5% に於ては僅かに白斑を見る事が出来る、又 No. 3 に於ては滿俺 1.5% に於て既に白斑現はれ滿俺の増加と共に増し 3 %に於ては完全なる白鉄となつた、又 No. 4 に於ては滿俺 0.5% に於て既に白斑を認め 2.5 %に於ては白鉄となつた、又 No. 5 に於ては 0.5 %滿俺に於て既に白鉄であつた。

次に電解鐵に炭素 4.2 %附近を含有せしものに滿俺を次第に増加して加へたるに徐冷の場合其の現はる、黒鉛の形狀は次第に細かになり遂に白鉄となるのである、次に電解鐵に 3.3 %附近の炭素を含有せしものは Fig 22 に示せる如く擬共晶狀黒鉛は現はれてゐないが之れに滿俺 0.5 %を加ふる時は Fig 88 に示せる如く擬共晶狀黒鉛を得るのである。

要するに鐵-炭素合金に滿俺の添加は現はる、黒鉛の形狀をして甚だしく細かにするのである、然らば如何なる理由に依つて滿俺は黒鉛の形狀を細かにするかの問題であるが之れは Wüst 等の説の如く滿俺は初晶固溶體の量を増し然も炭化滿俺は炭化鐵と固溶體を作り之れが分解を妨ぐる事等より考ふれば容易に證明のつく事と思はれる、尙擬共晶狀黒鉛の問題に就いては項を改めて述べる。

要するに滿俺の黒鉛の形狀に及ぼす影響は次の如くである。

- (1) 全炭素及硅素の多き場合に於て Mn 1% 以上を加ふる時は棒狀黒鉛の發生を妨げる。
- (2) 滿俺の増加は黒鉛の發生を困難とし凝固後分解する二次的黒鉛の形狀を細かにし擬共晶狀黒鉛を現はす。

(D) ツケルと黒鉛 鑄鐵の黒鉛に及ぼすツケルの影響に就いての文献は殆んど無い O. Bauer & E. Piwowarsky が 1920 年 9 月及 10 月に Ni の増加に伴ふ黒鉛の量の變化及凝固點の變化に就いて實驗して居る其の結果に依れば第 7 表の如くである。

Ni の量	全炭素に對する 黒鉛 100 分率	Ni の量	凝固點 °C
0 %	73.4	0 %	1,157
0.87	74.1	1	1,157
1.25	77.1	2	1,162
1.95	84.0	3	1,166

て實驗して居る其の結果に依れば第 7 表の如くである。

試料は瑞典木炭鉄 (3.90% C. 0.048 % P. 0.18% Mn, 0.69% Si) を使用し之に Ni を加へたのである。

而して Ni が 1.5% 以上になる時は強力には好結果を

示さないが之れは Ni が黒鉛を多く發生する爲めである

と稱してゐる。又 E. Piwowarsky & K. Ebbefeld は 1923 年に之れと同様の結果を發表してゐる

而して彼等は全炭素及硅素の量の異なる3種の鉄鐵に就いて實驗し其の物理的性質及黒鉛の量の變化を測定し次の如き結論を得て居る。

黒鉛の量は Ni の増加に伴つて少しづつ増加するが全炭素及硅素の量に依つて其の割合は異なる、全炭素を低下する場合に於ては Ni に依る黒鉛増加の割合は減少する。

次て P. D. Merica⁽³⁴⁾ は Ni の黒鉛化に及ぼす影響に就いて試験し Bauer & Piwowarsky と略同様の結果を得て居る。

彼は黒鉛の發生に對して Ni 1%加ふる事は硅素 1/4~1%を増加すると同様の結果を現はし且つ Ni は炭化物を作らずに融液中に溶け込むと稱して居る。

著者は前記電氣爐鉄 No. 1 より No. 5 迄の試料を用ひ是れに電解ニツケル 0.5%より 0.5%毎に 3%迄加へたる時の黒鉛の形状に就いて試験した其の結果は次表の如くである。

第 8 表 ニ ツ ケ ル

試料	0.5%			1.0%			1.5%		
	靜止 點 °C	燒入	徐冷	靜止 點 °C	燒入	徐冷	靜止 點 °C	燒入	徐冷
No. 1	1,146	eut. gr. +Led.	eut. gr. +larg. gr.	1,154	eut. gr. +Led.	eut. gr. +larg. gr.	1,160	eut. gr. +Led.	eut. gr. +larg. gr.
No. 2	1,140	eut. gr. +Led.	eut. gr. +med. gr.	1,134	eut. gr. +Led.	eut. gr. +med. gr.	1,150	eut. gr. +Led.	eut. gr. +med. gr.
No. 3	1,129	Led.	med. gr.	1,130	Led.	med. gr.	1,130	Led.	med. gr.
No. 4	1,121	Led.	pseud. eut. gr.	1,126	Led.	pseud. eut. gr.	1,129	Led.	pseud. eut. gr. Led.
No. 5	—	Led.	Led.	—	Led.	Led.	—	Led.	+pseud. e. t. gr.

備考 「ニツケル」の量は計算上のものを示す。

2.0%			2.5%			3.0%		
靜止 點 °C	燒入	徐冷	靜止 點 °C	燒入	徐冷	靜止 點 °C	燒入	徐冷
1,160	eut. gr. +Led.	eut. gr. +larg. gr.	1,160	eut. gr. +Led.	eut. gr. +larg. gr.	1,160	eut. gr. +Led.	eut. gr. +larg. gr.
1,155	eut. gr. +Led.	eut. gr. +med. gr.	1,150	eut. gr. +Led.	med. gr.	1,146	eut. gr. +Led.	fine. +med. gr.
1,134	Led.	med. gr.	1,133	Led.	med. gr.	1,133	Led.	med.
?	Led.	pseud. eut. gr. Led.	1,128	Led.	pseud. eut. gr. pseud.	1,123	Led.	pseud. eut. gr.
—	Led.	+pseud. eut. gr.	—	Led.	eut. gr. +Led.	—	Led.	pseud. eut. gr.

上表に於て先づ凝固點に就いて考ふるなれば全炭素の多き場合即ち No. 2 の試料迄は Ni の増加に伴つて凝固點は次第に上昇してゐるが全炭素の少き場合に於ては上昇の割合左程大ならず。

次に黒鉛の形状なるが No. 1 及 No. 2 にては共晶状黒鉛を含み凝固後發生せる黒鉛は何れも彎曲せる黒鉛であつて硅素の場合の如く其の形状大ならず No. 3 の試料に於ては共晶状黒鉛の存在する事なく焼入のものは何れも二元素の場合の [Ledeburite + Austenite] に相當すべきものにして徐冷の場合には可なり小型の彎曲黒鉛を見るのである又 No. 4 にては徐冷にて所謂擬共晶状黒鉛を現はし No. 5 に於ては Ni 1.5 % に於て僅かに擬共晶状黒鉛現はれ Ni の量の増加に従つて次第に其の量を増す Fig. 166 乃至 179 に示すものは其の代表的のものである、要するに Ni 3 % 迄鑄鐵に加ふる場合に Bauer 等の説の如く凝固點は次第に上昇するが然し全炭素の量少き場合に於ては其の影響左程大ならず又黒鉛發生量は Ni の量と共に次第に増加するが硅素の場合の如く棒状黒鉛を生ずる事は無い、尙破面の肉眼的觀察試験は前表の場合と大差ない。

次に電解鐵を以て以上の試験を吟味する事にした。4.3 % 炭素を含有せしめし電解鐵を用ひ是れにニツケル 0.5 % 及 1.0 % を加へたるに其の結果黒鉛の形状は僅かに小型となつたのみで大なる變化も認め得ない。

次に是れに硅素 2.5 % を加へたるに之亦ニツケルに依つては何等の變化を認め得ず焼入のものにあつては [棒状黒鉛 + 共晶状黒鉛] であつて徐冷の場合には [棒状黒鉛 + 扁状黒鉛] であつた。Fig. 180 及 181 が之れを示す。

次に炭素 3.5 % 附近のものにあつては Ni 0.5 及 1.0 % を加へ徐冷し黒鉛の形状を見るに Fig. 182 に見るが如き扁状黒鉛は擬共晶状黒鉛に變化してゐる。又是れに硅素 2.5 % 加へたる場合に於ても同様に擬共晶状黒鉛の發生を見た。

即ち Fig. 183 が之れを示す。

要するにニツケルの黒鉛の形状に及ぼす影響は

- (i) 炭素及硅素の量の異なる時は棒状黒鉛の發生には關係なく従つて共晶状黒鉛の發生にも無關係である。
- (ii) 二次的黒鉛即ち融液全體の凝固後發生する黒鉛の形状には相當に影響ありて之等は場合に於ては其の黒鉛の形状を細かにし遂に擬共晶状黒鉛を生じ易からしむ。

VI 共晶状黒鉛に就て

此處に共晶状黒鉛と稱するは前述せる如く融液の尙存する間に現はるゝものにして其の形状共晶状をなせるものを意味する。J. W. Guertler⁽²⁹⁾ は次の成分の時共晶状黒鉛を生ずと論じてゐる。

全炭素 7.34% 硅素 1.68% 滿 俺 0.75% 磷 0.022% 硫 黃 0.039%

又 E. Sihüz は炭素及硅素の多き場合に於て生ずるとし次の成分に就いて實驗してゐる。

全炭素 3.60% 硅素 3.31% 滿 俺 0.88% 磷 0.089% 硫 黃 0.104%

即ち二者何れも過共晶成分或は硅素を多く混入して過共晶成分と同様の結果になつた場合に就いて

共晶狀黒鉛の發生する事を確めてゐるのである普通に吾等は炭素及硅素の非常に多い高爐鉄を破斷する時往々認め得るものである。

然るに J. E. Hurst は彼の著書 (Metallurgy of Cast Iron p. 43~46) に於て E. Sihüz の實驗を反駁して全炭素 3.4 %、硅素 0.37%、滿俺 0.30 %、磷 0.0 %、硫黃 0.065 % の場合に於ても共晶狀黒鉛を得るが故に Sihüz の説の如くに必ずしも高炭素、高硅素を必要とせぬ、又此の如くして現はれたる黒鉛は化合炭素の分解でなくてはならぬと論じてゐる、(然し著者の考へでは Hurst 氏の場合の黒鉛は後述する擬共晶黒鉛と稱したのであつて E. Sihüz 氏の場合と發生の根本に於て異なつたものであると考へてゐる。)

然し著者は Guertler 或は Sihüz の説の如く炭素及硅素のみ多き場合に常に共晶狀黒鉛が發生し得るとは考へない、其の故は第3表にも明かなる如く全炭素及硅素を相當に多量に加へたる場合に於ても或は又之に他の金屬元素を加へたる場合に於ても徐冷の場合に於ては共晶狀黒鉛の發生は認め難いのである、然らば如何にせば此の共晶狀黒鉛は發生し得るのであるだらうか。

今全炭素 4.3 %、硅素 2.5 % を有する電解鐵は前述せる如く多くの棒狀黒鉛を有してゐるが之れを熔解し 1,400°C 附近にて種々の熔媒劑を少量加へたるに其の結果は次の如くである。

第 9 表

熔媒劑の種類	現はれし黒鉛の形狀
食鹽	棒狀黒鉛+扁狀黒鉛
硝子粉	"
石灰石	"
螢石	"
珊瑚砂	"
金屬ナトリウム	"
硝酸曹達	完全なる共晶狀黒鉛
硝酸加里	"
弗化曹達	"

尙其の狀態の一例は Fig 184 乃至 188 に示す如くである。此の結果より見れば硝酸曹達或は弗化曹達を熔媒劑とせる場合に於て共晶狀黒鉛は發生し得るのである。

次に熔媒劑の代りに窒素瓦斯、水素瓦斯を通じつゝ熔解せるに此の場合に於ても部分的に共晶狀黒鉛の發生を認め得た Fig 189 が其の一例である。

次に亞共晶成分を有する鑄鐵に上と同様に熔媒劑或は瓦斯の作用を試験せるに此の場合に於ては何れも共晶狀黒鉛の發生を見る事が出来ない、Fig 190 が其の一例である。

要するに共晶狀黒鉛の發生は過共晶狀成分を有する鑄鐵に硝酸曹達或は弗化曹達等を熔媒劑とするか又は窒素、水素等の瓦斯を含ましむる場合に於ては冷却速度の如何にかゝらず生じ得るものである。

次に過共晶成分の鑄鐵例へば Fig 25~26 に示す如き電解鐵に炭素 4.3 %、硅素 0.5 % 及 2.5 % を含有せしめしものを其の共晶點附近より水銀焼入を行ひたるに Fig 191 及 192 に示す如く一部分に棒狀黒鉛又は共晶狀黒鉛を認め得るのである、又亞共晶成分の鑄鐵の場合に於ては前述せる如く何れも白鉄として現はれて来る、故に共晶狀黒鉛は過共晶成分の鑄鐵を急冷した場合に於ても生じ得る。

要するに共晶狀黒鉛の發生に對しては次の3つの條件が必要である。

- (1) 鑄鐵の成分が過共晶成分なる事
- (2) 鑄鐵中に溶け込める瓦斯の存在する事

(3) 過共晶成分を有する鑄鐵を急冷する場合

尙此の機構に關しては今實驗中であるが大體瓦斯に依る過冷却の影響と考ふる事が出来る、丁度シルシンに於けるモディフエーションの機構と同様であると思ふ。

VII 擬共晶狀黒鉛に就て

擬共晶狀黒鉛とは前に述べたるが如く融液全部が凝固後炭化物の分解して生ずる黒鉛にして其の形狀甚だ細かく一見共晶狀をなせる黒鉛である、而して共晶狀黒鉛の場合多くは地(Matrix)は Ferrite であるが此の場合は Pearlite である事が普通である。

此の Pseudo-eutectic-graphite なる名は J. W. Bolton (Foundry 1927) に依つて稱せられたるもので此は次の如き定義をなしてゐる。

Pseudo-eutectic graphite-Finely distributed graphite Probably a decomposition product of Ledeburite

而して氏は如何にして此の種の黒鉛が発生するやに就いては何等言及されず又實驗も見ないのである。

著者は前述せる如き種々の實驗の結果此の擬共晶狀黒鉛の發生に對しては次の如き條件を必要とする事を知つた。

- (i) 全炭素の低き事 (ii) 或種の第三成分の存在を必要とする (iii) 一般の場合としては其の凝固に對して相當過冷却を存するものなる事

等である。

然らば全炭素幾%以下の時に生ずるやと言ふに之れは第三成分と相互的關係を有するものであるが尠くとも亞共晶成分に於てのみと云ふ事が出来る。

即ち例へば電解鐵に炭素を添加せる場合單に其の量を變化したのみにては擬共晶狀黒鉛の發達は徐冷の場合に於て認むる事が出来ない、之に第三成分の存在を必要とする、然るに第三成分も或種の限られたものでなければならぬのである、例へば硅素、ビスマス、燐、バナジウム、クロム等の添加に依つては擬共晶狀黒鉛は生じ得なかつたが滿俺、ニッケル、銅、亞鉛、アンチモン等の添加に依つては全炭素の低き場合に容易に是れを生ずる事が出来たのである。

Fig 22 は電解鐵に 3.3 %の炭素を加へたるものであるが明らかに擬共晶狀黒鉛は現はれてゐない然るに是れに滿俺 0.5 %を加ふる場合に於ては Fig 88 に示せる如く甚だ細かに共晶狀に變化するものである、又 Fig 193 は Fig 29 に示す 3.3 %C 2.0 %Si を含有せしめし電解鐵に滿俺 0.5 %を添加せし場合にして此の場合に於ても同様に擬共晶狀黒鉛を認め得るのである、滿俺の代りに銅、ニッケル等を加へた場合も亦全く同様である、今此の場合に生ずる黒鉛は一つの化合炭素の分解せるもの一つは固溶體中より其の溶解度の變化に依つて生ずるものの二者相合したものでなければならぬ。

此の場合其の發生の原因に關しては既に濱住博士が研究發表されたる所であつて著者も亦同氏の説

に贅成するものであるが然し濱住博士は主として冷却速度を主因とされてゐるが、著者は非常に徐冷した場合に於ても此の種の黒鉛を得る事より寧ろ第三成分及不純物等に主なる原因があると考へたい第三成分の影響としては Austenite 中の炭素の溶解度を増し、 A_1 點を降下せしむる如き成分なれば擬共晶狀黒鉛を生じ易く又不純物の少きものは過冷却を起し易く従つて前述せる如く Ledeburite の結晶を小にし之れより先づ分解する黒鉛をして小さく現はすものであると思ふ。

例へば硅素、ピスマス等を純粹なる鐵-炭素合金中に添加し假令急冷した場合に於ても決して擬共晶狀黒鉛は現はれ得なかつたのである。

VIII 渦狀黒鉛を與ふる條件

鑄鐵に強力を與ふる爲に必要な黒鉛の形狀は前述の如く極く細かに渦狀をなして居る事である、然るに黒鉛を發達せしむる爲には共晶狀黒鉛を得る事と擬共晶狀黒鉛を得る事との二つである而して共晶狀黒鉛は其の發生の原因から考へても知れる如くに棒狀黒鉛或は第二次的の大型の黒鉛即ち扁平狀黒鉛を伴ひ易いのである、然るに擬共晶狀黒鉛は冷却速度の差に依り僅に其の大小の差こそあれ完全に渦狀黒鉛として現はれ得るものである、唯餘りに冷却速度速き場合に於ては白鉄として現はるゝ心配がある。

故に石川博士の所謂菊目均等組織を得る爲には此の種の黒鉛でなければならぬ。

然るに此擬共晶狀黒鉛は材料が凝固に際して相當に過冷却をなした場合或は適當なる成分なる時のみ生ずるものであるが故に結局は鑄鐵をして過冷却をなし得る状態に置かなければならぬ、或は又材料の成分の撰擇が必要である故に熔解前の材料に出来る限り不純物の少なきもの黒鉛のよく發達して居らぬものを選ぶ必要がある、又熔解方法としては熔解に際して過熱度を高め材料中の黒鉛を完全に熔解せしむると同時に熔鉄の流動度を増し熔滓等の不純物を除去する事が必要である或は又機械的に熔鉄中に混入せる熔滓其の他を表面に浮遊せしむる事即ち銑鉄に振動を與ふる事等も必要であるだらう。又過冷却をなさしむる其の他の方法としては冷却速度を速にする事である Osann⁽³⁵⁾ 其の他の人々に依つて推奨さるゝ木炭鉄の優秀なる事 E. Piwowarsky; F. Meyer 等が鑄鐵を過熱した場合甚だ細かい渦狀黒鉛を得て居る事又 1926 年獨逸の Dechesne に依つて行はれた Shaking Method 石川博士が或一定の成分の場合に於て渦狀黒鉛を得られた事も全く以上の理由に依るものである。

尙一例として同一種の方法をキュボラ、坩堝爐及電氣爐にて熔解し其の結果を見た、但しキュボラは 10 噸を用ひ坩堝爐は 80# の黒鉛坩堝にマグネサイド及アルミナの裏付したものを用ひ又電氣爐は 6 噸のエル-式鹽基性爐を使用した、又材料としては本邦産 3 號鉄を用ひた。其の組織は Fig 194~196 に示す如くであつて其の張力は第 10 表の如くである。

第 10 表

	抗張力 T/□"	横折力 (lb)	撓量 (吋)
電氣爐製	16,920	3,180	12 2/64
坩堝爐製	12,890	2,696	10 7/64
キュボラ製	7,761	1,960	13 2/64

以上の表にて電氣爐製の優秀なるは電氣は相當に加熱し易き事、適當の熔媒劑を以て熔滓を除去する事が出来る爲めであるだらう、尤もキュボラ製は他に比し炭素の量は少しく多くなつて居た。

又過冷却と張力との關係に就いて一例を擧ぐれば第11表の如くである。

第 11 表

尙以上の如き靜止點を與ふる鑄

全炭素 (%)	硅素 (%)	滿 俺 (%)	燐 (%)	硫 黃 (%)	靜止點 (°C)	抗張力 (T/□")	横折力 (LB)
3.44	3.51	0.145	0.018	0.030	1,150	10.76	2,470
3.56	2.28	0.862	0.061	0.032	1,145	8.66	2,120
3.10	0.97	0.81	0.050	0.025	1,130	12.12	4,180
3.18	1.17	1.02	0.064	0.050	1,128	23.40	4,150

鐵の凝固點附近より急冷せるもの

及乾燥砂型に鑄込たるものの顯微

鏡寫眞を示せば Fig 197~204 の

如くである又乾燥砂型の切斷面は

Fig 205~208 に示す如くであつて過冷却をなして凝固せる試料は甚だ立派なる均等組織をなしてゐるが然らざるものは約中央部に共晶狀黒鉛を有し其の周圍は大型の棒狀及扁平狀黒鉛よりなつて居る。

IX 結 論

以上の實驗の結果次の結論を得た。

- (1) 普通鑄鐵に現はるゝ黒鉛を分つて (i) 棒狀黒鉛 (ii) 共晶狀黒鉛 (iii) 扁狀黒鉛 (iv) 節狀黒鉛 (v) 擬共晶狀黒鉛とし之等の黒鉛の發生の有様を明らかにした。
- (2) 純鐵-炭素合金にては炭素 4.3 % 以下に於ては單に扁狀黒鉛の發生あるのみで他の種の黒鉛は發生し得ない事を認めた。
- (3) 純鐵-炭素合金に硅素を加へたる場合に於て徐冷にては棒狀黒鉛及扁狀黒鉛の發生を見ることが出来るが其他の黒鉛は發生せぬ事を確めた。
- (4) 棒狀黒鉛を發生する時之れに NaNO₃ 或は NaF 等とする場合が N. H. 等の瓦斯を加ふる事等に於て此の棒狀黒鉛は徐冷に於ても共晶狀黒鉛に變化することを認めた、此の作用は金屬元素に依つてはなし得ない。
- (5) (2)或は(3)の場合扁狀黒鉛を發生する時之れに滿俺 = ツケル或は其他の或種の元素の少量を加ふる時は此の扁狀黒鉛は擬共晶狀黒鉛となる。
- (6) 強力鑄鐵に必要な渦狀黒鉛は擬共晶狀黒鉛或は之と同様の原因に依つて生じた黒鉛でなければならぬ事を確めた。 以上

X 本實驗に引用せし文献

以上の實驗に引用した文献は次の雑誌或は圖書に發表されたものである。

- | | | | | |
|---------------------|--------------|----------------------|---|-------------------|
| (1) 機械學會誌 | Vol. 22 | 1919 | (6) Mitt. aus der K. W. I. für Eisenforschung Bd. IX. | 1927 |
| (2) 金屬の研究 | Vol. 1 No. 3 | 1924 | (7) " " " " " " | Bd. X. 1928 |
| (3) Stahl und Eisen | 1924 p. 1455 | (8) Ferrum | 11 | 1913/14 p. 51/65. |
| (4) " " " | 1927 p. 295 | (9) Foundry | | 1927 p. 758. |
| (5) " " " | 1925 p. 144 | (10) Stahl und Eisen | | 1924 p. |

- | | | | |
|------------------------------------|-------------------|--------------------------------------|------------------|
| (11) Giesserei Zeitung | 1924 p. | (25) Iron and Steel Inst | No.1 1913 p. 361 |
| (12) The Foundry Trade Jl. | 1924 p. | (26) Metallurgie | 1909 p. 3 |
| (13) Foundry | 1924 p. | (27) The Foundry Trade Jl. | 1925 p. 553 |
| (14) Ferrum | 1913/14 p. 97/112 | (28) W. Guertler: Metallographie Bd. | |
| (15) R. Ruer:—Metallographie | p. 254 | | I Teil II p. 9 |
| (16) G. Tamman:—Lehrbuch der | | (29) Stahl und Eisen | 1921 p. 1229 |
| Metallographie p. 11 | | (30) " " " | 1922 p. 1345 |
| (17) Iron and Steel Institute No.2 | 1906 p. 157 | (31) " " " | 1920 p. 1300 |
| (18) Metallurgie | 1906 p. 811 | (32) " " " | 1920 p. 1451 |
| (19) The Foundry Trade Jl. | 1923 p. 252 | (33) " " " | 1923 p. 967 |
| (20) Iron and Coal Trade Review | 1927 p. 437 | (34) The Foundry Trade Jl. | 1924 p. 236 |
| (21) Sci Rep Tohoku Imp Univ | 1924 p. 287 | (35) Ossann:—Lehrbuch der Eisen und | |
| (22) 京都帝國大學工學部紀要 | | Stahlgießerei p. 171 | |
| (23) 水曜會誌 | | (36) Stahl und Eisen | 1926 p. 869 |
| (24) Engineering | 1926 p. 583 | | |

附言 本實驗に關して御指導を給はつた京都帝國大學の齋藤教授に深謝する尙木村技手、乙川分析手及易分析工の諸君の終始の御助力を感謝す。

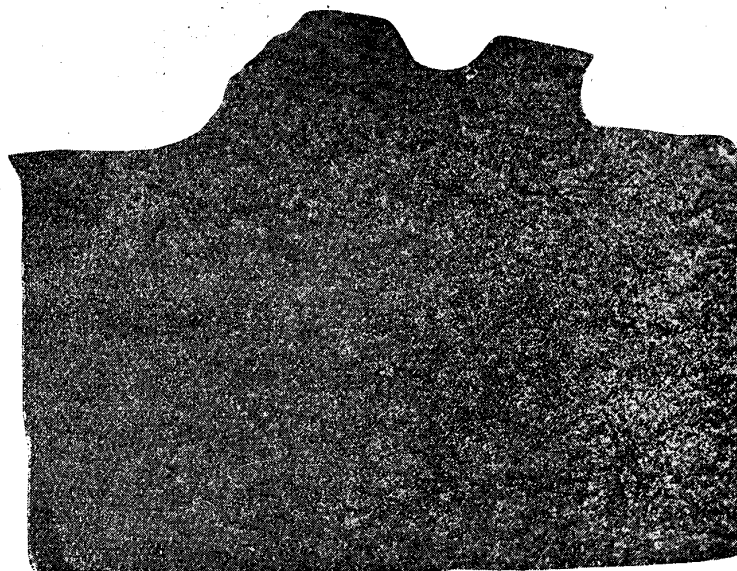


Fig 208. 靜止點 1,120°C 附近の銑鐵乾燥砂型鑄造

×5



Fig 5. 扁狀黒鉛 ×100



Fig 4. 擬共晶狀黒鉛 ×100



Fig 3. 筋狀黒鉛 ×100

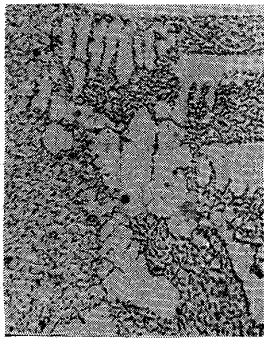


Fig 2. 共晶狀黒鉛 ×200



Fig 1. 棒狀黒鉛 ×100

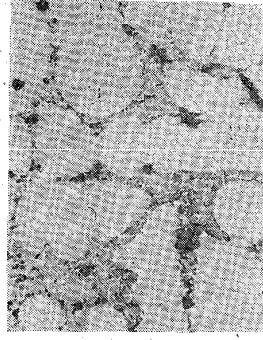


Fig 10. Fig 9. と同一試料を 950 °C 附近より水銀焼入 ×100



Fig 9. 釜石木炭再製銑を 1,050°C 附近より水銀焼入せるもの ×100

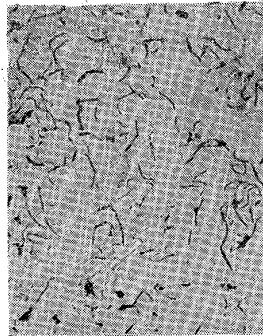


Fig 8. Fig 7. と同一試料に木炭を加へ直に徐冷せるもの ×100

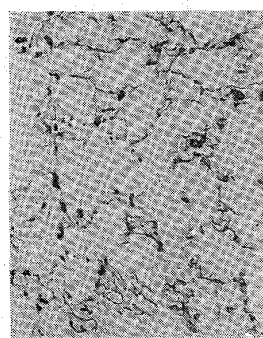


Fig 7. 全炭素 3.2% の銑鐵を徐冷せるもの ×100



Fig 6. 共晶炭化鐵より分解せんとしつゝある黒鉛を示す ×400



Fig 15. Fig 12. と同一試料を 800°C 附近より水銀焼入せるもの ×200

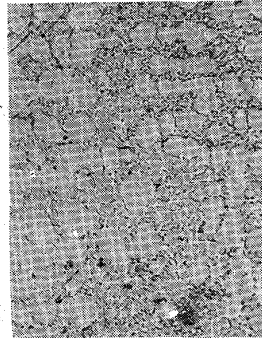


Fig 14. Fig 12. と同一試料を 1,000°C 附近より水銀焼入せるもの ×200



Fig 13. Fig 12. と同一試料を 1,150°C 附近より焼入せるもの ×100

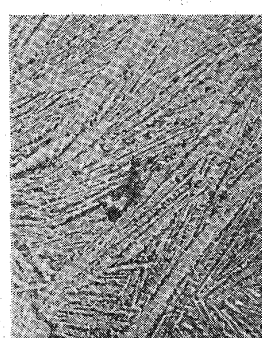


Fig 12. 本邦産 3 號銑鐵を 1,300°C 附近より水銀焼入せるもの ×200



Fig 11. Fig 9. と同一試料を徐冷せるもの ×100

× $\frac{5}{2}$

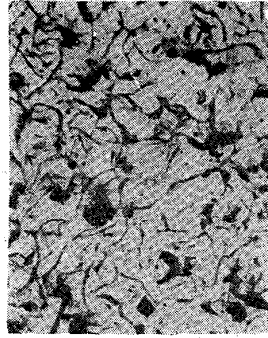


Fig 20. 4.3% 炭素附近の電解鐵を徐冷却せるもの
の
硅素(Si) × $\frac{5}{2}$ × 100



Fig 19. 共晶狀黒鉛を中心にして二次的黒鉛發達し前狀をなしたるもの × 100



Fig 18. 共晶狀黒鉛と二次的黒鉛とが同時に現はれる場合 × 100

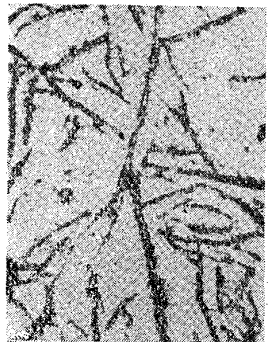


Fig 17. 全炭素4.3% 硅素2.5% に於て現はれる株狀黒鉛 × 100

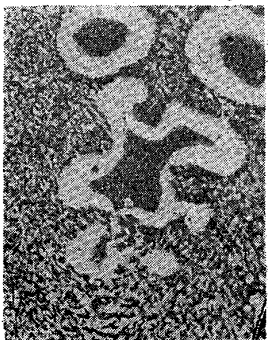


Fig 16. Fig 12. と同一試料を爐中徐冷却せるもの × 200



Fig 25. 1.0% 全炭素 4.3%
//



Fig 24. 2.3% 炭素(附近)を加へし電解鐵を徐冷却せるもの
//

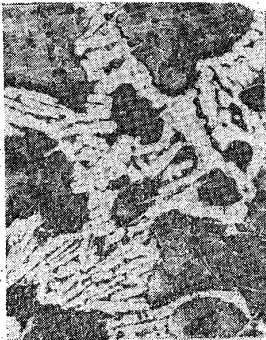


Fig 23. 2.8% 炭素(附近)を加へし電解鐵を徐冷却せるもの
//

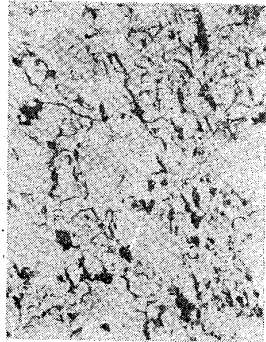


Fig 22. 3.3% 炭素(附近)を加へし電解鐵を徐冷却せるもの
//



Fig 21. 3.8% 炭素(附近)を加へし電解鐵を徐冷却せるもの
の
硅素(Si) × 100

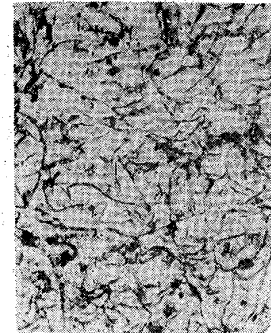


Fig 30. 2.5%
//



Fig 29. 2.0%
//



Fig 28. 1.0% 全炭素 3.3%
//



Fig 27. 2.5%
//



Fig 26. 2.0% 全炭素 4.3%
//

ピスマス $\times \frac{5}{7} \times 100$

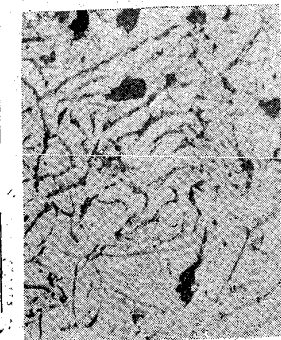


Fig 31. 0.5% 全炭素 4.3%

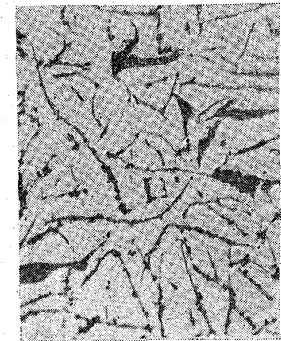


Fig 32. 1.0%

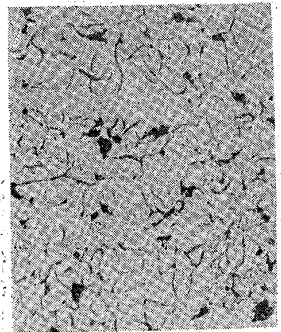


Fig 33. 1.0% Si 2.5%

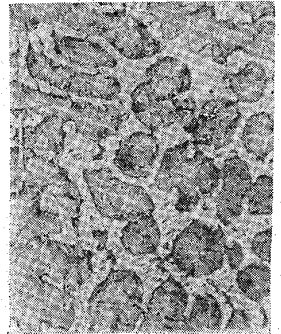


Fig 34. 0.5% 全炭素 3.3%



Fig 35. 1.0%

ピスマス $\times \frac{5}{7} \times 100$

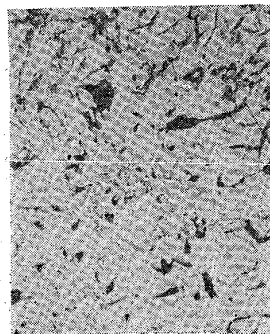


Fig 36. 1.0% Si 2.5% 全炭素 3.3%

アンチモン $\times \frac{5}{7} \times 100$



Fig 37. 0.5% 全炭素 4.3%

アンチモン $\times \frac{5}{7} \times 100$



Fig 38. 1.0%

アンチモン $\times \frac{5}{7} \times 100$



Fig 39. 1.0% Si 2.5%

アンチモン $\times \frac{5}{7} \times 100$

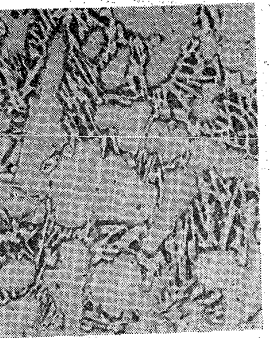


Fig 40. 0.5% 全炭素 3.3%

ピスマス $\times \frac{5}{7} \times 100$

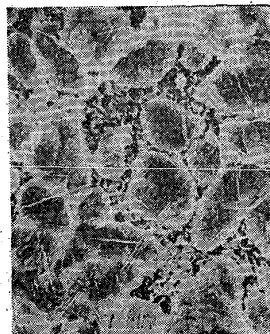


Fig 41. 1.0% 全炭素 3.3%

亜鉛 $\times \frac{5}{7} \times 100$

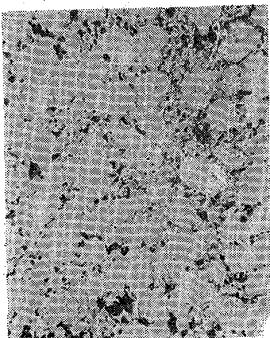


Fig 42. 10% Si 2.5%

亜鉛 $\times \frac{5}{7} \times 100$



Fig 43. 0.5% 全炭素 4.3%

亜鉛 $\times \frac{5}{7} \times 100$



Fig 44. 1.0%

亜鉛 $\times \frac{5}{7} \times 100$



Fig 45. 10% Si 2.5%

亜鉛

× $\frac{5}{7}$ ×100

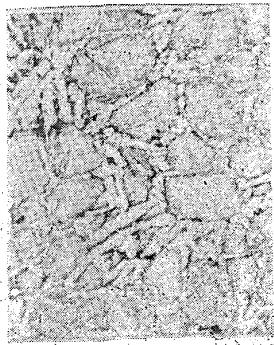


Fig. 46. 0.5%
全炭素 3.3%

//

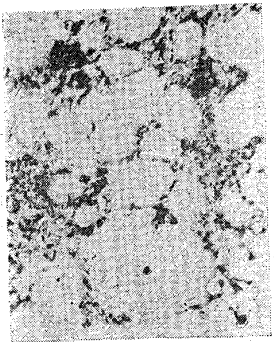


Fig. 47. 1.0%
//

//

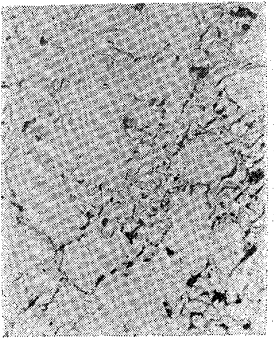


Fig. 48. 1.0% Si 2.5%
//

ニツケル

× $\frac{5}{7}$ ×100

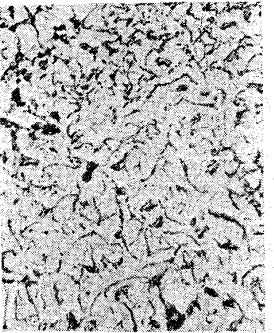


Fig. 49. 0.5%
全炭素 4.3%

//

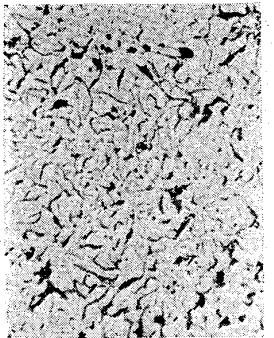


Fig. 50. 1.0%
//

ニツケル

× $\frac{5}{7}$ ×100

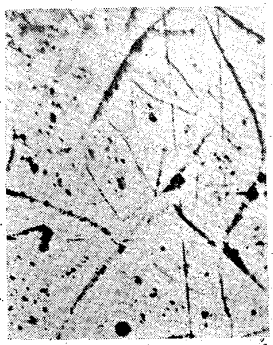


Fig. 51. 1.0% Si 2.5%
全炭素 4.3%

//



Fig. 52. 0.5%
全炭素 3.3%

//

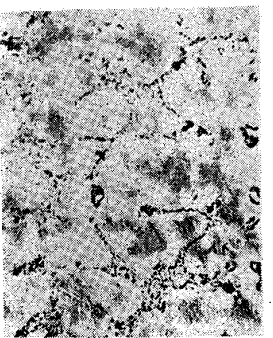


Fig. 53. 1.0%
//

//

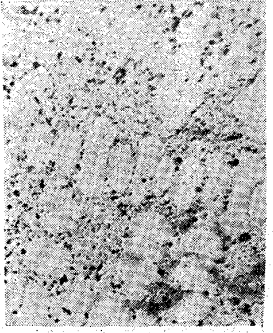


Fig. 54. 1.0% Si 2.5%
//

銅

× $\frac{5}{7}$ ×100

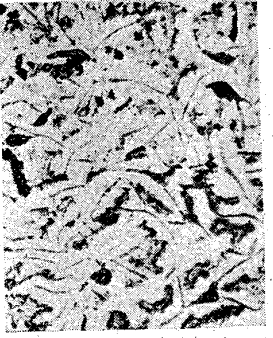


Fig. 55. 0.5%
全炭素 4.3%

銅

× $\frac{5}{7}$ ×100

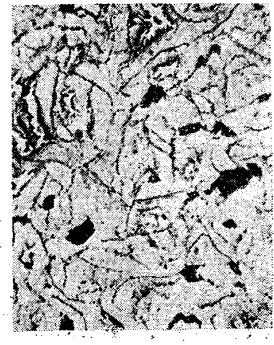


Fig. 56. 1.0%
全炭素 4.3%

//



Fig. 57. 1.0% Si 2.5%
//

//

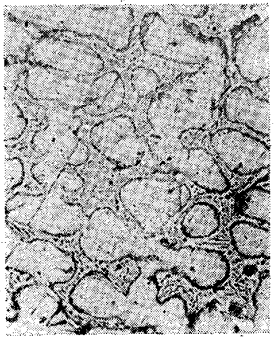


Fig. 58. 0.5%
全炭素 3.3%

//

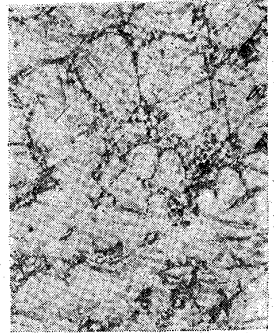


Fig. 59. 1.0%
//

//

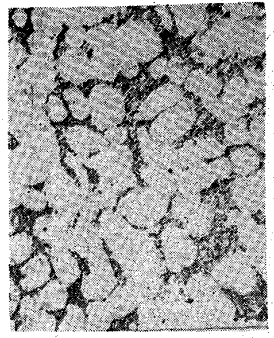


Fig. 60. 1.0% Si 2.5%
//

鉛 $\times \frac{1}{2} \times 100$

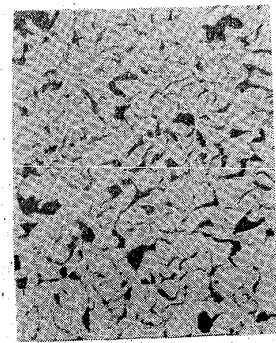


Fig 61. 0.5%
全炭素 4.3%

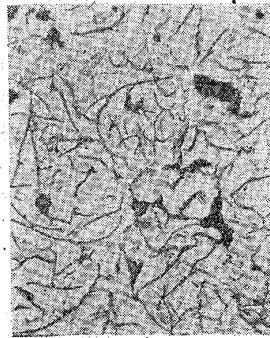


Fig 62. 1.0%
"

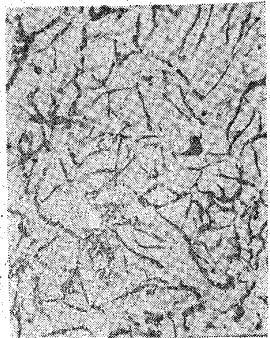


Fig 63. 1.0% Si 2.5%
"



Fig 64. 0.5%
全炭素 3.3%



Fig 65. 1.0%
"

モリブデン $\times \frac{1}{2} \times 100$

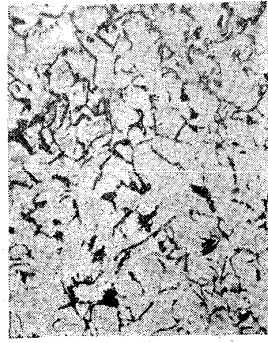


Fig 66. 1.0% Si 2.5%
全炭素 3.3%

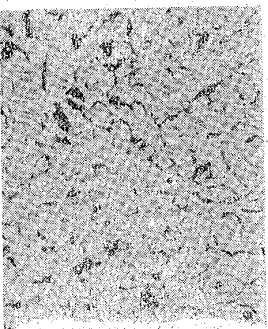


Fig 67. 0.5%
全炭素 4.3%



Fig 68. 1.0%
"



Fig 69. 1.0% Si 2.5%
"



Fig 70. 0.5%
全炭素 3.3%

モリブデン $\times \frac{1}{2} \times 100$

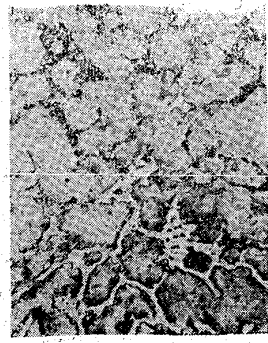


Fig 71. 1.0%
全炭素 3.3%



Fig 72. 1.0% Si 2.5%
"

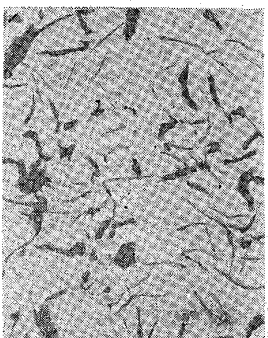


Fig 73. 0.5%
全炭素 4.3%



Fig 74. 1.0%
"

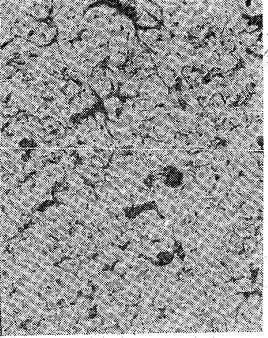


Fig 75. 1.0% Si 2.5%
"

錫 $\times \frac{5}{7} \times 100$



Fig 76. 0.5%
全炭素 3.3%

〃

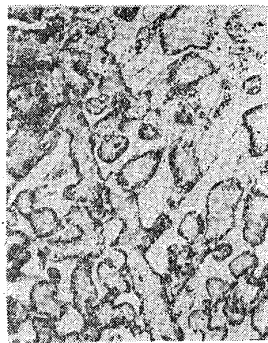


Fig 77. 1.0%
〃

〃



Fig 78. 1.0% Si 2.5%
〃

錫 $\times \frac{5}{7} \times 100$

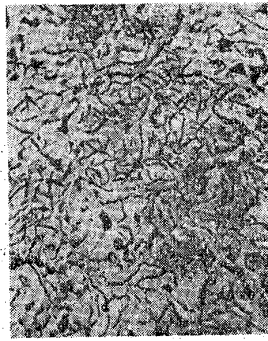


Fig 79.
全炭素 4.3%

錫 $\times \frac{5}{7} \times 100$



Fig 81.
全炭素 4.3%

〃

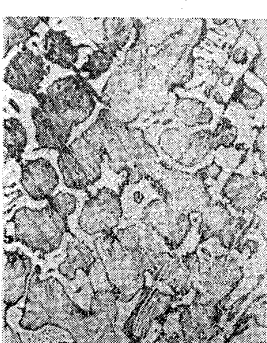


Fig 82.
全炭素 3.3%

〃



Fig 83.
〃

〃



Fig 84.
〃

滿庵 $\times \frac{5}{7} \times 100$

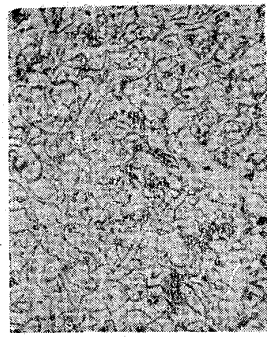


Fig 85. 0.5%
全炭素 4.3%

滿庵 $\times \frac{5}{7} \times 100$

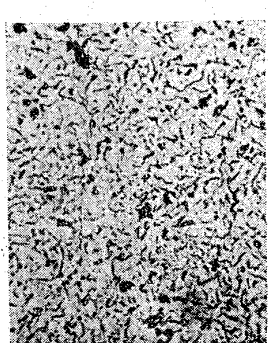


Fig 86. 1%
全炭素 4.3%

〃

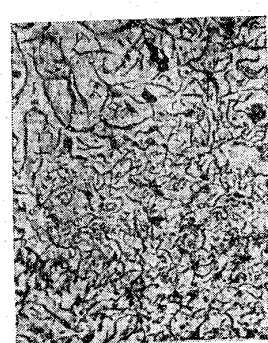


Fig 87. 1.0% Si 4.5%
〃

〃

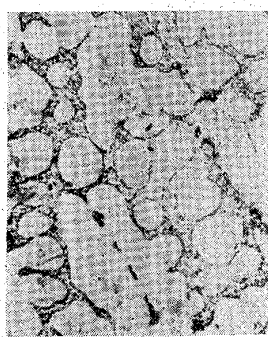


Fig 88. 0.5%
全炭素 3.3%

〃

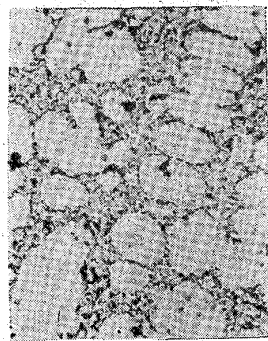


Fig 89. 1.0%
〃

〃

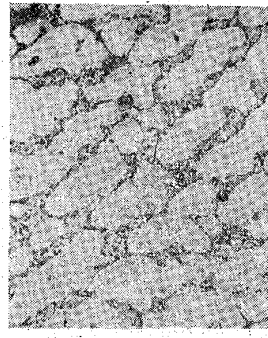


Fig 90. 1.0% Si 2.5%
〃

バナジウム $\times \frac{1}{2} \times 100$

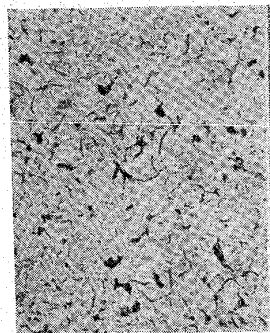


Fig 91. 0.5%
全炭素 4.3%

〃

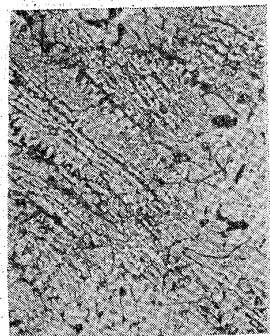


Fig 92. 1.0%
〃

〃

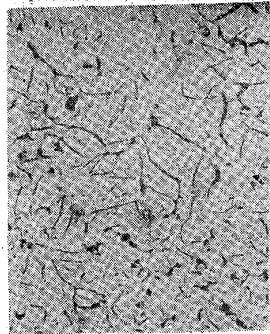


Fig 93. 1.0% Si 2.5%
〃

〃

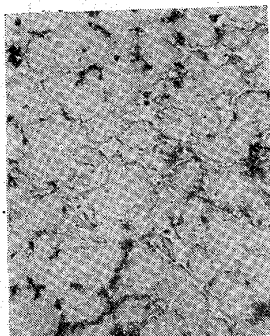


Fig 94. 0.5%
全炭素 3.3%

〃



Fig 95. 1.3%
〃

バナジウム $\times \frac{1}{2} \times 100$

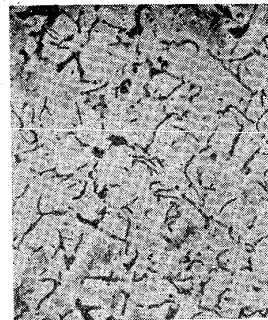


Fig 96. 1.0% Si 2.5%
全炭素 3.3%

クロム $\times \frac{1}{2} \times 100$

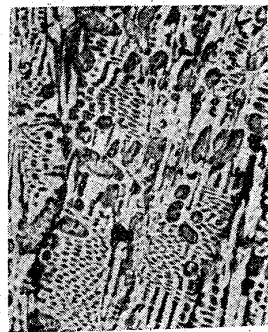


Fig 97. 0.5%
全炭素 4.3%

〃

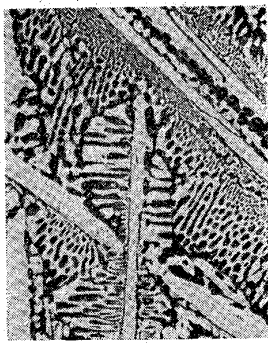


Fig 98. 1.0%
〃

〃

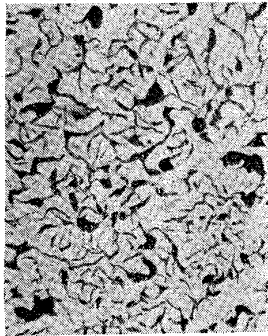


Fig 99. 1.0% Si 2.5%
〃

〃



Fig 100. 0.5%
全炭素 3.3%

〃

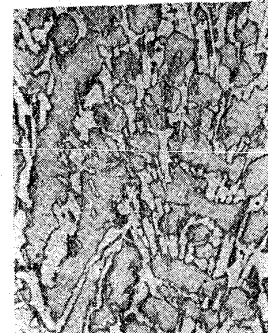


Fig 101. 1.0%
全炭素 3.3%

〃

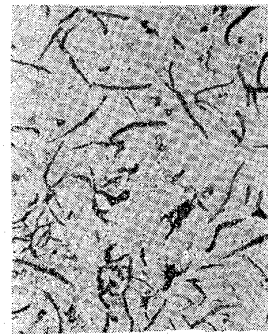


Fig 102. 0.5% Si 2.5%
〃

硫黄 $\times \frac{1}{2} \times 100$

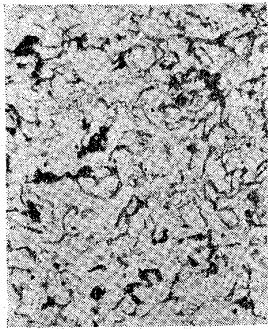


Fig 103. 0.5%
全炭素 4.3%

〃

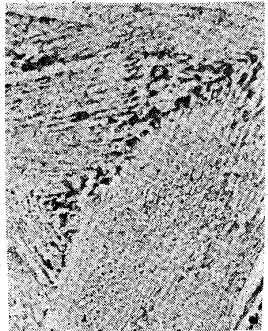


Fig 104. 1.0%
〃

〃

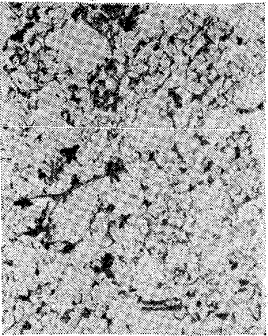


Fig 105. 1.0% Si 2.5%
〃

硫黄

$\times \frac{5}{7} \times 100$



Fig 1 6. 0.5%
全炭素 3.3%

〃



Fig 107. 1.0%

〃

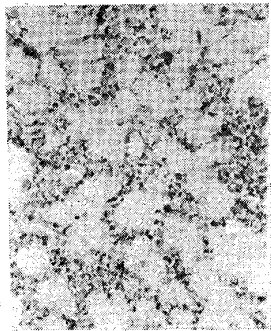


Fig 108. 1.0% Si 2.5%

$\times \frac{5}{7} \times 100$



Fig 109. 電氣爐銑-No. 1.
徐冷

〃



Fig 110. 電氣爐銑 No.1
焼入

$\times \frac{5}{7} \times 100$



Fig 111. 電氣爐銑 No.2.
徐冷

〃



Fig 112. 電氣爐銑 No.2.
焼入

〃



Fig 113. 電氣爐銑 No.3.
徐冷

〃



Fig 114. 電氣爐銑 No.3.
焼入

〃



Fig 115. 電氣爐銑 No. 4.
徐冷

〃

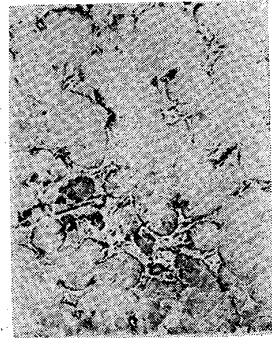


Fig. 116. 電氣爐銑 No. 4. 焼入

〃

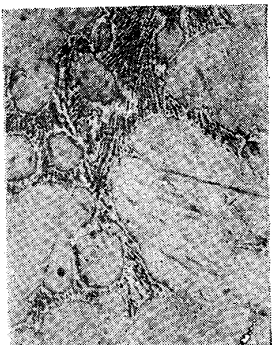


Fig. 117. 電氣爐銑 No. 5. 徐冷

〃



Fig. 118. 電氣爐銑 No. 5.
焼入

〃

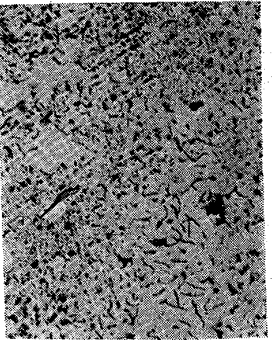


Fig. 119. 電氣爐銑 No. 1. に
珪素 1%含有のもの徐冷

〃

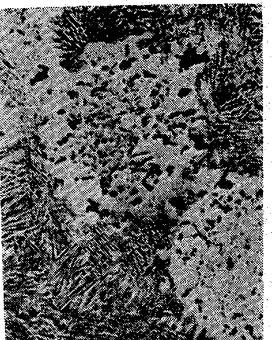


Fig. 120. Fig. 119. を焼入せる
もの

× 7 × 100



Fig 121. 電氣爐銑 No. 1 に硅素 2.5 % 含有のもの

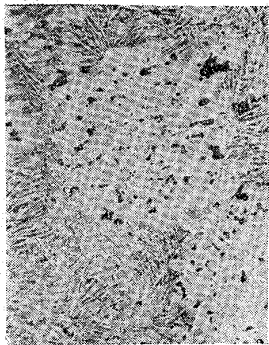


Fig 122. 前焼入のもの



Fig 123. 電氣爐銑 No. 1 に硅素 3.0 % 含有するもの



Fig 124. 前同焼入せるもの

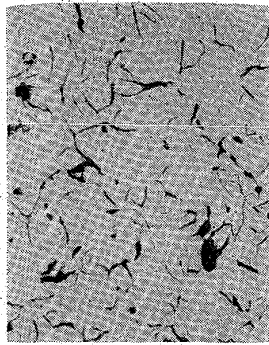


Fig 125. 電氣爐銑 No. 2 に硅素 1.0 % 含有のもの徐冷



Fig 126. 前同焼入せるもの



Fig 127. 電氣爐銑 No. 2 に硅素 2.5 % 含有せしもの徐冷

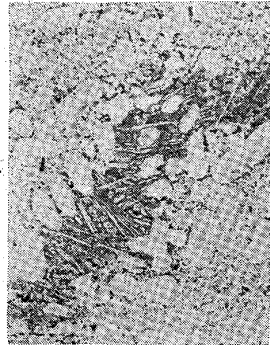


Fig 128. 前同焼入せるもの

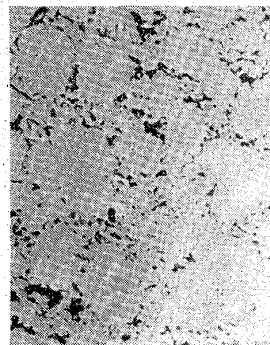


Fig 129. 電氣爐銑 No. 3 に硅素 1.0 % 含有せるもの徐冷

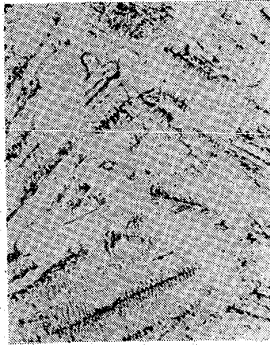


Fig 130. 前同焼入せるもの

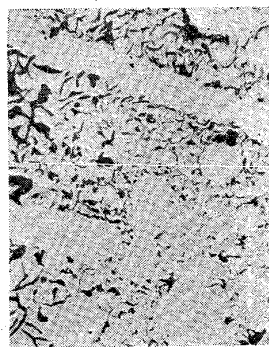


Fig 131. 電氣爐銑 No. 3 に硅素 2.5 % 含有せるもの徐冷



Fig 132. 前同焼入せるもの



Fig 133. 電氣爐銑 No. 4 に硅素 3.0 % 含有せるもの徐冷

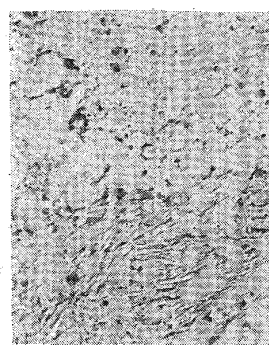


Fig 134. 前同焼入せるもの

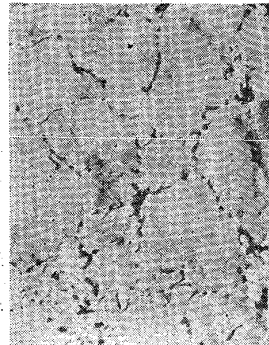


Fig 135. 電氣爐銑 No. 4 に硅素 1.0 % 含有せるもの徐冷

×50×100

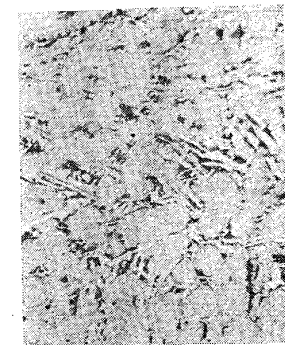


Fig 136. 前同焼入せるもの

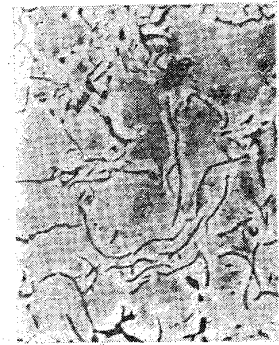


Fig 137. 電氣爐銑 No. 4に硅素 2.5%含有せるもの徐冷

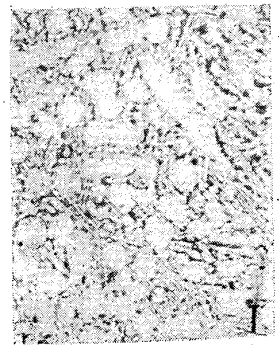


Fig 138. 前同焼入せるもの

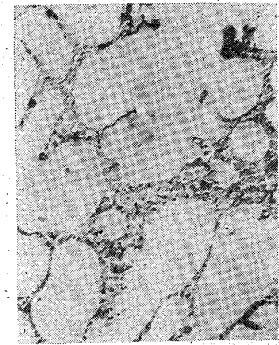


Fig 139. 電氣爐銑 No. 5に硅素 1.5%含有せるもの徐冷



Fig 140. 前同焼入せるもの

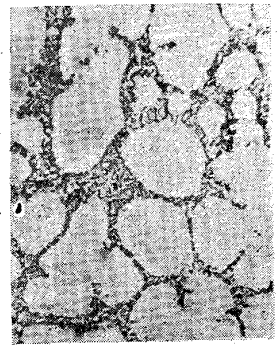


Fig 141. 電氣爐銑 No. 5に硅素 2.5%含有せるもの徐冷



Fig 142. 前同焼入せるもの



Fig 143. 4.3% C の電解鐵に硅素 1.0%を加へたるもの徐冷



Fig 144. 4.3% C の電解鐵に硅素 1.5%を加へたるもの徐冷



Fig 145. 4.3% C の電解鐵に硅素 2.0%を加へたるもの徐冷



Fig 146. 4.3% C の電解鐵に硅素 3.0%を加へたるもの徐冷

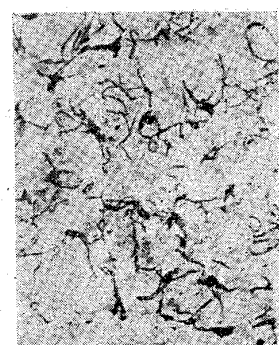


Fig 147. 3.3% C の電解鐵に硅素 2.0%を加へたるもの徐冷

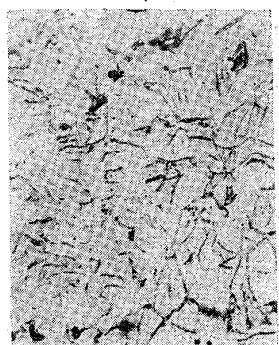


Fig 148. 3.0% C 電解鐵に硅素 3.0%を加へたるもの徐冷

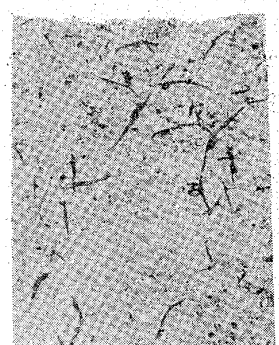


Fig 149. 4.3% C の電解鐵に硅素 0.5%加へたるものを凝固點少し上より水銀中に焼入せるもの



Fig 150. 電氣爐銑 No. 1に 0.5% 滿座を含むもの徐冷

× $\frac{7}{4}$ × 100

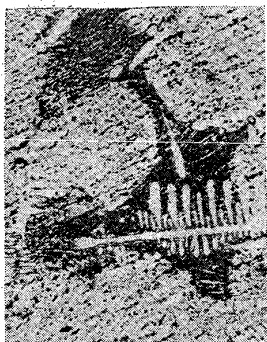


Fig 151. 電氣爐鉄 No. 1に0.5% 滿倦を含むもの焼入

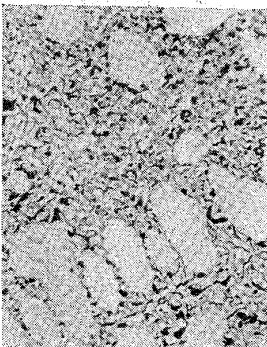


Fig 152. 電氣爐鉄 No. 1に2.5% 滿倦を含むもの徐冷

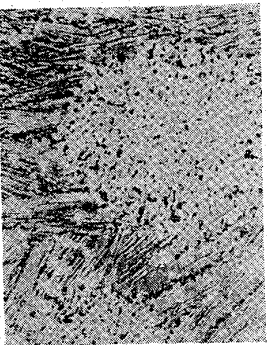


Fig 153. Fig 152 を焼入せるもの



Fig 154. 電氣爐鉄 No. 2に1.5% 滿倦を含むせしもの徐冷

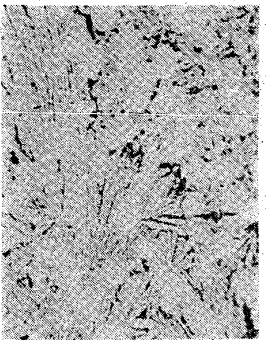


Fig 155 Fig 154 の焼入

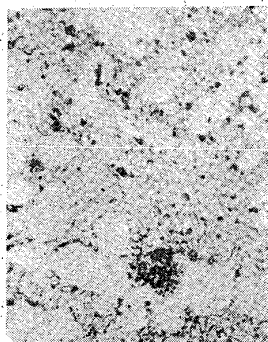


Fig 156. 電氣爐鉄 No. 2に2.0% 滿倦を含むせしもの徐冷



Fig 157. 電氣爐鉄 No. 2に2.0% 滿倦を含むせしもの焼入

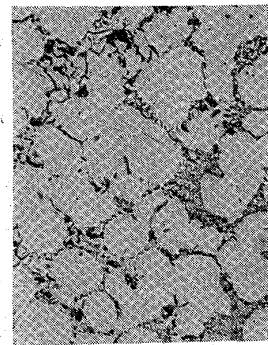


Fig 158. 電氣爐鉄 No. 3に滿倦3.0% 含むせしもの徐冷



Fig 159. Fig 158 の焼入

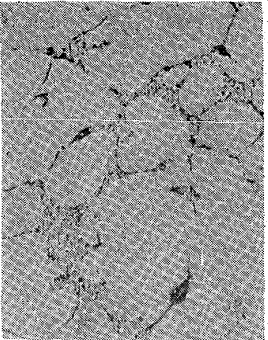


Fig 160. 電氣爐鉄 No. 4に1.0% 滿倦を含むせしもの徐冷

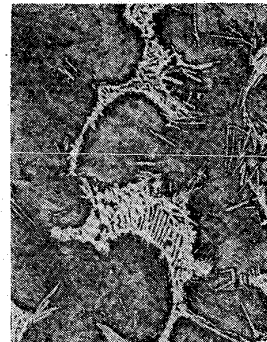


Fig 161. Fig 160 の焼入

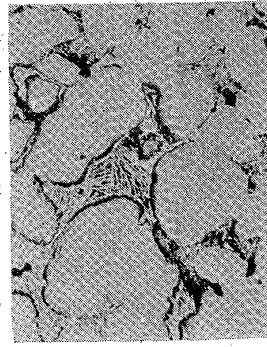


Fig 162. 電氣爐鉄 No. 4に2.0% 滿倦を含むせしもの徐冷



Fig 163. Fig 162 の焼入

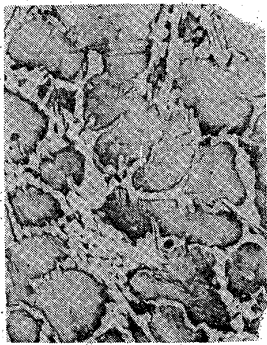


Fig 164. 電氣爐鉄 No. 5に1.0% 滿倦を含むせしもの徐冷



Fig 165. Fig 164. の焼入

× 5 × 100



Fig. 166. 電氣爐鉄 No. 1 に Ni 0.5% を加へしもの徐冷

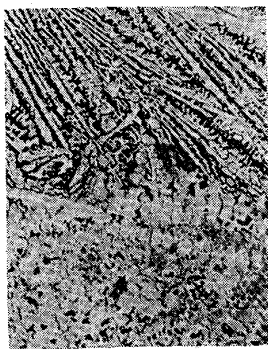


Fig. 167. Fig. 166 の焼入

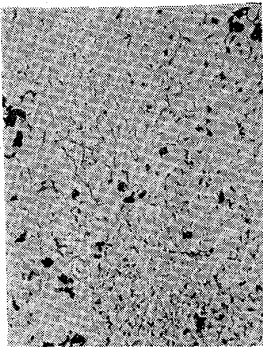


Fig. 168. 電氣爐鉄 No. 1 に Ni 1.5% を加へしもの徐冷

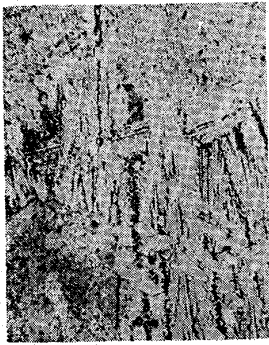


Fig. 169. Fig. 168. 焼入

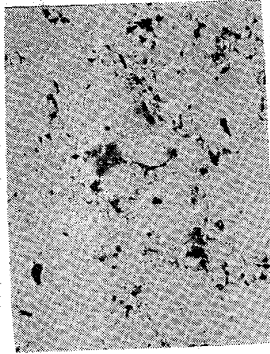


Fig. 170. 電氣爐鉄 No. 2 に Ni 0.5% を加へしもの徐冷

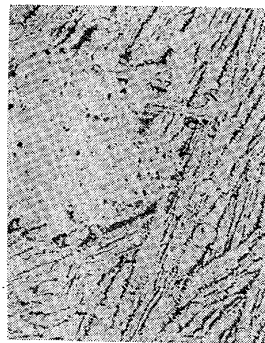


Fig. 171. Fig. 170 を焼入

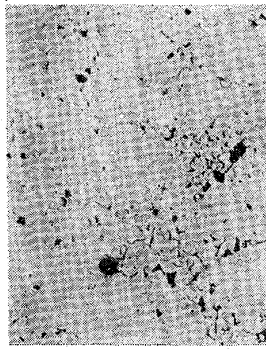


Fig. 174 電氣爐鉄 No. 2 に Ni 3.0% を加へしもの徐冷

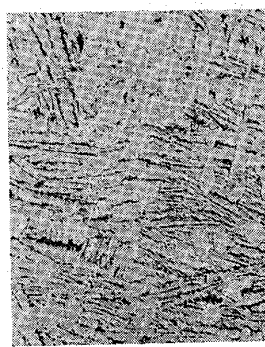


Fig. 173. Fig. 172. の焼入

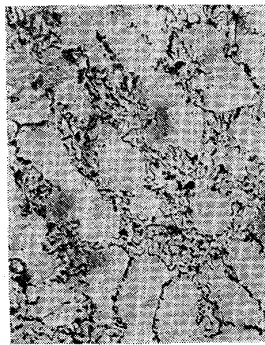


Fig. 174. 電氣爐鉄 No. 3 に Ni 0.5% を加へしもの徐冷

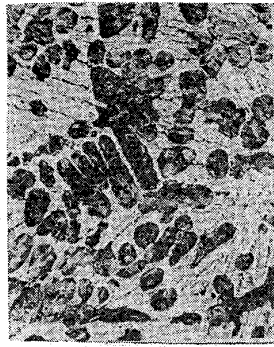


Fig. 175. Fig. 174 の焼入

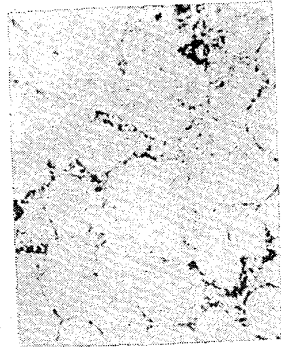


Fig. 176. 電氣爐鉄 No. 4 に Ni 3.0% を加へしもの徐冷

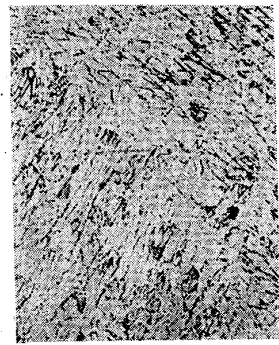


Fig. 177. Fig. 176 の焼入



Fig. 178. 電氣爐鉄 No. 5 に Ni 2.0% を加へしもの徐冷

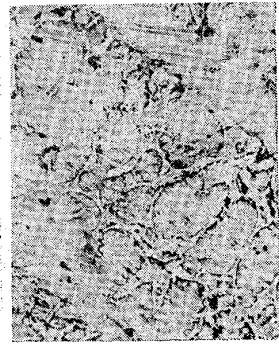


Fig. 179. Fig. 178 の焼入

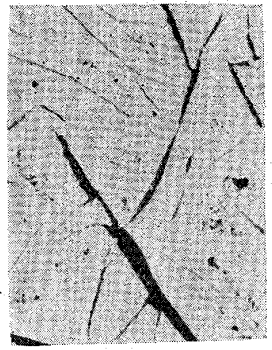


Fig. 180. 4.3% C 2.5% Si の電解鐵に Ni 0.5% を加へしもの徐冷

× 5 × 100



Fig 181. 4.3% C 2.5% Si の電解鐵に Ni 0.5% を加へしもの焼入

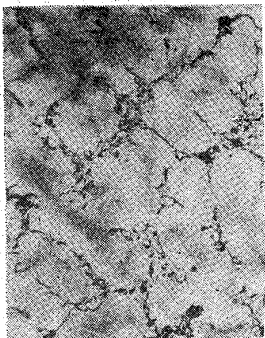


Fig 182. 3.3% C 附近の電解鐵に Ni 0.5% を加へしもの徐冷

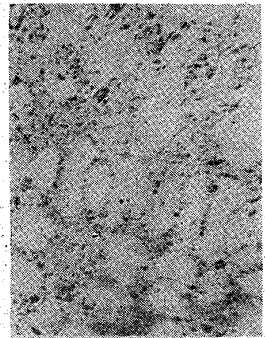


Fig 183. 3.3% C, 0.3% Si 附近の電解鐵に Ni 0.5% を加へしもの徐冷



Fig 184. aCl (食鹽) 全炭素 4.3% 硅素 2.5%



Fig 185. 石 灰

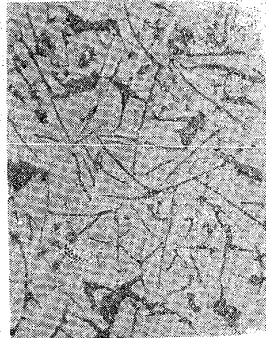


Fig 186. Na 1 全炭素 4.3% 硅素 2.5%

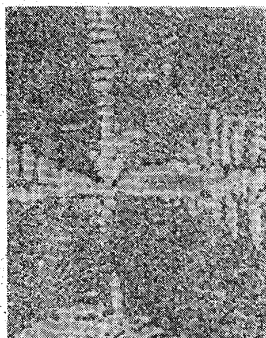


Fig 187. Na, NO₃ の flux.

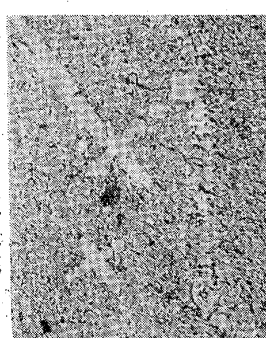


Fig 188. aF (弗化曹達)



Fig 189. 螢

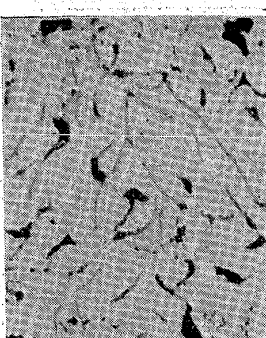


Fig 190. 4.3% C 含める電解鐵 1 NaNO₃ を flux とせるもの

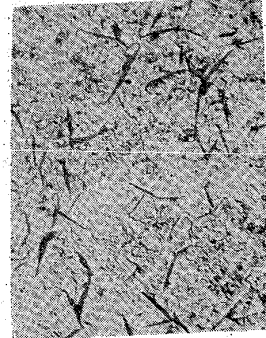


Fig 191. 4.3% C 0.5% Si を含める電解鐵を焼入せるもの



Fig 192. 4.3% C 2.0% Si を含める電解鐵を焼入せるもの

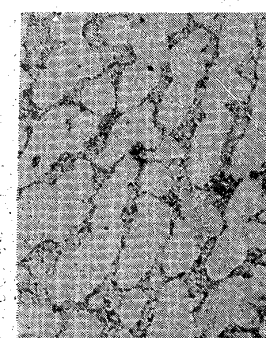


Fig 193. 3.3% C 附近 Si 2.0% を含む電解鐵に滿庵 0.5% を加へたるもの徐冷

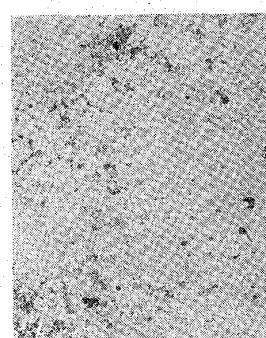


Fig 197. 静止點 1,150°C なる錳鐵燒入



Fig 198. Fig 197. を乾燥砂型に鑄込みたる部分の中心部

× 5 × 100



Fig 199. 静止點 1,115°C 附近の銑鐵燒入



Fig 200. Fig 199. を乾燥砂型に鑄込みたるものゝ中心部

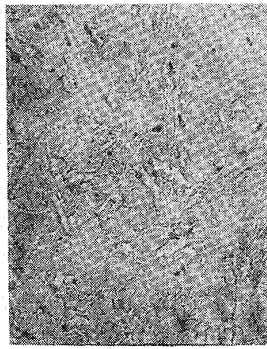


Fig 201. 静止點 1,130°C 附近の銑鐵燒入

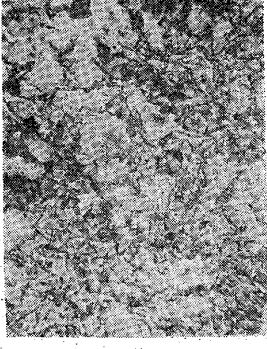


Fig 202. Fig 201. を乾燥砂型に鑄込みたるものゝ中心部

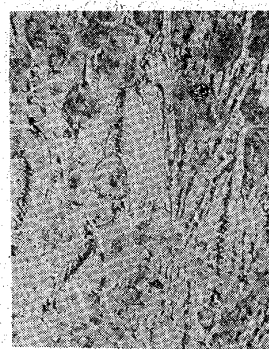


Fig 203. 静止點 1,120°C 附近の銑鐵燒入

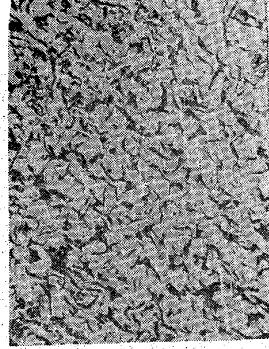


Fig 204. Fig 203. を乾燥砂型に鑄込みたるものゝ中心部

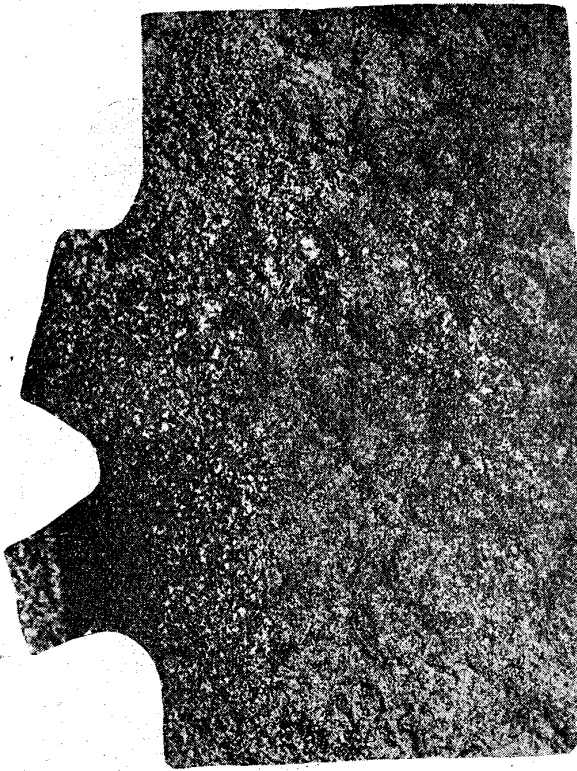


Fig 194. 本邦三峯銑を「キユボラ」にて熔解せるもの乾燥砂型鑄造



Fig 195. 本邦三號銑を 80# 井搗爐にて熔解せるもの乾燥砂型鑄造



Fig 206. 靜止點 1,145°C 附近の鈍鐵乾燥砂型鑄造



Fig 207. 靜止點 1,130°C 附近の鈍鐵乾燥砂型鑄造



Fig 196. 本邦三號鉄を6噸鹽基性爐にて熔解せるもの乾燥砂型鑄造

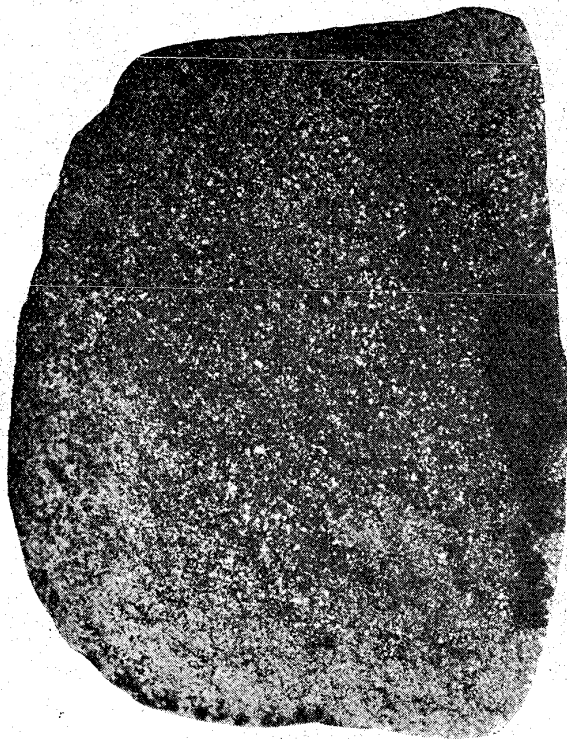


Fig 205. 靜止點 1,150°C 附近なる鈍鐵(ナマコ)乾燥砂型鑄造