

昭和十一年七月二十五日發行

論 說

銑鐵の性質に関する研究

(日本鐵鋼協會第14回講演大會講演)

田 中 清 治*

NATURE OF PIG IRON.

by Seiji Tanaka.

SYNOPSIS:— 1) The author investigated the effect of melting temperature on the graphitization of pig iron, and found the fact that graphite content in the melt varied with its oxygen content which depended on the partial pressure of oxygen of the atmosphere and the velocity of reaction between oxide and carbon in the melt. The author is of the opinion that the well-known theory demonstrated by Piwowarsky is improper. 2) The coke pig iron was melted in vacuum furnace at high temperature. The structure and properties of the melt changed to the same as those of Swedish charcoal pig iron. 3) The structure which consisted of the fine eutectic graphite colonies surrounded by continuous net work, was obtained by melting the pig iron in vacuum. From the structure, it was suggested that, on cooling, the fine eutectic graphite colonies at first separated out and then the final liquid, comparatively more impure, solidified around them, forming the continuous net work structure. 4) Cementite scarcely crystallized out even by rapid cooling, when the molten pig iron, low in silicon, was cooled in vacuum state.

第1節 銑鐵の黒鉛化に及ぼす 熔解温度の影響

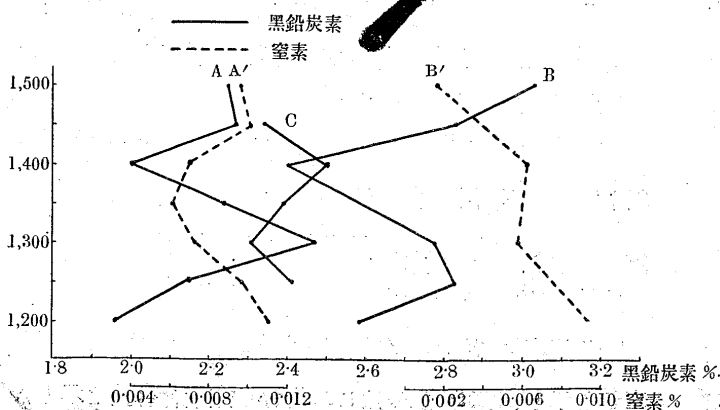
著者は先に鑄鐵の黒鉛化に及ぼす熔解温度の影響に就て研究し、之は鑄鐵本來の性質ではなく、その含有せる酸化鐵、窒化物及瓦斯の影響であることを結論した¹⁾。其後尙その研究を續けその理論を略明かにすることが出来た。

1) 窒素含有量と黒鉛炭素量との關係 銑鐵を窒素中に

て各温度に加熱熔解し、その黒鉛炭素の外に窒素量をも定量して見た。

窒素定量は試料5瓦を鹽酸に溶解しこの溶液を蒸溜フラスコ中で苛性曹達を加へて蒸溜し、發生せるアンモニア液を N/100 規定の硫酸の一定量に吸収せしめ、沃度イオンを指示薬として殘留硫酸量を N/100 規定苛性曹達液にて滴定する方法を採つた。

第1圖



第1圖及び第2圖に於て實線は黒鉛炭素、點線は窒素量を示し、第1圖のA及びB、第2圖のA曲線は已に前論文に掲載せるもので、これに對する窒素曲線は其の後殘部の試料を分析して定めた。第1圖AA'曲線は瑞典銑鐵 3.6% C, 2.3% Si の試料を窒素中に於て各温度に熔解せる時の黒鉛炭素及び窒素量を示す。この兩曲線を比較すると、黒鉛炭素は 1,300°C 迄は増加する時窒素は反對に減少し、1,300°C より 1,400°C 迄は、黒鉛炭素の著しく減する時に窒素も減少して最小になる 1,400°C 以上では兩方共増加する。BB' 曲線は同試料を 1,100°C 迄は窒素中に加熱し、こゝで一酸化炭素にて置換して各温度に加熱せる場合の黒鉛炭素及び窒素量を示す

* 東京帝國大學工學部

¹⁾ 著者 鐵と鋼 第18年第7號

30 x 1.8 = 5.4

1.8 x 3.3 = 5.94

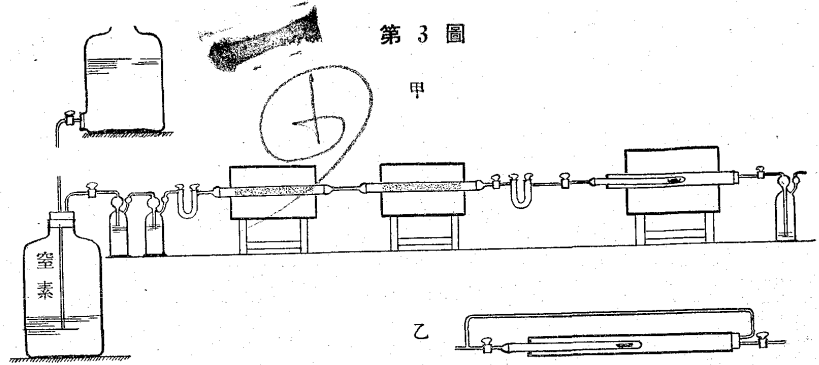


1,300°C 迄黒鉛炭素の多い時に窒素の減少は著しく、1,300°C と 1,400°C の間では黒鉛炭素は急に減少し、窒素は減少せずに微量ながら増す傾向を示して居る。これはこの際使用した一酸化炭素中に窒素が混入せる爲めで、A' 曲線の場合の如く窒素は一旦最小となり次に増加を示すことを示して居る。窒素の無い一酸化炭素中ではかくの如きことは勿論起り得べきことでない(第5圖 A 曲線参照) 1,400°C 以上では窒素は急に減して 1,500°C ではこの試料は網状共晶黒鉛組織を呈することは前論文にて述べた

第2圖 AA' 曲線は同試料を窒素中にて各温度に加熱溶解したる後冷却し凝固直前に於て真空にしその儘凝固冷却せる場合の黒鉛炭素及窒素量を示す。窒素曲線は第1圖 B' 曲線と同様で 1,500°C に於ては窒素は極めて微量になり鉄鐵の組織は網状共晶黒鉛組織を示す。

第2圖 BB' 曲線は釜石骸炭鉄(3.6% C, 2.2% Si)を窒素中に加熱せる時の黒鉛炭素及び窒素量を示し、黒鉛炭素は

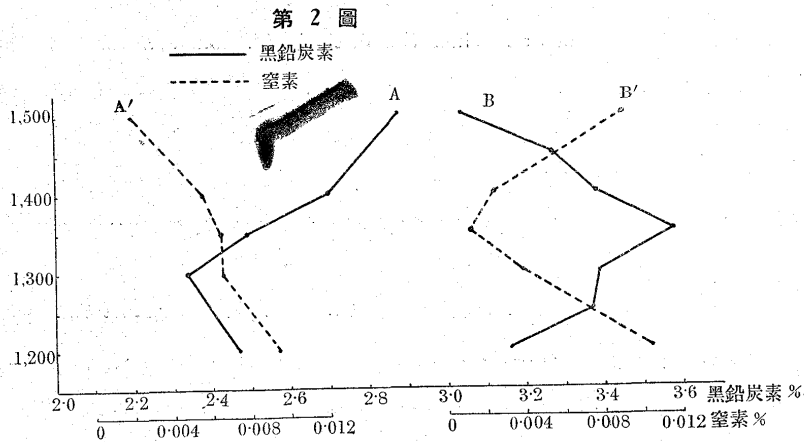
2) 黒鉛炭素と酸素との關係 前試験では瓦斯中の酸素の除去不完全なりし爲め今度は充分に除去して試験した。第3圖は實驗装置で、先づ洗滌乾燥せる空氣を加熱せる酸



化銅中を通してその酸素を除きて得たる粗製の窒素を瓦斯溜に詰めた。この窒素を更に洗滌乾燥せる上、銅を詰めたる加熱管2個を通じて酸素を除いた。銅加熱管は先づ酸化銅を加熱管中に詰め之を水素にて還元した。試料の加熱管は前實驗では磁製管を使用したが高温度になると瓦斯の透過する虞ある故に同圖乙に見る様に二重にし内外共に窒素を通すやうにした。又内管はシリマナイト管を使用し外管は磁製管を使用した。

試料は第1圖 A 曲線の場合と同様の成分で瑞典鉄鐵と珪素とより作つた。

この試料を窒素中にて各温度に溶解せるに、黒鉛炭素は第1圖 C 曲線の如くになつた。又第8圖及第9圖は Si 0.63% の瑞典鉄鐵の場合の實驗結果で第8圖は黒鉛炭素、第9圖は窒素量を示す。何れも第1圖 A 曲線とは全く反對の形となつた。今第1圖 A と C 曲線とを比較し



1,350°C に最大となる時窒素は最小になり、その後黒鉛炭素の減少するに従つて窒素は増加して居る。

窒化物は酸化物の爲めに分解されるもので、窒素の乾式定量法に試料を酸化銅と共に加熱して遊離する窒素を測定する方法がある。これ等曲線の實驗に使用した窒素は酸素の除去は不完全で試料の酸化によつて生じた酸化鐵と窒化物の反應によつて上記の窒素曲線の變化を説明し得る。1,350°C 迄の窒素の急減は過剰の酸化鐵の爲めで 1,400°C 以上の増加は酸化鐵が試料の炭素の爲めに還元され、その量を減する爲めである。窒素中の酸素を充分に除去し且試料中の酸化鐵を除いて實驗せる結果は第9圖 B 曲線の如く窒素の減少なく且 1,450°C になり試料が脱酸されて急に窒素量を増す。

て見ると 1,200°C では C 曲線の方では黒鉛炭素は著しく多く、1,300°C 迄次第に減少するが A 曲線では反對に増加する。それより 1,400°C 迄は A の方では黒鉛量は著しく減するが C 曲線では反對に増加する。1,400°C 以上では A の方は増加するが C 曲線の方は減する。

第4圖及第5圖は酸素の影響を見る爲めに前と同様の試料を種々の瓦斯中に加熱せる場合の黒鉛炭素及び窒素量を示すもので、第4圖は黒鉛炭素、第5圖は窒素量を示す。

曲線 A は試料を先づ 1,100°C 迄窒素中に加熱しこゝで一酸化炭素に置換し、各温度に加熱溶解せる場合の黒鉛炭素量を示し、第5圖 A はこの場合の窒素含有量を示した。曲線 B は試料を先づ窒素中で 1,100°C 迄加熱し、こゝで一酸化炭素に約 10% の窒素を混合せる瓦斯にて置換し各温

度に加熱したる場合である。曲線Cは一酸化炭素に約10%炭酸瓦斯を混合せる場合であるが炭酸瓦斯は1,200°Cに達せる時に一酸化炭素中に附加した。曲線Dは試料の表面の酸化鐵を除去せずその儘充分酸素を除きたる窒素中に加熱せる場合である。

以上の各曲線を見ると皆1,300°C迄は黒鉛炭素は増し、窒素は減少して居ること第1圖曲線Aと同様である。この事實から1,300°C迄の黒鉛炭素の増加は一酸化炭素の影響と考へられる。曲線Dの場合はその酸化鐵は試料中の炭素の爲めに還元され、その結果一酸化炭素を内部に發生せるものと考へられる。又酸化鐵及び炭酸瓦斯を附加せる場合に限り1,350°乃至1,400°Cに於て黒鉛炭素の減少を示して居り、窒素はこの間に著しく減じて居ることは第1圖曲線Aと同様である。従つてこの黒鉛炭素の減少は酸素の影響と考へられる。

曲線Eは第1圖曲線C、即ち窒素中の酸素を充分除去せる場合の曲線で比較の爲めに書き添へた。曲線Fは試料を豫め水素中に溶解して酸化鐵を除去して純粹にしたる後、曲線Cと同様に一酸化炭素と約10%炭酸瓦斯の混合瓦斯中に加熱したる場合の黒鉛炭素を示すもので、黒鉛炭素は甚だ多く1,350°Cに於ける黒鉛の減少は起らない。然るにSi 0.08%の瑞典銑鐵にて全く同様の實驗を爲したるに第6圖に示す如く1,400°Cに於て著しい黒鉛炭素の減少を示した。この事實から珪素の多い銑鐵は酸素の影響を受けること少ないことがわかる。

以上の實驗結果から黒鉛炭素の變化は次の如く説明し得る。

第1圖曲線Aの場合には窒素中の酸素は比較的多い爲めに加熱中に酸化鐵を生じ、熔融銑鐵に於ける酸化鐵の溶解度は低温度に於ては甚だ少なく、不溶解の酸化鐵が多く存在すると考へられる。1,200°より1,300°Cの間の黒鉛炭素の増加はこの過剰の酸化鐵が炭素の爲めに還元されてその量

を減ずると共に一酸化炭素を發生する結果である。1,300°より1,400°C迄の黒鉛炭素の減少は熔融銑鐵中に於ける酸化鐵の溶解度の増加せる爲めで、1,400°C以上の黒鉛炭素の増加は高温の爲め酸化鐵の還元旺盛になり、その量を減ずると共に一酸化炭素を發生する爲めである。

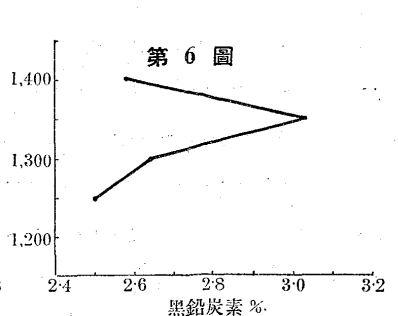
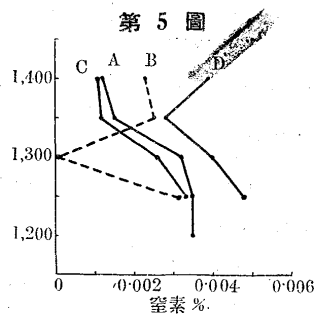
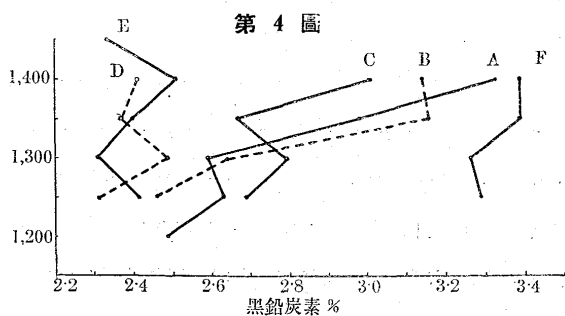
第1圖曲線Cの場合には窒素中の酸素は甚だ少ない爲めに加熱中に酸化鐵の生ずることが甚だ少ないので1,200°Cに於ては黒鉛炭素量は前の場合に比し著しく多い。温度上昇と共に熔融銑に於ける酸化鐵の溶解度は増し遊離の酸化鐵は溶解するため黒鉛炭素は減少し、1,300°C以上では炭素による酸化鐵の還元、及び一酸化炭素を發生するため黒鉛炭素を増す。曲線Aの場合には還元より酸化する方が多いので黒鉛は減ずるのである。1,400°C以上では酸化鐵が減少して一酸化炭素の發生極てめ少なく窒素の影響強く黒鉛炭素を減ずるのである。

要するに熔融銑中に入る酸素量と還元反應によつて失はれる量との差引結果と還元反應によつて内部的に發生せる一酸化炭素及び窒素の影響と考へられる。

3) 純炭素銑鐵に就ての實驗 第7圖A.A'曲線は玉鋼に砂糖炭を附加して作れる炭素3.4%の試料を窒素中に溶解せる時の黒鉛炭素及窒素量を示すものである。黒鉛炭素は1,350°Cに於て著しく減じて居る。これは前に述べた如く試料中に存在せる酸化鐵の爲めである。1,400°Cにて再び増加するのは炭素による還元作用の爲めである。BB'曲線は試料を豫め水素中に溶解して脱酸せる後窒素にて置換して加熱溶解せる場合で、1,350°Cに於ける黒鉛炭素の減少は無くなり、且温度の影響は殆んど無くなつた。

窒素量は玉鋼の如き良好なものはその吸収量少ないことは宮下工學士が本誌に於て發表された如くである²⁾、又脱酸せる方は窒素の吸収比較的多いことも前に述べた如くである。

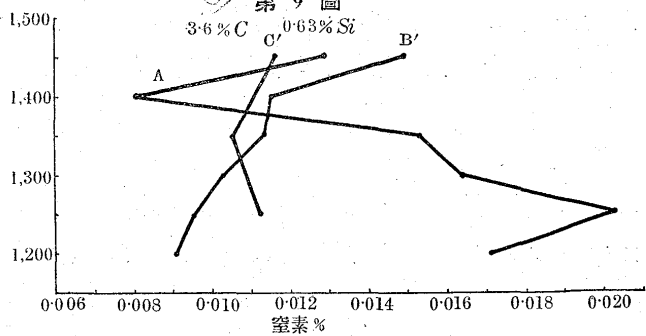
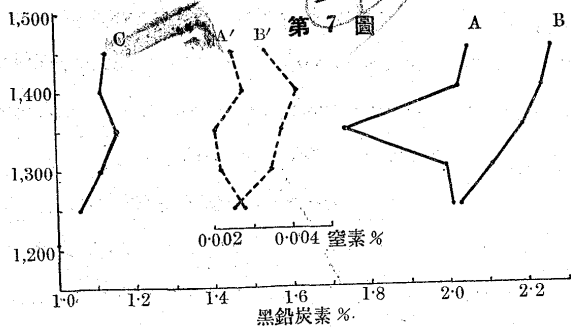
第7圖C曲線は電解鐵に砂糖炭と珪素とを附加して作つ



²⁾ 宮下、鐵と鋼 第21年1號

— 3 —
5.2 x 1.3 = 6.76

1.2. $5.3 \times 1.4 = 7.42$



た C 2.3% Si 1.8% の試料を豫め水素中に溶解して酸化鐵を除きたる後、窒素に置換して各温度に加熱溶解せる時の黒鉛炭素量を示す。之も溶解温度の影響は甚だ少ない。

圖は黒鉛炭素、第9圖は窒素量を示して居る。

酸化鐵が除かれた爲めに黒鉛量はA曲線の場合より増加した。酸化鐵が少ないので、1,200°C と 1,250°C との間の黒鉛炭素の減少は殆んど無くなつた。1,450°C では黒鉛の減少著しくA曲線の場合と殆んど同じ値になつた。

窒素曲線はA曲線の場合と全く變り、酸化鐵は除去されたので温度上昇と共に窒素量は増し、1,450°C に於て著しく増加を示した。

C 曲線は試料を更に一層長く水素中に加熱溶解して純粹にせる後、窒素にて置換して各温度に加熱せる場合の曲線である。黒鉛炭素は更に増加を示し、1,350°C に於ては 3.0% に達し顯微鏡組織 No. 1 に見る如くフェライトが多くあらはれてゐる。窒素曲線は温度による變化は著しく少くなり高温度に於ても増加を示さない。

銑鐵は純粹にする程黒鉛炭素は増し、窒素は一般に少くなる。

5) 結論 以上の實驗結果を纏めると次の如くなる。

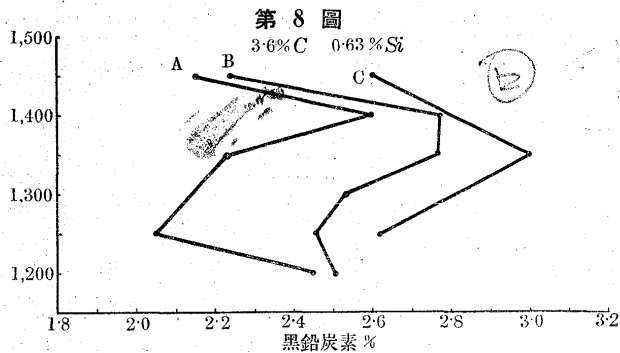
1. 窒素中にて加熱溶解せる場合の銑鐵中の黒鉛炭素と溶解温度との關係は窒素中に存在する微量の酸素、銑鐵の種類及び加熱時間等に依り種々に變化するもので銑鐵本來の性質では無い。

2. 窒素中に酸素量は比較的多い時は溶解温度 1,200°C では黒鉛炭素甚だ少ないが、これより 1,300°C 迄は増加し。これより 1,400°C 迄はその量を減じ、1,400°C 以上では再び増加する。

3. 窒素中に酸素量極めて少ない時は2の場合と反對になり 1,200°C では黒鉛炭素は2の場合に比し著しく多いがそれより 1,300°C 附近迄は減少する、それより 1,400°C 迄は再び増加し、1,400°C 以上では再び減少する。

4. 以上の事實を次の事項の綜合的結果として定性的に説明した。

a) 銑鐵の性質、即ち酸素及窒素に對する感受性 b) 窒



4) 炭素 3.6%, 珪素 0.63% 瑞典銑に就ての實驗 瑞典銑鐵に珪素を附加して作れる試料で成分次の如し。

C	Si	Mn	S	P
3.6%	0.63%	0.04%	0.007%	0.01%

本試料を窒素中に溶解せる結果は第8圖及第9圖の如くで第8圖は黒鉛炭素、第9圖は窒素量を示す。

A 曲線は試料をそのまま窒素中に溶解せる場合で、黒鉛炭素曲線と窒素曲線との形は全く反對である。黒鉛炭素は 1,200°C より 1,250°C 迄減少するに反し、窒素は却つて増加して居る。この窒素の増加は酸化鐵の量は甚だ少なく且低温の爲め分解されざる爲めである。黒鉛炭素の減少に就ては前に述べた。1,250°C より 1,400°C 迄は黒鉛炭素は増加し、窒素は減少し 1,400°C で最小となる。脱酸作用の結果、次第に酸化鐵を減ずると共に内部的に一酸化炭素の發生の結果、黒鉛炭素を増し、窒素は酸化鐵と反應してその量を減ずる。酸化鐵の量が少ないので分解は徐々に起つて居る。1,400°C 以上では酸化鐵は甚だ少くなり、一酸化炭素の發生は減じて窒素の影響は強くなり、黒鉛量を減じ窒素は増加する。

B 曲線は試料を豫め水素中に溶解し、その中の酸化鐵を除き、然る後窒素に置換して各温度に加熱せる場合で第8

素中の酸素の分壓 c) 試料の始めより含有する酸化鐵
 d) 熔銑の酸化鐵に対する溶解度 e) 試料の炭素による酸化鐵の還元反應 f) 加熱時間 g) 瓦斯の影響。
 還元の結果試料中に發生する一酸化炭素は微量にても黒鉛化を促進する。窒素は一酸化炭素に比すれば著しく黒鉛化を起さない。

要するに銑鐵中に存在する酸化鐵の量及びその溶解度並に瓦斯の影響である。

5. 銑鐵及び窒素共に純粹の時は熔解温度の影響は極めて少なく且窒素量も少ない。

6. 珪素の多い銑鐵は酸素の影響が少ない。

第2節 骸炭銑鐵の眞空熔解

著者は前論文に於て釜石骸炭銑を眞空中に長く熔融状態に保つ時は多量の黒灰色の粉末を發散分離して網狀微細共晶黒鉛組織となることを述べた。

其後この粉末並に眞空處理せる銑鐵の性質を見るために釜石骸炭銑約 150gr をマグネシア坩堝にてアルセン眞空爐を用ひて熔解した。熔融後間もなく瓦斯の發生を認めた。温度を 1,300°C に保持したるに瓦斯發生は約 20 分にして止んだ。そこで更に温度を上げたるに 1,500° 及び 1,650°C に於て瓦斯の發生するを認めた。かくの如く瓦斯發生は連續でないことは還元度の異なる酸化物の存在する爲めで高温度に於ける瓦斯の發生は坩堝材質の還元に基づくものであらう。冷却後坩堝の上端に灰黒色の粉末多量附着せるを認め、この粉末は銑鐵 500gr より約 0.9gr を集めることが出来た。

分析結果は次の如きものである但試料は各熔解温度に得たるものを全部合し

たものである。	SiO ₂	無	Mn	1.0%
銑鐵は網狀共晶黒	Al ₂ O ₃	2.5%	Cu	8.0%
鉛組織で全炭素の大	CaO	2.34%	Fe	46%
	MgO	10.0%	其他	S 存在す

部分には黒鉛炭素として分離して居る。

銑鐵の成分は次の如くである。

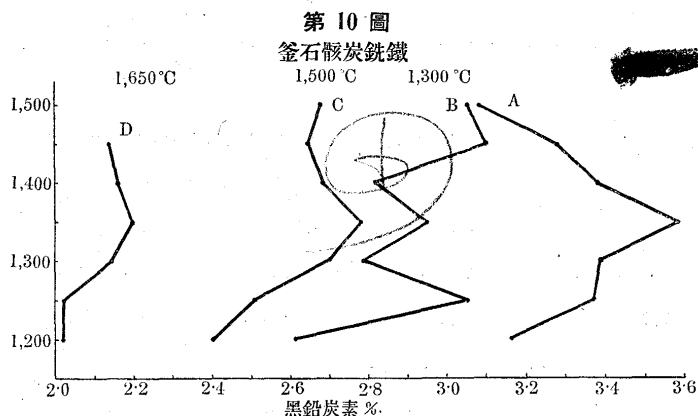
	釜石骸炭銑その儘	眞空熔解温度		
		1,300°C	1,500°C	1,650°C
全炭素	3.6%	3.59	3.34	2.7
黒鉛炭素	—	3.34	3.10	2.3
珪素	2.29%	2.28	2.34	2.33
マンガソ	0.37	0.25	0.26	0.15
硫黄	0.075	0.014	0.016	0.001
磷	0.38	0.40	—	—
銅	0.20	—	—	0.10

上表に於て、炭素は眞空熔解温度の高い程減少し特に 1,650°C のものは著しい。Mn, S, Cu も減少し特に 1,650°C のものでは S の減少著しく極めて微量となつた。Si 及 P は減少しない。

粉末中の Al₂O₃, CaO, MgO 等は主として坩堝材質より來れるもの、その他のものは主として熔銑より來れるものなることがわかる。従つて釜石骸炭銑は灰黒色の粉末が瑞典銑鐵に比し多いのは銑鐵中に Mn, S, Cu 等が多いためである。

釜石骸炭銑は黒鉛は長く發達し且熔融状態に於て表面張力弱く、流動性も悪いが、眞空熔解せるものは黒鉛も細く熔融状態に於て表面張力は大きで流動性も良好である。

次に眞空熔解せる銑鐵を窒素瓦斯中に熔解して黒鉛炭素と熔解温度との關係を試験して見た、その結果を第 10 圖



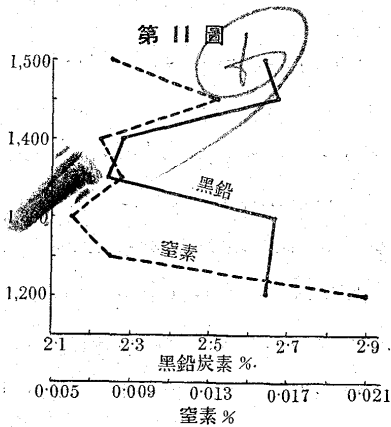
に示した。この場合に使用した窒素瓦斯は第 1 圖 A 曲線の場合と同様で窒素中の酸素の除去不完全である爲めにその曲線も同様の形である。

第 10 圖 A 曲線は眞空熔解せざるものに就ての實驗結果で 1,350° 迄は黒鉛炭素を増し、この温度では殆んど全部の炭素は黒鉛として存在して居る。その組織は黒鉛は非常に長く發達し、地は全てフェライトより成るものである。それより高温では次第に減じ 1,500°C に至るも逆轉の傾向を示さない。

B 曲線は 1,300°C に眞空熔解せるものに就ての實驗結果で、全炭素は殆んど變りが無いが黒鉛炭素量は著しく減じ又熔解温度の影響は大である。黒鉛組織は微細で表面は極めて滑かで熔融状態では表面張力も大である。

C 曲線は 1,500°C に眞空熔解せるものに就ての實驗結果で全炭素の減少僅かであるが黒鉛炭素の減少は著しく且熔解温度の影響は少なくなつた。

第 11 圖は同試料を一旦 1,500°C 迄加熱したる後爐中冷却して一旦凝固せしめ再び各温度に加熱したる場合で、黒鉛炭素は 1,300°C 迄は變りはないが 1,350°C 及び 1,400°C に於て著しく減少した。



これは第 1 節にて述べた如く酸素の影響である。

第 10 圖 D 曲線は 1,650°C に真空熔解せるもの、實驗結果で第 11 圖の曲線の場合と同様に加熱せる時の曲線であるが、1,350 乃至 1,400°C に於ける黒鉛炭素の異状減少はない。又熔解温度の影響は特に少なくなつた。

此試料は特に酸素及び矽素に對する感受性は少ないことが認められた。

以上の如く真空熔解せる試料では黒鉛炭素は減じその組織も微細となり且熔解温度の影響も少くなる。これは真空熔解によつて鉄中に浮遊せる硫化マンガン、珪酸鹽其他の不純物が分解又は發散する爲めであらう。これ等の不純物は比較的熔解温度は高く低温の熔鉄中には不溶解のまゝコロイドの状態で存在して之が凝固の際に黒鉛の核となり黒鉛を發達せしめる。

骸炭鉄は熔爐中で多量のしかも種々の不純物を含む骸炭灰と高温に於て相接觸する爲めに、これ等の不純物が多量に熔解又は混入せる濁れる鉄である。木炭鉄は比較的濁りの少ない鉄である。

骸炭鉄と木炭鉄との區別は丁度不純の水銀と純粹の水銀とがその流動性及び表面張力に大なる差異あるが如きものと考へる。

Piwowsky, Hanemann, Bardenheuer Zayen その他の人々によつて黒鉛核説が唱へられた。これは鉄中の黒鉛は 1,400° 乃至 1,500°C に加熱せざれば全部熔解せず一部の黒鉛はコロイドの状態にて存在しこれが凝固の際に黒鉛結晶の核となり黒鉛を發達せしめ、1,400 乃至 1,500°C 以上に加熱する時は黒鉛は全部熔解し凝固の際には過冷の現象を呈し従つて黒鉛組織は微細になると云ふのである。

然し純粹の鉄は真空熔解又は其他の方法によれば

1,200°C の低温にても短時間に微細な共晶黒鉛組織となる、又最近 Piwowsky³⁾ も鉄中に於ける黒鉛炭素の熔解速度に就て實驗し黒鉛は低温にて速かに熔解することを認めた。これ等の實驗結果は黒鉛核説の誤謬を指摘するもので、黒鉛核として作用するものは黒鉛では無く鉄中に存在する不純物で之が低温では熔解せずコロイド状態にて存在し凝固の際に黒鉛發生の核として作用し、高温に於てはこれが熔解して過冷の現象を呈し黒鉛は微細化し又後節に述べるが如くパーライト組織が多くなるのである。

第 3 節 黒鉛化現象

1) 網状組織發生の機構 鉄を熔融状態にて真空中に長く保持する時は網状共晶黒鉛組織を得る。この組織は試料を豫め水素中に加熱熔解したる後真空にする時は比較的容易に得られる、又瑞典鉄の如き純粹のものでは、水素中に熔解し、水素を一酸化炭素にて置換したのみでも又水素を真空ポンプにて除去したのみでも容易に此の組織が得られる。但この時真空度は 0.1^{mm} 以下でないとき水素の影響が残り、この組織は得られない。一酸化炭素は固體鉄中には殆んど熔解せざる故に凝固の際に全部逃遁し、一酸化炭素にて水素を置換することは恰も真空ポンプを使用して水素を除去すると同様な効果あるものと考へられる。

顯微鏡組織 No. 2 はこの組織で殆んど全部は共晶黒鉛とフェライトより成り、共晶黒鉛の集團と集團との間に黒鉛の稍長く發達せる部分は肉眼にて網の絲の部に於ける所でこの部分にはパーライトが存在して居る。

この網状組織發生の機構を見る爲めに瑞典鉄 (Si 0.08%) を水素中に熔解したる後一酸化炭素にて置換した後種々の冷却速度で凝固せしめその組織を見た、第 12 圖は

或る速度にて冷却した試料の破断面のスケッチで内部に白鉄組織を有する網状共晶黒鉛組織である。白鉄組織は丁度共晶黒鉛集團の間に、丁度網の絲の部に沿うて存在して居る。この顯微鏡寫眞 No. 3 はこの組織で白鉄部は明かにレーデビュライト組織である。

又瑞典鉄に燐を加へるとこの網状組織は容易に得られステダイトはこの網の絲の部に集るを見る。これ等の事實

³⁾ Piwowsky, Archiv. Eisenhütt. Jan. 1934 S. 427.

から網の絲の部は明かに最後に凝固せる部分なることが解る。

銑鐵が不純になる程この網の絲の部は廣く發達し遂には全部この部分のみより成るに至る。而してこの部分には共晶黒鉛は發生せず黒鉛は長く發達する。

網狀微細共晶黒鉛組織發生の機構は次の如くである。

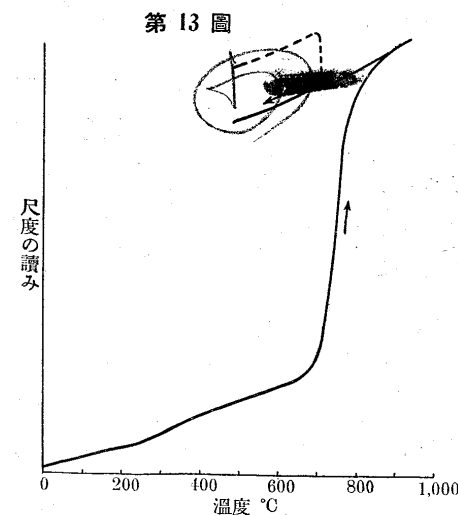
融液が凝固にあたり先づ初晶が結晶し、次に共晶黒鉛集團が發生し、最後に残れる不純物の多い液體はその周圍に凝固して網狀を呈する。

2) 凝固後の黒鉛化現象 窒素中にて熔解せる試料にて黒鉛炭素少なく當然オーステナイトより分離せるセメントの存在が豫想されるやうな試料でも顯微鏡にてセメントが認められない。而して黒鉛炭素の少ない物程、褐色を呈するソルバイト的組織が多くなる。この組織は A_1 點附近を徐冷すると黒鉛とフェライトに分解する。水素中に熔解せるものも同様で顯微鏡組織 No. 4 はこの組織で黒鉛片は長く發達しその所々に附着せる黑色に見ゆる所はこの組織で顯微鏡下では褐色を呈する。地は全くパーライト組織である。

これ等の瓦斯が酸素を或る程度含有する時に遊離セメントがあらはれる。

共晶黒鉛の集團の部は可なり急冷してもフェライトである。特に真空中にて凝固せしめる時は特にこのフェライト發生速度は大である。この事に就ては又後に述べる。

このフェライトは勿論オーステナイトより變化せるもので凝固後冷却の途中オーステナイトの状態では焼入れた試料はマルテンサイト組織でフェライトは見えない。1,050°C 附近より焼入れた



試料はマルテンサイトの地に極めて微細な共晶黒鉛が存在する組織で破断面は恰も焼入れた特殊鋼の如く緻密で破断頗る困難で強靱なるものである。

顯微鏡組織

No. 5 は約 730°C より焼入れたものでマルテンサイト組

織を呈して居る。680°C にて焼入れたものは殆んど全部フェライトになつて居る。

瑞典銑鐵にて網狀共晶黒鉛組織を得る時の如く處理して凝固冷却の際に A_1 變態點より僅か高温度にて水素を通じて冷却せる試料の組織は全部パーライト組織である。第13圖は珪素 1.5% の銑鐵を金型に鑄造せるものを熱膨脹計にて加熱冷却せる時の曲線で普通冷却曲線に於て A_1 點に於て二次黒鉛化の爲めに同圖點線の如く異狀膨脹を起すものであるが水素中に於ては實線の如く殆んど膨脹が起らない即ち水素中では A_1 點に於て黒鉛化が起らないことを示す。

窒素は水素に比すればその作用甚だ微弱で凝固後は窒素を通じて二次黒鉛化には影響は無い。然し窒素中で熔解せるものはやはり二次黒鉛化速度を小にする。窒素中で熔解せるものも A_1 變態點附近を少しく徐冷すると黒鉛化が進行する。顯微鏡組織 No. 6 は1分に1度の割合で冷却せる時の組織で黒鉛化がよく進行しフェライトの粒子がよくあらはれて居る。窒素中で熔解せる故に黒鉛片は長く發達して居る。

長大なる黒鉛片の兩側にフェライトを有する組織は實地上屢々見るもので顯微鏡組織 No. 7 はこの組織である。この發生の機構も A_1 變態點に於ける黒鉛化現象であつて、その前後に於て焼入れて見れば解る。この組織は實驗的に容易に作る事が出来るもので、前述の網狀共晶黒鉛組織を作る時と同様に處理し唯凝固點を徐冷して黒鉛を長く發達せしめればよい。不純物が少ない爲めに A_1 點にて黒鉛化が進行し黒鉛のまはりがフェライトになるのである。

以上述べた如く酸化鐵の極めて少ない且瓦斯を含まない銑鐵では凝固後の黒鉛化はよく進行しオーステナイトより分離せるセメントの結晶は見られない且 A_1 點に於ける二次黒鉛化速度も大なるものである。この事實から鐵-炭素二元系平衡圖の安定平衡圖の如くオーステナイトより黒鉛炭素が分離することが明かである。

3) セメントの生成に就て 著者は前に僅かの酸素を含む窒素中で銑鐵を 1,350°乃至 1,400°C に加熱する時は爐内冷却によつても外周は黒鉛組織で内部に白銑組織を有するものを得た、又珪素の多いものでも窒素中の酸素の量を増し且冷却速度を少しく増す時はやはり同様の組織を得た⁴⁾。

⁴⁾ 著者 鐵と鋼第 15 年第 10 號



この事實は第1節に述べた如く酸素を少しく含有する窒素中で加熱する時は、1,400°C 附近で黒鉛炭素が最小となる事實と符號し、この酸素の量がそれより多い時は白銑組織を内部に有するやうになる。この組織は勿論冷却速度に影響するものなれど酸素は白銑組織の生成に與つて力あることを示すものである。又實地に於て酸化した銑鐵を溶解せる熔銑は白銑鐵になる傾向のあることも同様の理由に基くものである。

次に凝固附近を急冷して白銑組織生成に及ぼす瓦斯の影響に於て實驗を試みた。一方閉ぢたる石英管中に瑞典銑鐵 (0.08% Si) を入れ、先づ水素瓦斯中加熱溶解して純粹にしたる後一酸化炭素にて水素を充分に置換したる後冷却し、1,180°C 附近より電氣爐をづらして石英管を爐外に出して空中冷却を爲した。凝固熱の爲めに明かに發光を認めた。試料は全く白銑組織で表面は頗る滑かで光澤ある銀白色を呈し、その破断面は丁度焼入れた特殊鋼の如く極めて緻密にて一様な組織である。顯微鏡組織 No. 8 はこの組織を示し一見炭素鋼の如き組織を呈し白地はセメタイト黒地はパーライトである。かくの如く一様な組織である爲めに頗る靱性に富み破断頗る困難なものである。

前と同様に充分水素にて純粹にした後窒素にて充分に水素を置換して前と同様に急冷した。この場合も凝固時に發

光を認めた。試料は表面に極めて薄い黒鉛層を有し、その内部は全く白銑組織である。又水素中にて同様の實驗をしたが窒素の場合と全く同様のものを得た。

次に前と同様に充分に水素にて純粹にしたる後、眞空中にて急冷した。凝固の際に發光を認めず。試料は全く網狀共晶黒鉛組織にて共晶黒鉛の部分は殆んど全部フェライトである。かくの如くかなりの急冷にもかかわらず共晶黒鉛部のオーステナイトの分解は殆んど完了して居る。

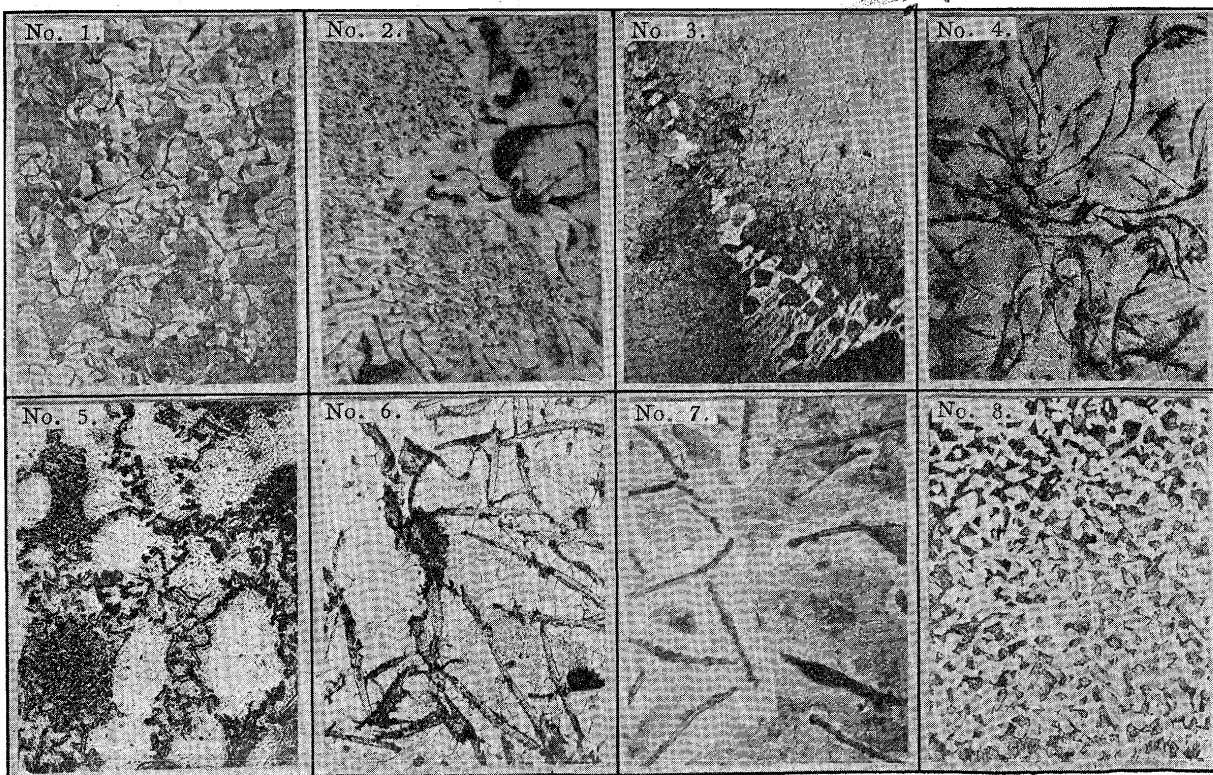
不純物及び瓦斯を含まない熔銑は可なり急冷しても白銑鐵には成り難い。酸素の極めて少ない水素又は窒素中で溶解せるものは可なり急冷しても表面には薄い黒鉛層を生ずる。一酸化炭素中で急冷する時は全く白銑組織で表面にも黒鉛層は生じない。急冷の時は一酸化炭素は却つて白銑の生成を促進する。

酸素は白銑の生成を促す。

4) 黒鉛片の發達 共晶黒鉛は可なり緩冷しても黒鉛片は發達すること少ない。然らざるものは緩冷によつて黒鉛片の發達は著しい。水素は黒鉛片を發達せしめることは特に著しく、窒素はそれに比すれば著しくない。一酸化炭素は試料が不純の時は黒鉛片を棒狀に長く發達せしめるか純粹の試料では共晶黒鉛を作る。顯微鏡組織 No. 4 は水素中に溶解せるもので黒鉛は長く發達せるを見る。

第 14 圖 顯 微 鏡 組 織

×150



32vt03/60

これ等黒鉛の發達は凝固後は極めて少ない、主として凝固時又は凝固直下の溫度に於て發達する。

第4節 總括

以上各節に述べたる所を要約すれば

- 1) 黒鉛化に及ぼす溶解溫度の影響は鉄鐵本來の性質では無く、鉄鐵中の酸化鐵及び瓦斯中の酸素の分壓により種々變化するもので純粋な鉄鐵と純粋なる瓦斯中で溶解する時は溶解溫度の影響は殆んど無い。Piwowarsky の説即ちセメント生成の實熱量は 1,400°C 乃至 1,500°C 附近で吸収より發熱に變ると云ふ説は間違である。
- 2) 窒素中に溶解せる試料に就て、その黒鉛炭素量の變化は、試料中の酸化鐵含有量の變化、その溶解度並に還元によつて生ずる一酸化炭素、及窒素の影響として説明した。
- 3) 鉄鐵の窒素は酸化鐵によつて分解される。従つて鉄鐵が脱酸される程窒素含有量は増加する。
- 4) 玉鋼の如き良好な鐵より作つた鉄鐵は窒素の吸収少なく且溶解溫度の影響は極めて少ない。
- 5) 炭鉄鉄鐵を高溫で真空溶解するとその性質は改善される。1,650°C のものは酸素及び窒素に對する感受性少な

かつた。

- 6) 黒鉛核説は妥當でない。
 - 7) 網狀共晶黒鉛組織の網の絲の部は最後に凝固せる部分である。
 - 8) 純粋なる鉄鐵では鐵—炭素系平衡圖の安定系に従ふ。純粋な鉄鐵を溶解し真空中に凝固せしめる時は可なり急冷しても白鉄組織は得られない。網狀共晶黒鉛組織となる。
 - 9) 酸素のない純粋なる水素又は窒素中に溶解せる試料では可なり急冷しても白鉄組織は出來難い。又オーステナイトより分離せるセメントは見られないが A_1 變態點に於ける黒鉛化速度を小にしてパーライト組織を作る。水素は特に著しい。
 - 10) 窒素特に水素は黒鉛の發達を促す。
 - 11) 黒鉛の周圍にフェライトを有する組織は Ar_1 點に於ける黒鉛化の爲めである。
 - 12) 酸素は白鉄組織及びセメントの生成を促す。終りに工學士鈴木千代藏君の御助力に對し感謝の意を表す。
- 本研究に對し研究費補助された財團法人啓明會に對し感謝の意を表す。

鋼の剪断力に就て

(日本鐵鋼協會第 15 回講演大會講演)

太田 雞 一*

SHEARING PROPERTIES OF STEELS.

By Keiiti Ōta.

SYNOPSIS:—The writer measured the shearing strength of carbon and alloy steels in their heat-treated conditions having the tensile strength 40~220 kg/mm² (25~140 ton/in²) and obtained the following results:

- i) The shearing strength had a close relation to the tensile strength and was given by the formula (1).

$$S = 10 + 0.58 R \dots \dots \dots (1)$$

Where S = Ultimate shearing strength in kg/mm²,
 R = Ultimate tensile strength in kg/mm².

The above formula was applicable not only to various steels but also to cast iron and non-ferrous metals.

- ii) The ratio of shearing strength to tensile strength varied from 0.60 to 0.85 according to compositions and heat-treatments of steels and was generally proportional to Charpy impact value.

1. 緒言

鋼の剪断力と他の材力、特に抗張力との關係は古くから研究されてゐるが、區々な結論になつてゐて定説と見るべ

きものがない。大體分類して見ると、相當韌性に富む材料では剪断力と抗張力との比は一定であると云ふ説と、成分及熱處理によつて廣い範圍に變はるから一つの關係式で表はすことは出來ないと云ふ説とに分れる。吾々が工業常識として、鋼の剪断力は抗張力の 70% 位である程度の考し

* 日本製鋼所室蘭工場