

電氣爐銑の二三の性質に就て

(日本鐵鋼協會第 23 回講演大會講演 昭 15.4 於東京)

杉 正 道*

THE MELTING OF CAST IRON BY ELECTRIC ARC FURNACES

Masamiti Sugi

SYNOPSIS:—It is a well known and yet unsolved problem that physical properties of a lot of cast iron produced from an electric arc furnace considerably differ from those of other lots even if chemical composition of the melted metal as well as casting condition be the same throughout. To the author's knowledge there has been hardly reported so far on the cause of this difficulty. He undertakes, taking advantage of his long years' experience, to throw a light on the treatment of cast iron by electric arc furnaces, with a view to set up the most dependable and economical practice for manufacturing high grade and uniform cast iron work by the use of electric furnaces.

From the results of several experiments, the author has gathered very useful conclusions, and the following would be considered to be the most important: (1) The rate of graphitization of cast iron is multiplied to a remarkable extent when it is undergone the deoxidation in an electric furnace; (2) The rates of both primary and secondary graphitizations are also multiplied when the cast iron which is intended for malleable iron is undergone the same treatment.

I 緒 言

弧光式電氣爐により鑄鐵を熔製するとき、その熔解操作又は原料の相異によつて、同一化學成分、同一鑄造條件に於ても、製品の物理的性質が非常に異つたものゝ出来る事は周知の困つた問題である。この理由に關しては研究發表が極めて少い。筆者は多年可鍛鑄鐵の電氣爐熔解に従事せる經驗により、工業的に優秀均質なる製品を廉價に製作し得せしむる電氣爐熔解法を研究した。本實驗に於ては、脱酸精鍊により熔解されたる鑄鐵は、黒鉛化速度極めて速くなり、同様可鑄鑄鐵用白銑も、その焼鈍作業に於て1次及び2次黒鉛化共に促進される事實を證明せるものである。

II. 實驗その 1.——灰鑄鐵の電氣爐による脱酸熔解

酸性 2 噸電氣爐にコークス銑及び鋼屑と少量のマンガニ鐵を裝入何等の鑄滓を用ひず電壓 100 V にて熔解し、熔銑の溫度 1500°C になるを待つて第 1 表試料第 1 を採取、次に熔滓を十分除去したる後、脱酸用鑄滓(石灰石粉 20 kg, 螢石粉 15 kg, コークス粉 10 kg の混合物)を添加後 20 mn にして採取、その後も溫度 1500°C 前後に保持 20 mn 後第 3 採取、第 4 は第 3 採取後再び熔滓を除去、前記脱酸滓を作り、電壓 70 V に落し 20 mn 後に採取せるものである。第 1 表に示す如く、化學成分には殆ど變化なきにも拘ら

ず、脱酸の進行に伴ひ黒鉛炭素増加し、抗張力は非常に落ちて來る。以上の實驗成績は特徴を示す代表的なるものであるが、これに近き現象は酸性及び鹽基性いづれにせよ、電氣爐で鑄鐵を熔解する人々の均しく認むる所である。而して試料第 1 に屬するものは、一般に抗張力、横壓抗力、磨耗抵抗大なれども撓み少く、衝擊抗力弱く、熱傳導率悪く、その組織は微細なる黒鉛片を一様に持ち、極めて目の

第 1 表

試料 番號	化 學 成 分									鑄 滓 成 分			
	T.C	C.C	Si	Mn	V.S	O.S	P	N ₂	SiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃	抗張力 kg/mm ²	
1	3.00	0.88	2.20	0.73	0.038	0.073	0.25	0.0032	54.50	25.20	7.00	32.2	
2	3.07	0.75	2.30	0.65	0.036	0.065	0.22	0.0040	36.38	48.30	2.07	30.7	
3	3.17	0.67	2.27	0.68	0.048	0.062	0.28	0.0064	34.53	46.68	2.30	22.4	
4	3.22	0.55	2.37	0.62	0.045	0.058	0.31	0.0080	28.50	52.33	1.20	17.2	

T.C 全炭素量, C.C 化合炭素量, V. S 發生珪硫黃量, O.S 酸化法硫黃量.

細かいパーライトの地で、黒鉛片とは何等關係のない遊離のセメントイトの存在がある。第 2, 第 3 と進むに従ひ、地のパーライトの目は荒くなり、微細なる黒鉛の外に、別種の長大な黒鉛片が新しく現れ、フェライトがこの黒鉛の周圍に漸次發達して來る。而してこれの共晶溫度を測つて見るに、試料第 1 に屬するものは共晶溫度明瞭に現れるが、第 4 に屬するものは、明瞭に認める事が出来ない。而して試料第 1 に屬する鑄鐵は鑄造作業に於て性質非常に悪く所謂 引け多く、チルを生じ易く、湯流れ悪く多くの不良品の原因を作るもので、電氣爐製鑄鐵が鑄物作業に嫌

* 日立製作所戸幡工場

はれる主なる理由である。故に電氣爐にて鑄鐵の性質の良いものを作るには、炭素及珪素を低くし、十分に脱酸精錬されたものでなければならない。

III. 實驗その2——材料の變化による影響

電氣爐以外の熔解爐即ち熔鐵爐又は反射爐にて鑄鐵を熔製する場合は、その原料の吟味が製品の性質に直ちに影響するものであるが、電氣爐で熔製するときは、如何なる影響があるかを知るために實驗せるもので、第2表試料第1は良き材料として、瑞典銑(T.C 3.7%, Si 2.5%, Mn 0.52%, P 0.054%, S 0.22%) 50% と電氣爐白銑(T.C 2.6%, Si 1.0%, Mn 0.3%, P 0.16%, S 0.06%) 50% を用ひたるもので、第2は不純物の多いと考へらるゝ本邦産銑(T.C 3.6%, Si 2.6%, Mn 0.4%, P 0.12%, S 0.032%) を50% と、前記白銑を50% 用ひ、第3は銑鐵を少しも使用せず、鋼屑にコークス粉、珪素及マンガン鐵を添加幾回も脱酸滓により精錬して得たもので、高級銑鐵を使

第2表

試料 番號	T.C	C.C	Si	Mn	V.S	O.S	P	抗張力 kg/mm ²
1	3.12	0.58	1.82	0.52	0.028	0.033	0.10	23.4
2	3.07	0.46	1.96	0.40	0.037	0.048	0.12	22.8
3	3.20	0.56	2.10	0.64	0.045	0.064	0.09	21.5

用せる量に比例して精錬作業の難易は非常に出来るが、高級銑を多く用ひたるも、悪い材料を入念に作業して得たるものとの性質の差は結果として分明出来ない。これは電氣爐獨特の性能によるもので、良き材料も幾分その性質を失して悪くなり、悪き材料は十分に善くなつて、その相異を認める事が出来ないものと考へられる。

IV. 實驗その3——酸化熔解による白銑

脱酸熔解と反對の目的で、常に爐中を酸化状態に保ちつゝ、原料は電氣爐製白銑を用ひ、鹽基性電氣爐にて熔解せるものを、基礎に、順次にこの上に珪素鐵を加へて第3表に示す如き高珪素の白銑を得た。この試料は普通可鍛鑄鐵用試験片と同様に生砂型に鑄造せるもので、冷却速度は勿論相當早きものであるが、兎に角完全なる白銑である。表中抗張力とは、白銑の試料を燒鈍黒鉛化せる可鍛鑄鐵のもので、G₁ は第1段黒鉛化時間、G₂ は第2段黒鉛化時間を示すものである。

以上實驗(その1及實驗その3)より考へるに、電氣爐にて鑄鐵を熔製する場合、その熔解作業の相異により、普

通に分析する化學成分以外のものが増減して、これが鑄鐵の黒鉛化に影響を示すものではないかと考へられる然らばそれが何であるかを考案するに、銑中の酸素が有力なるもの様に思はれる。

先づ上記各表に示せる硫黃の分析値を見るに、酸化法、即ち重量法にて得たる硫黃の値は作業の如何に關係少く殆んど變化はないが、發生法即ち容量によるものは、脱酸の程度により即ち酸化物少しと考へられるもの程、高い値を

第3表

試料 番號	T.C	Si	Mn	V.S	O.S	P	抗張力 kg/mm ²	伸 %	G ₁ h	G ₂ h
1	2.40	1.20	0.20	0.042	0.075	0.165	36.8	16.0	12	21
2	2.18	2.12	0.20	0.026	0.072	0.164	42.7	13.2	6	8
3	2.26	2.8	0.22	0.032	0.077	0.170	39.4	10.5	3	6
4	2.26	3.65	0.22	0.028	0.088	0.180	28.2	6.5	2	7
5	2.15	4.55	0.25	0.023	0.087	0.140	24.5	4.0	2	7

示し、酸化法によるものとの差が少くなつてゐる。これは銑中の硫黃の状態により、硫黃が酸化されて存在する場合は、硫酸鹽(Sulphate FeSO₄, MnSO₄)の貌を採り、脱酸された場合は、硫化物(Sulphite, Sulphide FeS, MnS)に變化する様に考へられる。故にこれを利用して逆に、鼠銑及白銑の酸素を推知し、黒鉛化速度の遲速を知る尺度となり得る様に考へられる。以上鑄鐵の熔解に於て、脱酸作業が製品の黒鉛化に影響するとすれば、當然白銑の熔解に於ても、同様の事が起きると考へられる。この白銑の黒鉛化の難易は、我々可鍛鑄鐵の熔解に従事するものに重大な關係を有するので、電氣爐による白銑の研究をした。

V. 實驗その4——電氣爐による白銑の脱酸熔解

先づ熔解中に酸化される白銑が、實際その燒鈍作業にて黒鉛化に影響するや否やを知るために次の實驗をした。第4表試料第1は電氣爐白銑材料1kgをタンマン爐にて熔解せるもの、第2は試料1kgに1gの酸化鐵を添加

第4表

試料 番號	C	Si	Mn	V.S	O.S	P	G	G ₁	G ₂
1	2.68	0.89	0.22	0.046	0.080	0.088	2h-30	17h-30	50h-0
2	2.74	0.73	0.22	0.046	0.071	0.100	7h-0	34h-30	57h-0
3	2.83	0.90	0.24	0.045	0.058	0.104	1h-0	8h-0	14h-0

(G 黒鉛化開始迄の時間, G₁ 第1段黒鉛化時間, G₂ 第2段黒鉛化時間)

熔解後、取鍋に再び1gの酸化鐵を入れ酸化させたるもの、第3は鑄滓として石灰石50gを熔解後入れて約1hをその温度に保持せるもので、比較的酸化物の多いも

のである。これ等は砂型に鑄造後、熱膨脹計にて黒鉛化速度を測定した。試料第2は酸化鐵の添加により、珪素は幾分減少を見るも、第1及第3の數値と比較して、明瞭に酸化物の黒鉛化に對する影響が考へられる。これにても發生法と酸化法の、硫黄の比が黒鉛化と平行して居る。この白銑の場合は高温度で、不安定な硫酸鹽が硫化物に變化し、酸素を發生するために ($MnSO_4 \rightarrow MnS + 2O_2$) 黒鉛化に影響をもつものであるとも考へられる。この變化は白銑を燒鈍し可鍛鑄鐵になりたるものは、發生法によるも酸化法によるも、その差が尠くなり、白銑を酸化法により得たる値に近似して來る事からも頷ける事である。

以上の諸事實により銑中の酸化物が、黒鉛化に悪い影響がある事が明瞭になつたので、實際工業的作業に於ける電氣爐製白銑の各種に付き、その性質を比較實驗して見た、この實驗にては、普通の分析値以外に、上記發生法と酸化法の硫黄及酸素と關係あり、又自身黒鉛化に影響があるので珪素の量を上げた。次に表中 R にて示せる値は、主に珪酸で、鋼中の珪酸量を檢する場合と同様の方法を探つたものであるが、鑄鐵の場合は炭素及珪素が多量に存在するため、種々の方法を比較の結果、試料 5g を ($CuCl_2$ 85g, HCl conc. 50cc, NH_4Cl 53g, H_2O 450cc) の試薬中で常温 1 週間攪拌溶解する方法を探つたもので、これは

顯微鏡下に認められる微細なる不純物の量とよく一致する。この不純物は白銑のときは認める事が困難であるが、可鍛鑄鐵となりたる後はよく認められるもので、十分に脱酸されたるものには認められない。故にこの R の量により熔銑の酸化の程度を知り、同時に普通分析での、珪素量の中で、固熔體となり居る、黒鉛化に有效な珪素の量を推知し得る様に考へるので特に掲げた。この他黒鉛化時間の外に可鍛鑄鐵になりたる後の抗張力と伸を示した。

第5表 酸性電氣爐

試料 番號	C	Si	Mn	P	V.S	O.S	R	N ₂	G ₁ h	G ₂ h	抗張 力 kg/ mm ²	伸 %
1	2.63	1.18	0.25	0.195	0.030	0.087	0.424	0.0080	10	28	41.7	19
2	2.65	0.85	0.25	0.198	0.040	0.087	0.352	0.0074	12	32	39.9	16
3	2.61	0.87	0.26	0.211	0.056	0.081	0.132	0.0140	7	16	36.5	11
4	2.43	0.81	0.25	0.202	0.057	0.089	0.164	0.0120	8	18	38.9	12

第5表のものは酸性電氣爐に冷材を装入して、普通の黒心可鍛鑄鐵用白銑を、普通の作業状態で熔解せるもので、硫黄の含有量比較的多く、窒素及不純物も多くて、黒鉛化速度も割合に遅くはあるが、前述發生法と酸化法による硫黄の差の小なるものは、R の量も少く、窒素含有量より見るも、脱酸されたと考へられるものは黒鉛化は早くなつて居り、黒鉛化早きものは、抗張力及伸が悪くなつてゐる。

第6表は熔鐵爐よりの熔銑を 80%、鋼屑を 20%、酸性

第6表 熔鐵爐と酸性電氣爐の二重熔解

試料番號	C	Si	Mn	P	V.S	O.S	R	N ₂	G ₁ h	G ₂ h	抗張力 kg/mm ²	伸 %
1	2.57	0.92	0.26	0.180	0.027	0.066	0.224	0.0078	9	22	40.5	14
2	2.50	0.92	0.27	0.178	0.047	0.086	0.182	0.0065	10	20	38.2	12
3	2.67	0.85	0.25	0.182	0.048	0.071	0.124	0.0085	6	18	34.5	10
4	2.51	0.84	0.25	0.190	0.060	0.086	0.162	0.089	8	18	34.5	9

第7表 鹽基性電氣爐

試料番號	C	Si	Mn	P	V.S	O.S	R	N ₂	G ₁ h	G ₂ h	抗張力 kg/mm ²	伸 %
1	2.56	1.10	0.27	0.158	—	0.018	0.180	0.0040	5	15	32.0	9
2	2.53	0.90	0.27	0.132	—	0.017	0.144	0.0020	6	12	35.4	13
3	2.50	0.77	0.25	0.162	—	0.026	0.160	0.0026	7	18	35.8	11
4	2.51	0.68	0.28	0.156	—	0.016	0.138	0.0027	7	15	28.4	8
5	2.54	0.54	0.24	0.162	—	0.015	0.100	0.0038	11	35	38.9	18

第8表 瑞典鐵を用ひた酸性電氣爐

試料番號	C	Si	Mn	P	V.S	O.S	R	N ₂	G ₁ h	F ₂ h	抗張力 kg/m ²	伸 %
1	2.72	0.87	0.36	0.12	0.038	0.045	0.190	0.0065	8	15	32.5	10
2	2.65	0.84	0.42	0.13	0.042	0.066	0.160	0.0074	8	18	34.2	11

第9表 フルミナ爐

試料番號	C	Si	Mn	P	V.S	O.S	R	N ₂	G ₁ h	G ₂ h	抗張力 kg/m ²	伸 %
1	2.64	0.98	0.31	0.14	0.023	0.081	0.184	0.0022	6	25	31.9	13
2	2.31	1.17	0.17	0.15	0.028	0.045	0.247	0.0055	13	25	40.5	22

電氣爐に裝入して熔解せるもので、この場合も殆ど同様である。第7表は鹽基性電氣爐の冷材熔解のもので、硫黄は極めて少量、窒素も R も少くなつてゐる。この窒素の減少は面白き事實で、理論としては、矛盾せる様に考へられるが實際に減少して少量となる。従つて總體に黒鉛化速度も早くなつて居るが、この場合も同様の法則が成り立つ。第8表は上等の材料を使用する意味で、瑞典銑を酸性電氣爐にて熔製せるもので、第9表は重油回轉式フルミナ爐にて作つたもので、何れも同様の事が言へる。

以上の各表を通覽するに、その熔解方法及材料が違ふので、成分が全然異つて來るため、これを各個に比較する事は出来ないが、黒鉛化早きものは、組織より見ても、説明の必要もなく明瞭なる如く、その抗張力及伸は一般に悪い様である。

VI. 結 論

結果を綜合するに次の事は斷定が出来る。脱酸されて酸化物の少くなつた鑄鐵は必ず黒鉛化速度は早く、黒鉛化速度早き鑄鐵は必ず抗張力は弱い。故に鑄鐵を電氣爐にて熔解する場合は、何れの熔解方法に於ても何等かの脱酸性の

礦滓を用ひて精鍊をなし、その成分に應じ、その熔解方法に於ける安定點に達せしめねばならぬ。即ち酸素の影響を最少の點に持來らさねばならぬ。その尺度には、發生法と酸化法による硫黄の分析値の差及珪酸の量が、最小に安定する所まで行かねばならぬ。この點に達する迄は、熔銑は變化の途中にあるもので、従つて製品の物理的性質も不安定で、工業的にも均一な優良なものとは言へない。普通電氣爐にて鑄鐵に加炭する事は面倒であるが、この點に達すれば、鑄滓の上にコークス粉を投入する事により、希望通り容易に増加する事が出来るし、マンガン及磷も鑄石を添加する事で増加出来る。この方法にて電氣爐で熔製せる鑄鐵は熔鐵爐又は他の方法にて作りたる同成分のものに比し、黒鉛化早く従つて軟かきものが出る事になるので、十分に炭素、珪素を低くせねばならない。然し必要に應じては酸化物を添加して黒鉛化の遅い、黒鉛片の小さい所謂硬きものも自由に作る事が出来る。白銑の場合も全く同様で、炭素珪素を低くして、黒鉛化の速きものも出来る。而して、以上の方法にて作りたる鑄鐵は、鑄造性よく、他の物理的性質もよい、これらの點及脱酸方法の理論機構に關しては、尙研究中で發表するに至らないのは残念である。