

技 術 資 料

フェロアロイ製造の最近の技術について*

塩 谷 周 三*

New Technical Developments in Ferro-Alloy Production.

Shūzo SHIOTANI

I. 結 言

わが国におけるフェロアロイの製造は、その原料資源をほとんど国外に求め、かつ比較的高価な電力を使用しながら、国際市場に販路を求めざるを得ない。従つて経済的にはもちろん、質的にも絶えざる技術の進歩と開拓が要求される。

さきにフェロアロイ製造の一般論として「我が国フェロアロイ製造の現況に就いて」¹⁾の報告したが、その後急速な製鋼業の進歩と要請にこたえるため、あるいはフェロアロイ自身の製造原価削減のため幾多の努力が払われてきた。ここにその一端を述べて御参考に供する次第である。

II. フェロアロイ製造設備の変遷

最近の炉構造面における傾向として、従来小型、固定、開放式の炉がほとんどであつたが、

- a) 製造諸原単位の向上
- b) 作業環境の改善
- c) 排出炉内ガスの捕取有効利用

などの目的から大型、回転、密閉式と変化し、それに伴う技術上の問題点が究明されて来た。

1. 炉容量の大型化

フェロアロイ製造炉の大型化は、製品品質の安定化、

熱効率の向上すなわち電力原単位の向上にある。わが国における建設年次別、炉容量の変遷をみると、第1表のごとく逐年活潑な設備増と増産が行われ、特に昭和31年1月以後において飛躍的な増大を示している。すなわち昭和30年12月までの総建設基数に対して、変圧器定格容量 5,000 kVA 以上の炉は僅かに 5.7% に過ぎなかつたが、昭和31年1月～昭和35年12月の間に建設中のものを合せて、12.2%と約倍増し、炉容量は逐年大型化の傾向をたどつている。

フェロアロイ製造諸原単位向上のうち、特に電力原単位の向上は最重要であり、炉容量と製品 t 当り電力量の関係については、フェロシリコン製造に関する、CONTAGNE の式²⁾、およびこれに修正を加えた笹部³⁾の実験式がある。

$$K = (11,000 + 20,000/\sqrt{p})t + 14 \times 10^6 \times t^3 / p + (500 + 16,000/\sqrt{p})(1-t) \dots\dots\dots (1)$$

K: t 当り電力量 (kWh)

p: 炉容量 (kW)

t: 製品中の珪素の重量比

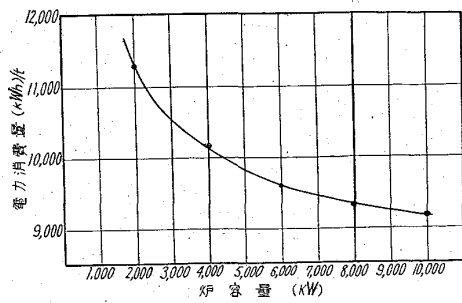
いま $t = 0.75$ すなわち 75% Fe-Si の計算例を第1図に示したが、炉容量増大とともに t 当り電力量が低下することを示している。

しかしながら製造炉の大型化は償却額、金利の増大をまねく恐れがあるが、他面電力事情の好転による稼働率

第1表. 日本におけるフェロアロイ製造電気炉の建設年次と炉容量²⁾

変圧器の容量 kVA	1940~12月	1941. 1月	1946. 1月	1951. 1月	1956. 1月	計	建設中
		~ 1945. 12月	~ 1950. 12月	~ 1955. 12月	~ 1960. 12月		
2,000 未満	14	16	16	24	63	133	—
2,000~5,000	18	8	8	29	60	123	4
5,000 を超えるもの	3	—	3	2	15	23	3
合 計	35	24	27	55	138	279	7

* 日本鋼管株式会社富山電気製鉄所, 工博



第1図 電力消費量と炉容量の関係
75% Fe-Si (t = 0.75)

第2表 炉容量と生産工数の関係

炉	A	B	C	D
稼動年	1937	1951	1955	1958
kW一負荷	6,000	8,000	12,000	18,000
t当りの工数	8.7	8.3	6.3	4.0
75% FeSi				

の上昇,あるいは炉容量大型化による生産性の向上は労働源枯渇と高労働賃金問題の解消策なる点などからも有利と考えられている。第2表には炉容量とt当り生産工数の一例を示した⁵⁾。

もちろんこれらは炉容量の拡大と同時に,原料処理,操炉作業などの機械化と相まって達成せられたものであるが,炉容量大型化の有利性を示す一例である。

2. 炉床回転式について

炉床回転型式は TONNES ELLEFSEN (Director of the Porsgrum Elektro-metallurgiske A/S, Norway) の発明によるもので,電極を静止し,炉体を一方向に回転または 120° の間を往復振動せしめるもので,その特徴としては

- a) クラストの形成が排除され溶解帯が広がる。
- b) 吹上げ現象も少く,ポーキングの必要がない。
- c) 炉体の局部にアークが集中しないのでライニング寿命が延びる。
- d) 品種転換時には内容物を全部溶解流出せしめることができるので,転換過渡期に発生する規格外品がほとんどない。

などの利点があり,往復振動せしめる炉にあつては,出湯を電極に対して適当な位置に維持することにより,湯口温度を調節することが出来る。いま,炉床回転式の実施効果例を2,3示すと

- 1) Elkem, Fiskaa Works. Fe-Si 75%, 6,850 kW
1955/56 に6ヵ月間の実績として⁵⁾,
原料削減率 7.8% 電力量削減率 6.5%
生産増量 7.0% 電極消耗量 0%

製造原価では \$ 0.005/lb. Si, \$ 8.30/t. Fe-Si の引き下げを行い,総原価の5%削減を見ている。

2) Rioupéroux, French company Pechiney, metallic Si 98%, 7,250 kVA⁶⁾。

炉床回転時: 12,000~12,500 kWh/t

炉床回転停止後4日: 14,000 kWh/t

3) Tennessee Valley Authority (U.S.A.)⁶⁾。

1947年,1000 kW 試験炉により燐の製造を行い,炉床回転操業により塊鉄から6 mesh 粉鉄に漸次切り替え,遂には100% 粉鉄使用の可能性を確認し得た。同時に1/4 inch 未焙焼の Florida phosphate 粉鉄の使用試験を行い,1950年には7,500 kW 容量炉の操業を開始し,固定炉に比して11%の電力原単位向上を報じている。

しかしながら炉床回転式は前述のごとき利点がある反面,

- a) 電極にかかる調合圧の増大による電極折損
- b) 電極周辺に調合の半溶体部分が,次第に拡がり,炉内発生ガスを鬱積,吹上げが起り,操業を悪化する。

などの恐れがある。従つて回転速度の選択が最重要であり,これに関しては A.G.E. ROBIETTE⁷⁾ は次式を与えている。

$$t = 2\pi^2 R_c y d h / N Z \dots\dots\dots (2)$$

t: 1回転するに要する時間 (h)

R_c: 電極中心円の半径 (cm)

y: 調合の嵩比重 (t/m³)

d: 電極の直径 (cm)

h: 調合中に挿入している電極の長さ (cm)

N: 電極当りの電力 (kW)

Z: kWh 当りに還元溶解される調合量 (g)

しかしながら,上記式には測定不可能な因子も含まれており,推定の域を出ない。炉床回転の実例として,密閉回転式,19,800 kVA CaC₂ 炉で1回転 85 時間,あるいは5,500 kVA,Fe-Mn 炉では同じく100時間などの例を見ることが出来る。第3表は1950年以後 Elkem が製作した回転炉床式炉の基数と型式を示したもので,

第3表 1950年以後建設された炉

生産量	No.	変圧器容量 (kVA)	型式
Fe-Si, Ca-Si, Met.Si	47	4,000~24,000	開放式
Fe-Mn, Si-Mn	21	3,600~12,000	開放式, 密閉式
CaC ₂	17	4,500~50,000	半密閉式
その他	3		密閉式

第 4 表 炉内発生ガスの 2, 3 例⁸⁾

製 品	kWh/t	ガス発生量 m ³ /t	化 学 分 析 値 (%)						ガス温度 °C
			CO	CO ₂	H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	
銑 鉄	2,400	650~700	72	15	8	—	2	2	350
HC.Fe-Mn (80%)	3,000	800~950	72	11	6	—	10	1	350
HC.Fe-Cr	4,200	900~10,500	72	11	6	—	10	1	350
Fe-Si (75%)	10,000	1,700~1,800	90	—	6	—	—	—	1000
CaC ₂	3,200	330~400	90	1	2	0.33	—	1	500
P ₂	5,200	850~950	98	—	—	—	—	—	400
Al	17,500	850~950	62	30	4	—	—	—	400

回転、開放型から漸次回転、密閉型に改造され、回転炉に加うるに密閉炉の利点が加味されるにいたつた。

3. 密閉炉、回転密閉および半密閉炉について
従来開放炉の問題点として

- a) 炉内発生ガスが炉頂で燃焼し、無意味な熱損失となる。
- b) これら燃焼熱と、これに含まれる粉塵により、作業環境の悪化、設備の損傷、公害問題の発生。

などがある。炉の密閉化は、これが解決策として、さらには積極的に炉内発生ガスの有効成分、保有熱エネルギーを活用し、調合の予熱、予備還元など事前処理を行い、操業成績を向上することを目的としている。

密閉炉は 1928 年 Tysland-Hole 炉として開発され 1950 年 Stockholms Superfosfat Fabriks A. B. の Sweden Stockvik 工場で 19,800 kVA CaC₂ 炉の操業が開始された。しかしながら密閉化した場合、設備費および維持費の増加などから、捕取ガスの有効利用可能な立地条件についてのみ効果が期待される。これに対して、Elkem の開拓した半密閉炉は設備費、維持費は全密閉炉に比して 1/3 で足りるとされ、ある程度ガスの捕取率、収塵率を犠牲にし、かつポーキングを可能ならしめたものである。1957/58 年、Tenntex Corp. Houston, Texas で 5,000 kW. Fe-Mn 炉に採用され、ガス捕取率および収塵率は、電極周辺に取りつけられたカバーの径により異なるが、前者は~75%、後者では90~95%であると称せられている。

第 4 表には各種フェロアロイ製造における炉内発生ガスの組成および発生量の 2, 3 例を示した。

III. 調合原料の予備処理

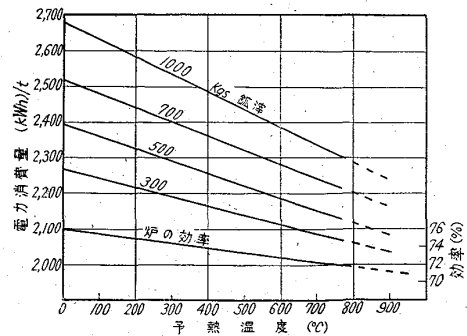
広義の調合原料予備処理としては、整粒、乾燥、焙焼予備加熱、予備還元などの処理を含むが、前記のごとく密閉捕取ガスを利用し、調合原料の予備加熱、予備還元を行なつて、電力原単位を向上せしめるのが最も有効と考えられる。

第 5 表 予備加熱、予備還元の高熱装入の影響⁹⁾

装 入 物	冷 材	予備還元された ホットチャージ
炉負荷 (kW)	170	170
Mn 分布 (%)		
—メタル中	67.5	69.5
—スラグ中	21.6	26.1
—ダスト中	10.9	4.4
kWh/t Fe-Mn	3,600	2350~2580

これらの実施例の 2, 3 を示すに、1957 年 Elkem, Fiskaa 工場の研究所において、Fe-Mn 調合に対し、Porsgrum Elektro-metallurgiske A/S と共同研究を行い、ロータリーキルンで予備加熱、予備還元を行なつた場合の効果を調査している⁹⁾。第 5 表にはその成績を示し、これらの実験を基礎にして Fe-Ni 製造用の 13,500 kVA 固定密閉式炉 4 基に 72m のロータリーキルンを設備して New Caledonia で操業を行なつている。また電気鉄製造に関する予備処理については数多の研究が行われ、ロータリーキルンによる予備加熱および予備還元効果の一例を第 2 図に示した⁹⁾。

これらは後述する Strategic Udy process と構想を同じくするものであり、いずれも予備処理の熱源としては炉自体から回収された、炉内発生ガスを有効に利用するための努力をみることが出来る。



第 2 図 ロータリーキルン予備処理に関する熱精算—スラグ量の増加に伴ない供給電力の節減を示す—

1. マンガン鉱石のガス還元について¹⁰⁾.

第4表に示すごとく炉内発生ガスの有効成分はCOおよびH₂ガスで主としてCOガスである。マンガン鉱石のガス還元について行なつた調査の2, 3を以下に述べる。

(1) 炭酸マンガンの分解と還元

試料として純炭酸マンガンを用い、これをair, AおよびCO, 30%, 60%のCO-CO₂ガス中にて加熱減量を測定した。第3図に見られるごとく、air中ではMnCO₃の分解中に酸化が行われMnO₂を生成し、次いで昇温とともに熱分解を起し、1000°CでMn₃O₄となる。Ar中ではair中よりもややおくれでMnCO₃の熱分解を起し、550°Cで一定値となる。これはMnOとMn₃O₄の混合物で、(MnO₂)の表し方で10%であり、CO₂ガスの酸化力によるものと考えられる。CO 30%, および60%ガス中ではほとんど一致した曲線でAr中と同様の变化をし、約700°Cから混合しているMn₃O₄の還元が進む。

(2) 二酸化マンガンの還元

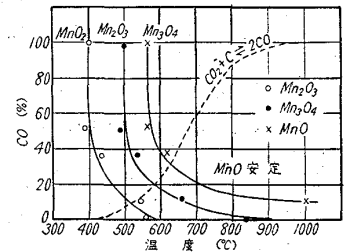
第4図に各酸化物の生成自由エネルギーの変化を示したが、Mnを製造する場合、MnOから出発することはMnO₂に比し25%のエネルギーが節約されることを示し、また2CO+O₂=2CO₂の自由エネルギーの面か

第6表 CO濃度と残留MnO₂との関係

CO (%)	11	36	52	72	100
残留 MnO ₂ (%)	0.4	0.2	0.1	0.3	tr

分解曲線が明瞭に示されており、11%CO中では950°CでMnOとなり、CO 50%, 100%ではほとんど変化はなく、550°Cの低温ですでにMnOに還元される。還元物は第6表に示すごとく、残留MnO₂はほとんど無く、完全に反応が完結していることを示している。またCOガス中で各酸化物の分解点が現われないのは、MnO₂, Mn₂O₃およびMn₃O₄は容易に還元され、反応速度の早い温度では、表面から内部に向つて順次変化が行われているものと考えられる。

第6図はCO濃度と温度に関する各酸化物の安定域を示すもので、これら安定域曲線はCO₂+C⇌2CO曲線上垂直になる筈であるが、上記反応速度は触媒作用の影響を受け



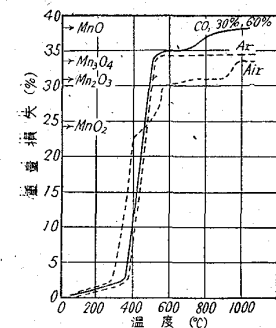
第6図 Mn酸化物-CO-温度の関係

上はマンガン酸化物のCOガス還元の一実験例を述べたのであるが、実際にも鉱石の反応性は、原鉱中の主要構成鉱物が、Mn₂O₃鉱の場合にはMnO₂鉱に比較して還元温度が高く難還元性であり、珪酸マンガン鉱では効果がない。また酸化マンガン以外の脈石の形態とその偏析状態が、還元性、操業上の難易に影響し、ひいては製造電力原単位の良否に影響する¹¹⁾。

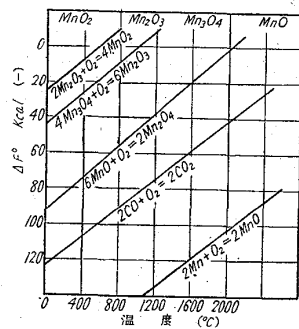
2. Strategic Udy process について

電気炉製錬において、電力原単位の向上は、単位能力当りの建設費および操業費を減少せしめ、製造コストを引き下げることになる。かかる場合前述の炉容量拡大も自から限度があるとすれば、炉内反応で発生するCOガスを回収し、事前処理を行うことは(実験例でも明らかな如く)極めて有効であるといわねばならない。これを具体化したものとして、さきにElkemにおける実施例を述べたが、1940年MARVIN J. UDYの研究から発展したStrategic Udy processがある。

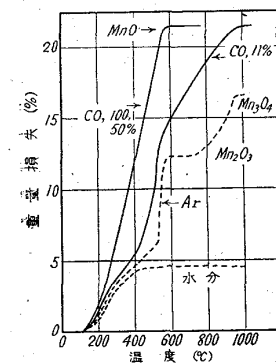
1955年Strategic Materials Corporationが同氏の指導を得て、1956年Strategic Udy Metallurgical & Chemical Process, Ltd-SUMACのパイロットプラントを稼働している。設備としては、1000kVA製錬炉3基に内径4¹/₄ft×長さ80ftのロータリーキルン



第3図 純MnCO₃の還元



第4図 Mn酸化物の反応の際の自由エネルギー



第5図 純MnO₂(H₂O含有)の還元

らすればCOガスによつてMnOまで還元されるが、Mnまでは還元されないことが判る。第5図には一般にマンガン酸化物は化合物を含むので、純MnO₂について水分をも含めた、Ar中およびCO 11%, 50%, 100%ガス中で得られた分解曲線を示した。

Ar中では各酸化物の熱

と 10 t 反射炉を附属したもので、最近 1000 kVA の 3 t 電気製鋼炉が附設された。さらに 1956 年 Comstock & Wecott Inc. の Niagara Falls New York 工場および他の子会社を買収し、Strategic Udy Processes Inc. -SUPI- を設立、100 kVA 炉 1 基と内径 1/2 ft × 長さ 20 ft のテストプラントで鉍石の基礎的予備処理の試験を行い、1957 年末 Koppers Co, Inc. と工業化への研究を開始し、さらには 1959 年 Elkem がこれに参加するに到っている。

Strategic Udy Process の特徴としては、調合予備処理用のロータリーキルンと製錬炉を直結し、製錬炉にあつては“floating charge”法を採用しており、装置および操業の特徴を示すと、

(1) ロータリーキルンは、電気炉からの排ガスの燃焼と還元剤中の揮発分の燃焼による、乾燥、予備加熱を行う。

(2) キルンに装入された、石炭や褐炭は加熱によりガスを発生し、一部は熱源となり、反応性の良いコークスに変化すると同時に、一部予備還元を行い、予熱された還元材として電気炉に装入される。

(3) 炉への装入物は 1800~2300°F に加熱されているため、操業条件は“submerged arc type”ではなく、装入物は電極の周囲に安息角を形成する“floating charge”法を採用している。この理由としては

a) 電極の周囲が開放されているので、還元反応による発生 CO ガスは障害なく放出、捕取されてロータリーキルン中で燃焼、ロータリーキルンの熱の大部分を供給する。

b) 電極先端は、slag 上 1/2 inch の位置から slag 中ほぼ 3 inch 浸漬した位置までの間で操業し、電極周囲に安息角を形成するから熔融帯は一定の電気抵抗を供給し、高い入力を与える。

c) 各種還元反応の自由エネルギーの差を利用し、還元温度を調節し、選択還元を行うことが出来る。

d) 鉍石は特に、塊状化、ブリケット化、焼結、ペレ

タイジングなどの事前処理を行う必要がない。

などの利点がある¹²⁾¹³⁾。以上の実際上の効果例として、

第 7 図には鉄鉍石品位別の電力原単位と製造方法の比較を示した。

IV. 電気炉の操業条件と調合の物理的、化学的特性

電気炉操業において、そのより良い効率を期待するために適正な調合の物理的、化学的特性を把握、附与して適正な操炉条件を得ることが望まれる。具体的には

a) 反応性の良い調合の選択と、事前処理などによる反応性の附与

b) 調合の通気性を考慮した適正サイズの選択

c) 温度条件を加味した調合の電気特性が適当であること。

などを相互に考慮して選択する必要がある。

1. 反応性について

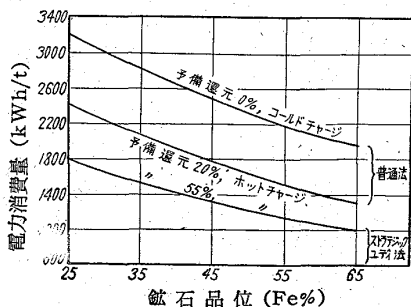
鉍石の反応性に関しては、さきにマンガン鉍石のガス還元の前でも述べたごとく、その鉍物学的組成、構造など本質的に具備された条件の選択と、前述せるごとく、予備加熱、予備還元など事前処理によつて、反応性を附与せしめる場合があるが、これら反応性のバロメーターとしては、標準還元材と鉍石を反応せしめて、反応時間一発生ガス量を比較する方法などがある。

一方電気炉操業においては還元材の反応性の良否、使用量の調整が極めて重要である。一般に炉内においては、電極下部に形成されるコークスベッドの大小によつて電極位置が変動し、同一電圧でコークスベッドが大きい場合は、電極が上昇し、小さい場合には没入する。従つて高電圧でかつ失熱の少い操業条件が望まれるとすれば、後者の条件が好ましいわけである。

還元材の反応性の面からすれば、反応性が高い程速かに反応し、炉中での蓄積は少なく、コークスベッドの層が小さくなる。これに反して、反応性の悪い還元材の場合には、コークスベッドは過大となり電極の上昇、熱効率の低下を来たすことになる。また量的に過剰の場合、

あるいはサイズが大きい場合には、電気抵抗が低下し、または反応完結までに時間を要するためコークスベッドが大きくなり、電極は高い位置で仕事をするようになる。従つて還元材は、反応性が良く、電気抵抗が大で、調合の通気性を害さない程度の細粒であることが望ましい。

第 7 表は OLUF CHR. BÖCKMAN¹⁴⁾が、コークス—CO₂ 間の反応を規準にして、各種還元材の反応性を調査



第 7 図 鉍石品位と電力消費量の関係

第7表 各種還元材の反応性

還元材	反応性
無煙炭	0.3~1.2
冶金コークス	0.2~0.8
ガスコークス	0.5~1.5
低温乾留コークス	1.5~2.5
泥炭コークス	4.0~5.0
木炭	4.7~7.0

したものであり、電気炉にあつては、機械的に堅い大粒の冶金コークスよりも、比較的生成年代の若い半コークス、泥炭、木炭などが良いことになる。

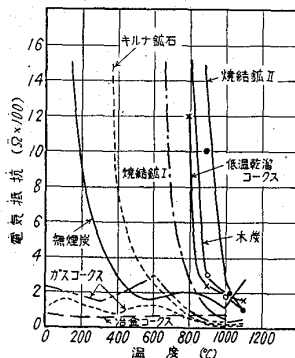
2. 調合の電気特性および温度条件

電気炉操業においては入力電力の有効率向上が最重要であり、電力の有効率は

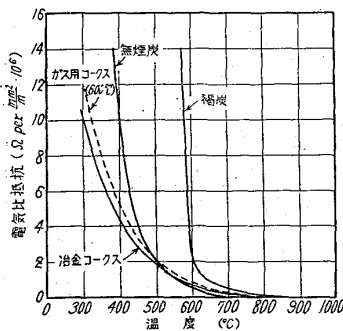
$$\eta = \frac{P_0}{P} = \frac{R_0}{R} \dots\dots\dots (3)$$

η : 電力の有効率, P : 入力電力, P_0 : 実際に使用される電力, R : 炉内および給電導体の抵抗, R_0 : 炉内抵抗

すなわち設備的には力率の向上はもちろんであるが、リアクタンスおよび給電導体の抵抗は、炉の形体、設備などによって定まるから、操業上からは炉内抵抗 R_0 を



第8図 電気抵抗 (シリンダー直径 4.9cm, 高さ 8cm)



第9図 鉄製造時における調合の配合比鉄石 100, 焼石灰 25 および還元材 20 の場合の温度と電気比抵抗の関係

増大せしめることが有効である。しかし各調合の電気抵抗は温度上昇とともに低下するから、急激な炉内温度勾配に対して、電気的に安定で、精錬帯温度においてはじめて良好な

電気伝導度を示し、有効電流が精錬帯に集中することが望ましい。第8図には還元材および鉄石の種類による温度条件を加味した電気抵抗を示し、第9図には実際調合の電気抵抗の関係を示した¹⁴⁾。

一般に還元材にあつては、高反応性のもは高い電気抵抗を示し、温度的にも

電気抵抗は安定して高い値を有している。また鉄石では焼結鉄特に自溶性焼結鉄の使用が有効である。後者にあつては、電気特性のみならず、造滓材の分解吸熱の排除、精錬速度の増大、炉況安定化などの面からも極めて有利である。

3. Fe-Si(75%)製造に木屑使用の一例

以上述べた操業条件に対して、調合各個に特性を附与せしめて、総合的に条件を満す以外に、調合に第3者の添加物を配合して、操業条件を満す方法が考えられる。その一事例として wood chip, splinter および sawdust などの配合した場合について述べるに、これらを配合した場合の特色として、

- a) 調合の通気性を良くし、ガスまわりが良好となりクラストの形成が起らない。
- b) 精錬帯を覆い、断熱体として作用し蓄熱が行われる。
- c) 調合の電気抵抗を増大する。
- d) 揮散損失, ダスト損失を最小限に出来る。
- e) 調合中の他の還元材と置換量を変えることにより、精錬帯の温度を調節することが出来る。

などの利点がある。R. T. C. RASMUSSEN¹⁵⁾ は Pacific Northwest ore で精錬を行なつた例を報告しているが、前記したごとく電気炉操業の特徴を比較的安価有効に解決せんと試みたものといひ得る。第8表¹⁶⁾ は Fe-Si (75%) 製造時に chip を配合した、事例であるが、配合量が多量に過ぎる場合は、給鉄速度が遅くなり、生産量の減少を来す。表でも見られるごとく配合率は 22% 附近が最も良い条件をもたらすものと考えられる。

V. 結 言

以上最近のフェロアロイ製造における、精錬を主体とした進歩に就いて2, 3述べたのであるが、もちろん総てを尽したのではない。当初に述べたごとく電気炉容

第8表 Fe-Si(75%)製造に於けるチップ配合の効果 (炉 3,000kVA)

チップ添加	普通法	1	2	3	4
電力消費量 (kWh/t)	9,450	9,312	9,070	9,300	9,640
チップ配合率 (%)	0	19	22	29	37
1日当りの給鉄量 (kg)	11,600	12,700	13,000	11,700	11,700
1日当りの生産量 (kg)	6,600	6,685	6,915	6,700	6,496

チップ配合率(%) = チップ重量 / 総還元材重量 × 100

第 9 表 新らしい合金鉄の 2, 3 の例

種 類	製 品 成 分	用 途 ・ 特 質
超低炭素フェロクロム	C 0.010%以下 Cr 60~65% Si 1.0%以下	ステンレス鋼用添加剤
発熱 高炭素フェロマンガ	Mn 58~65% C 6.5%以下 Si 1.0%以下	フェロマンガンの取鍋添加量を増加し得て製鋼時間の短縮, 歩留の向上, 添加成分の安定と偏析の防止に効果がある。
発熱 シリコマンガ	Mn 55~60% Si 9~13% C 2.0%以下	シリコマンガンの取鍋添加量を増加し得て製鋼時間の短縮, 歩留の向上, 添加成分の安定と偏析の防止に効果がある。
発熱 高炭素フェロクロム	Cr 50~55% C 6.5%以下 Si 1.5%以下	高炭素フェロクロムの取鍋添加量を増加し得て, 製鋼時間の短縮, 歩留の向上, 添加成分の安定と偏析の防止に効果がある。
発熱 低炭素フェロクロム	Cr 50~55% C 0.1%以下 Si 1.0%以下	低炭素フェロクロムの取鍋添加量を増加し得て, 製鋼時間の短縮, 歩留の向上, 添加成分の安定と偏析の防止に効果がある。
Can 低炭素フェロクロム	Cr 60~65% C 0.1%以下 Si 1.0%以下	粒度の小さい製品を罐詰としたもので, 製鋼炉内での拡散溶解が早いので, 歩留の向上と偏析の防止に効果がある。
高窒素 低炭素フェロクロム	N ~4%~ Cr 60~65% C 0.10%以下	従来品は窒素含有量は, 2%以下であつたが最近更に窒素含有量の高いものが要望されるので, 固体窒素法により窒素含有量4%程度のものを製造する。
チャーシクロム リファインドクロム	チャーシクロム リファインドクロム Cr 50~55% 55~60% Si 8%下, 6%下 4%下 C 6~8% 3~5%	クロム合金鋼用クロム添加合金として使用
フェロボロン	B 10~20% H.C. L.C. C 2.0%以下 14~23% Si 4.0%以下 2.0%以下 0.1%以下 Al 0.5%以下 4%以下 2%以下 0.5%以下 12%以下	鋼の引張り強さ, 降伏点を上昇させる。 ステンレス鋼の溶接性を改善させる。
フェロニオビウム	Nb+Ta 60%以上 C 0.20以下 Si 3.0%以下 Al	ステンレス鋼の耐熱性, 耐食性の改善。 また, 展延性を改善させるため使用される。 安定な炭化物を作る結果, 高温度に於ける耐酸化性を向上し粒間腐食を減少する。
フェロジルコン	Zr 30~45% Si 25~35% C 1.0%以下 Al 10.0%以下	強力な脱酸, 脱硫, 脱窒剤で清浄化作用が大。 鋼の組織を細粒, 均質化する。
アルミ系フェロアロイ	フェロ シリコ アルミニウム アルミニウム Al 10~30% Al 15% Fe 残り Si 55%	アルミニウムは脱酸, 脱窒素剤として優れているが比重が軽く, 溶鋼添加の際浮上して歩留が一定しないので, 他の合金と結合させ比重の大きい歩留の安定な脱酸剤としたもの。
酸化物ブリケット	モリブデン酸 酸化 カルシウム タングステン Mo 40~50% W 50~60% CaO 12~17% CaO 10%以下 Mn 6%以下	価格の低廉なフェロアロイとして, 金属銲石を精製し, これを焙焼処理等により金属酸化物とし, そのままで製鋼用を使用するもので, 取扱いを便にするためブリケット化する。
フェロセレン	Ce 50% Fe 50%	脱ガス作用を有し, 鋼に添加して, 切削性を向上する。
フェロウラン	U 40~50% C 4~5% Si 2~3% V 1~2%	O ₂ , N ₂ , C, S, および B に対して, 強い親和力を有し, U を 0.01~0.5% 添加して耐疲労強度, 耐高温クリープ強度および耐応力腐食性を改善する。

ベリリウム鉄合金	Be 1% Ni 6% Fe 残部	ステンレス鋼の耐熱強度を増大する。 組織を細粒均質化する。
Ca系複合脱酸剤 R-Ca-Si	R (Ce+La) 19% Ca 18% Si 50% Fe 残	脱酸, 脱硫, 脱窒および清浄作用が極めて大である。 ステンレス鋼の赤熱脆性が低下し, 熱間加工性を向上する。
Fe(Mn)CaSi	Ca 20~25% Si 35~50% Mn 5~15% Al 22% Fe 10~20%	脱酸, 脱硫, 脱窒及び清浄作用が極めて大で, 鋼の機械的性を向上する。 鑄鉄では鑄造性を兼ねて球状黒鉛を生成する。
Ca-Si-Mn Ca-Si-Al	Ca-Si-Mn Ca 16~20% Si 53~59% Mn 14~18% Ca-Si-Al Ca 20~25% Si 37~42% Al 30~33%	脱酸, 脱硫, および脱ガス作用を有し, 脱酸生成物の浮上性が優れ, 非金属介在物を減少せしめる。

量の増大に伴う附帯設備の進歩が当然行われているわけ
で、炉用変圧器においては、

a) 高電圧よりの直落し技術の進歩は、60kV 進んでは 110 kV から直接炉用電圧までの通降を可能ならしめ、遮断器設備費を含め約 25% の設備費削減を行い得ている。また変圧器、容積縮小のため、内部水冷式より送油水冷式が常識で、水質影響を考慮して特殊合金の管体が採用されている。

b) 力率の改善は、受電条件の有利化、回路損失の排除から行われる。これには 2 次ターミナルのリアクタンスの減少を計るため、幾つかの並列ターミナルに分け、正負交互配置されるのが普通で、自冷、風冷の平銅型ターミナルは、水密技術の進歩によつて水冷パイプ方式が採用され、口出部は変圧器側面に設けて、母線配置の短縮合理化が行われている。

c) 母線結線方式と変圧器の配置については、前者では 2 次側△結線と Y 結線方式、後者では 3 相変圧器 1 台の場合、単相変圧器 3 台の場合とがあり、それぞれ条件を考え合せ、総合的見地から選択される。

d) 炉用変圧器は電力用変圧器に比して、切換回数が非常に多いため、短絡時の電流制限、スイッチ機構、接点材料の進歩に伴い、大容量、炉用変圧器には on load tap changer が設備されており、1 次側電圧が高く 2 次側タップ範囲が大きい場合には、負荷時調整用の分巻巻線をもつた変圧器と、直列変圧器を共通したタンクに収容し、この分巻巻線から電圧により回路電圧の調整が行われている。

e) 長年月に亘る無事故、無点検の狙いから、窒素封入の OC または FT 方式のコンサーベーターの採用により、絶縁油の劣化の防止が考えられている。

f) 炉の電気制御は炉況に応じた電気条件を与えることであるが、これは炉への供給電圧の調整と電極昇降に

よる電流調整によつて行われ、前者は d) 頃で述べたが、後者では電気量の変化速度が小さいため、調整装置は感度が良く、応動性が必要であると同時に、それ以上に動作特性の安定であることが重要である。このため平衡継電器方式の場合には、過度に敏感な調整は接点の損耗ならびに動作の不安定化の原因となる。従つて最近では無接点方式すなわちアンプリダイン式調整装置などの採用が普通となつている。

以上炉の大型化に伴う電気設備の 2, 3 の進歩を述べたが、さらには給原設備においても、種々近代化が行われていることは当然である。

最後に設備、精錬技術の進歩の外に、より鋼質改善のため、あるいは鋼製造原価削減のために最近需要の増大している合金材、または新に開拓された合金材の例を第 9 表に示して本稿を閉じたいと考える。

本報告発表の機会と、御指導を賜つた、当所所長木下恒雄氏に厚く御礼を申し上げると共に、本稿作成に多大の協力を願つた、当所技術管理課課長長沢四郎君に深く謝意を表する次第である。(昭和 37 年 5 月寄稿)

文 献

- 1) 塩谷周三: 鉄と鋼, 39 (1953) No. 4, p. 437~448
- 2) 通産省: 鉄鋼生産設備の現況, 昭 35 年 10 月末現在
- 3) AIME COUTAGNE: La Fabrication des Ferro-Alliages (1924), p. 372
- 4) 笹部 誠: フェロアロイ, No. 3 (1953), p. 12
- 5) K. LORCK: Elkem Furnaces in Ferro Alloy and Carbide Production. 1959, IV International Congress on Electro-Heat.
- 6) K. LORCK: The development of the Elkem covered, rotating furnace for production of carbide and ferro-alloy. IIIe Congrès International d'Electrothermie, 1953

- 7) A. G. E. ROBIETTE: Electric Melting and Smelting Practice, p. 290
- 8) M. O. SEM: Closed Electric Reduction Furnaces Permit Utilization of Furnace Gas. J. Metal, Vol. 6, No.1, p. 30
- 9) F. C. COLLIN & O. A. GRÝTING: A New Approach in Electric Pig Iron Smelting; J. Metals, Vol. 8, No.10 October 1956
- 10) 清水, 山岸: 日本鋼管株式会社富山電気製鉄所所内報, 第3報, 1959
- 11) 日本鋼管株式会社技術研究所, 研究報告, マンガン鉱石の品質調査
- 12) LLOYD H. BANNING: The Role of the Electric Arc Furnace in Utilizing Some Strategic off-Grade Ores; Journal of the Electrochemical Society, Dec. 1954
- 13) Electric Furnace Proceedings AIME Vol. 17, 1959
- 14) F. C. COLLIN: Features from the Development of Electric Pig Iron Smelting. IIIe Congress International d'Electrothermie. Paris du 18-23. Mai 1953
- 15) R.T.C. RASMUSSEN, J. Metals, 4, 1273 (1952)
- 16) 竹内淳一: 日本鋼管株式会社富山電気製鉄所所内報第5報, 1960