

## 技 術 資 料

### ウキーベルグ・ゼーデルフォルス法に依る海綿鐵製造に就て

井 門 文 三\*

#### THE PRODUCTION OF SPONGE IRON BY MEANS OF THE WIBERG-SÖDERFORS PROCESS

Bunzo Ido

Description was made on the development of the Wiberg-Söderfors process, and the existing plant at Söderfors, Sweden. Different reducing agents, requirements demanded of the ores and the economic efficiency were mentioned, with reference to uses of the sponge iron and the future plan concerned.

#### I. 緒 言

北歐、瑞典中部の鐵鑛山地方、所謂“Jernberarland”は、天恵的に古來、燐、硫黃及銅等の少い純良なる磁鐵鑛を産し、之に豊富なる木炭を配して、世界第一の良質と稱せられる瑞典木炭銑生産の本場として有名であるが近年に至つて、木材の需要が木炭のみならず、パルプ方面の要求が急増したために、木炭の價格も漸騰して遂に1噸約250瑞典クローネ（邦貨約17,500圓）となり、輸入コークスの約2倍以上となつて來た。そこで低燐銑の生産も、1946年迄約過去10年間は、約32萬噸内外を持続して來たものが、其の後は寧ろ逐年減産を辿り、1950年には約21萬噸に低下するに至つた。之に代つて、焦炭高爐銑が逐年増産されて、（瑞典では石炭は1噸も産しないにも係らず）1950年には約55萬噸に上昇した。（焦炭電氣銑は15萬噸内外にて餘り變化ない）又一方、瑞典に於ては純良なるスクラップの供給も少ないので、低燐銑の減産と共に高級鋼及び特殊鋼の生産工場に於ては、愈々其の素材として他に適切安價なる代用品を求むることが緊急となつて來た。

一方、瑞典に於ては、約40餘年前より海綿鐵の製造が専門家の間に研究されて來た。就中、Höganäs, Kalling, Wiberg及びNorsk-Staal法等が有名である。而して此の内Höganäs法が最初に實用化されて、現在では年額25,000噸の海綿鐵を造つて居る。而して、其の製品の大部分は粉末冶金に應用されて居ると。此の如く、Höganäs法の製品は、極く上等ではあるが、坩堝式加熱法なる故に生産費も高く、一般にHöganäs以外の

他の地方には流行しない。

次にWiberg法が、理論的に非常に面白いわりに、其の實用化が遅々として居たが、近年に至り研究工夫の結果、嶄然頭角を現わし、一大飛躍的發展を現わして來た。しかも生産費が木炭低燐銑よりも安く、品質に於ても優秀にて、特殊鋼の素材として理想的と認められ、一名、“高級スクラップ”（“Edelschrott”）とさえ呼稱されるに至つた。

此の如くWiberg法が隆昌になつた其の理由を質せば、凡そ次の項目に依るものと考えらる。

#### (1) 炭化爐の改良

在來同法に用いたる炭化爐(karburator) ( $C+CO_2 \rightleftharpoons 2CO$ )の炭化材として木炭を使用して居たが、これに代つて、安價なるコークスに適する炭化爐を發明せしこと。(特許)更に、水素源として水、油及瓦斯等を混用せしこと。

#### (2) 脱硫装置の改善

コークス式炭化爐よりの瓦斯中には、有害なる硫黃瓦斯を含んで居るが、其の濾過脱硫装置に、ドロマイトを使用し、殆んど完全なる脱硫に成功せしこと。(特許)

#### (3) 長期間連續運轉に耐ゆる特種耐熱鋼製吸氣機の完成

還元瓦斯は還元爐の中腹より、吸氣機にて吸引し、炭化爐に復歸循環せしめるが、瓦斯の温度が約攝氏700度乃至800度の高熱のために、扇風機の材質が難問題であつたが、之に類似する問題として、最近ガスタービンの

\* 大倉商事株式會社顧問

發達と共に、耐熱鋼の研究が進歩し、遂に本件に於ても、長時間連続運轉に堪ゆる特種耐熱鋼製の吸氣機が完成せしこと。

#### (4) ペレット焼結法の完成

鐵分 90% 以上の特に高品位の海綿鐵の原鐵としては在來の燒結法(グリナワルト式又はドワイトロイド式等)に依る燒結鐵を使用せば、還元爐内にて、懸滯を起す傾向がある。然るに、最近流行の球狀燒結、即ちペレットを使用せば、爐況順調に生産が出来る。故にペレット法の實用化と共に、兩々相俟つて本法の發展が期待される。

#### (5) 生産費が安いこと

以上述べし諸々の改良に依つて、一方、所要電力は海綿鐵 1 噸當り、1,100KWH、骸炭 200kg 位に低下し木炭高爐及び骸炭電氣爐に比して夫々遙に消費が少ないので、従つて生産費も兩者に比して安價である。

以上の諸理由に依つて、本法に適する鐵石、即ち燐、硫黄及銅等の少ない鐵石を有し、(近時、富鐵が少なくなつたので貧鐵を磁力選鐵に附して精鐵を燒結して居る處が多い)・木炭は暴騰したが電力は尙安い瑞典では、木炭高爐の時代は去つて、此に代つて、本法の應用が旺盛になりつつあることは想像に難くないだろう。今や、Söderfors を始めとし、Sandviken, Hellefors, Hofors 及び Uddeholms 等の各地で、本設備が建設され、又は建設中であつて、近き將來、年産 12 萬噸の海綿鐵を生産する計畫であると。

繼つて、我國を見るに、敗戦に依つて、滿州、朝鮮を失ひ、磁鐵鐵床としては、有名なる釜石と各地に散在する砂鐵とに、矚目せねばならぬ。釜石は燐及び硫黄の外銅が高いので、本法に適しない。又同時に硫酸滓も亦、品質上望薄である。然らば砂鐵のみが、殘された唯一の原料と考えらる。砂鐵にも、燐の低いのが少ないが、硫黄と銅が低い點が有望である。唯イルメナイトの混晶を含有するために、磁力選鐵に附しても品位が 55% 内外に留るものが多いと聞くが、然し磁選法も、今一段研究工夫せば、(微粉碎の上、原田式交流法を應用等して) 60~63% 位の精鐵を、經濟的にも獲得可能ではあるまいか。次に、砂鐵精鐵から燒結又はペレットを造り、Wiberg 法に依つて、海綿鐵を造り、更に密閉弧光式電氣爐を用いて、脱燐脱硫して、所謂、高級スクラップを生産しても尙、經濟的に可能ではあるまいか。即ち、換言すれば瑞典に於ては原鐵の品位が高く且つ不純物も極少のため成品たる海綿鐵も其儘で、高級スクラップとして賞用されて居るが、砂鐵を原料とする我國の場合に於ては、不純物の關係から海綿鐵を更に弧光式密閉電氣爐にて、精製

する所謂二段製鍊に依つて、始めてエーデルシロットとして登場し得るだろう。又瑞典で Wiberg 法を轉用して、始め約 50% の珪酸質赤鐵礦を直ちに Wiberg 法に附して、僅々 63% の海綿鐵と化し、次に之を磁選にかけて、全鐵分 94% (内金屬鐵 97%) の優良海綿鐵を造つて居る。國産の赤鐵礦には勿論砂鐵にも此の特別法が應用出来ぬか、研究の要がある。又 Wiberg 式工場建設地としては水力電氣が豊富で、電力の安い富山、新潟縣地方が適切かと思う。就中新潟は又、天然瓦斯が所々に噴出するので、之を利用して Wiberg 式の炭化爐に炭化材としてコークスと共に、其の水素源として、天然瓦斯を併用が出来たら理想的で、新潟が第一候補地ではあるまいか？

筆者は嘗て、滿州本溪湖に在職中、磁鐵礦の精鐵團鍊(鐵分 68%, 燐 0.008%, 硫黄 0.03%, 銅 0.009%) から Högånäs 類似の方法で、純良海綿鐵を造り、弧光式電氣爐又は高周波電氣爐に投じ、所謂高級スクラップを造り、更に純鐵又は種々の優秀なる特殊鋼(高級炭素鋼、高速度鋼、不銹鋼等)を造つて居た。其の當時 Wiberg 法の有望のことに着目して居たが、尙、前記の改良が未解決のため、残念に思つて居たが、Wiberg-Söderfors 法が幸に、完成せし今日、筆者は 1937 年瑞典を巡察せしことを偲びつつ茲に其の成功を祝福すると共に資源に恵れない我國にも、この方法を輸入して、有利なる發展が出来ざるものかと思ひ、敢て同法の御紹介旁々、Stahl und Eisen (1952 年 4 月号) に John Stalhead 氏の論文が記載されて居たので、同氏の許可を得て其の大部を抄譯して見た。大方の御参考の一端ともなり、更に我國にも本法の輸入の餘地なきや、斯の道の専門家諸賢の御批判を仰ぎ度い次第である。

終りに、本法の建設費は瑞典に於て、年産 2 萬噸の工場單位として、約 300 萬獨逸マーク(邦貨約 25,000 萬圓)位なりと。

## II. ウキーベルグ・ゼーデルフォルス法

### (イ) 沿革及び概要

種々の海綿鐵製造法に就て、其の間の比較研究が行われるとしても、茲では唯、ウキーベルグ・ゼーデルフォルス法のみ就て論じて見たい。マルチン・ウキーベルグは既にストックホルムに於ける高等工業學校時代の一學徒として還元問題に關して携り、そして 1917 年には鐵礦の還元を彼の卒業試験論文として取扱つた。そして 1918 年には今日の彼の名を呼稱した海綿鐵製造法を發明するに至つた。(瑞典の特許・番號 46507 (1918年))。

其の當時、若年の一技師が、この計畫を立てたことは、突に著目に値することであつた。今日でこそ其の確證が大規模の設備で達成されて居るけれども。

ウキーベルグの理論に茲で簡単に觸れて見やう。

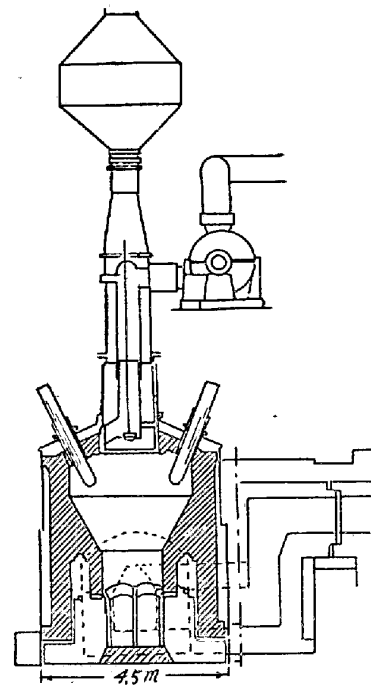
第1圖は現在完成されたこの方法の説明である。一酸化炭素と水素とが2對1の比率で成立せる還元瓦斯は、電氣的に加熱されたる炭化爐（カーブユレーター）の中で、組成せらるる。而してその内で、還元用竪爐から歸つて來た瓦斯が、燃料と反應せねばならぬ。燃料は基本的に、炭素及水素の單體、又は其他の型式のものから、成立して居らねばならぬ。

還元瓦斯は還元用竪爐の下部から導入されて、最終（仕上）還元層を通じて、一酸化鐵を金屬鐵迄還元する。炭化爐に復歸しない所の瓦斯量は、豫備還元層を通過してそこで二酸化鐵なる鐵礦石は、一酸化鐵に還元さる。更に爐筒の上部にて、羽口を通じて空氣が吹込まれる。其の空氣に依つて、尙殘餘の全ての可燃性瓦斯が燃燒されて、そして鐵石は、規定の溫度、即ち一般に950度に加熱せらる。

第1圖にて豫知する如く、この行程の間に、鐵石の加熱用として必要量以上の多量の瓦斯が発生せらる。燃燒層に於ける過度の溫度上昇を防止するために、瓦斯が燃燒層に達するに先だつて、一定既知の瓦斯量がこの爐から放出さる。還元瓦斯の導入は爐筒の出来るだけ下方から行われねばならぬ。それは瓦斯の還元力を、瓦斯が爐筒を去らない内に出来るだけ永く利用したいためである。

1920年から1930年迄瑞典の各地にて半工業的規模の試験所が完成した。即ち Worna, Sandviken, 及び Domnarvet に於て。又スペインでも試験爐が建てられた。

工業的經營に適する最初の爐は、年間 10,000 噸の海

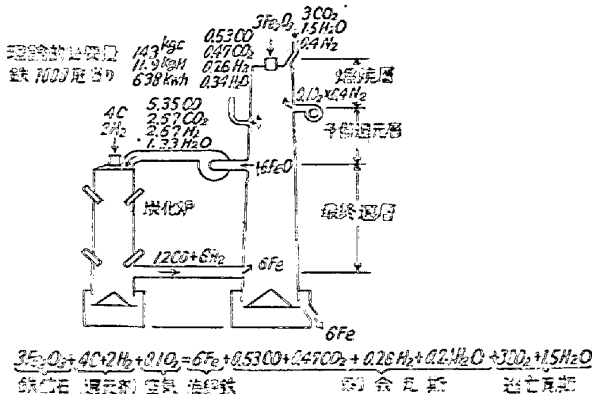


第2圖 三相型木炭式炭化爐

綿鐵を製産する勘定の下に、1932年に Söderfors に設立された。然し乍ら、1941年に至つて始めて、この設備を連続的に運轉することが出来た。斯の如く、連續運轉が遅延したことに就ての説明としては、其の一部に、高級な要求があつたからだ。其の要求とは、附屬装置の構造上、就中循環瓦斯用吸氣機、及び炭化爐とが設置されねばならぬからだ。吸氣機は還元爐からの瓦斯を 700~800 度の高温で吸引せねばならぬ。そこで現在、使用中の吸氣機では其のローター（軸車）はクロム 18%、ニッケル 20%、チタニウム 1% からなる耐熱合金鋼製のものである。しかも目下建設中の新しい、又大型の吸氣機のローターは、次表に示す成分を有する所の瓦斯タービン用合金 N.155 から出来て居る。

C=0.1%	CO=20.0%
Si=0.5%	W=2.5%
Mn=1.5%	Mo=3.0%
Cr=20.0%	Nb+Ta=1.0%
Ni=20.0%	N <sub>2</sub> =0.12%

次に凡そ炭化爐こそ、此の設備中の心臓である。還元用瓦斯は、希望の組成から成ることと、更に、均等なる溫度を有することがこの方法達成のため重要な要素である。往時の炭化爐の構造は此の二つの困難を有して居た。尤もそれは、其後解消されたけれども。最初の試験爐及 Söderfors に於ける頭初の本設備に於ても尙炭化爐の素材としては木炭が利用された。何となれば、木炭は其の中の硫黄含有量が非常に少ないからである。



第1圖 ウキーベルグ法に於ける理論上の過程

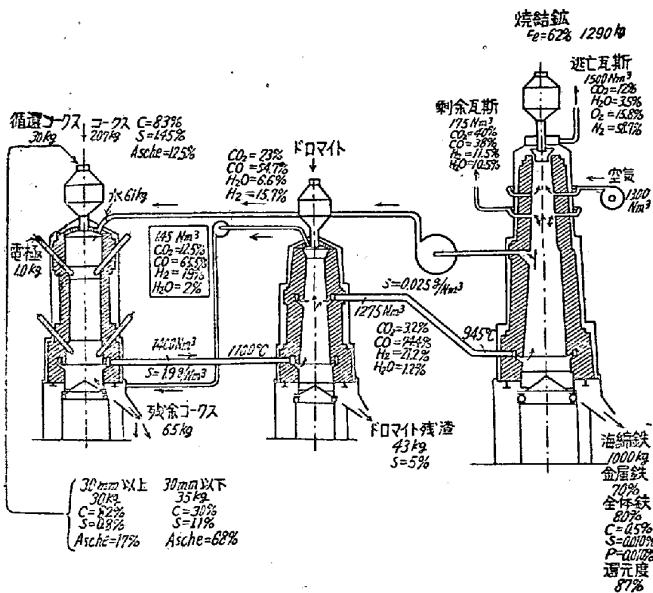
中 略

1941年11月に作業開始された全部が新しい設計の炭化爐に依つて、今迄の故障が取除かれた(第2圖参照)この炭化爐内に於ては、瓦斯は上から下へ、即ち木炭と同方向に流動する。此の如くして木炭中の濕氣は高熱反應層を貫流し、遂に瓦斯は炭化せらる。電流は六個の電極を通じて導かる。電極は天井を貫いて、下向へ突出しそして爐筒の中心部に於て、高熱帯が誘導さる。循環瓦斯は、天井に集中された入口を通じて流れ込み、丸天井と炭化物の表面との間の空隙に突入し、其の後主に爐壁の長さに沿つて下向へ流動する。其際瓦斯は中心の高熱帯を幕で包む様にして流る。炭化室の下方の狭い區域に於て瓦斯の仕上炭化作用が行われる。この炭化室は非常に長い間、満足に働いて居たことが判つた。例えば1942年から1945年迄の間、同一の炭化爐で3年以上も連続的に操業を續けた實例がある。

然し其後、高價な木炭から骸炭に移行するために、努力が拂われた。1940年に試験が始められ、遂に第3圖に示す様な炭化爐機構が完成された。それは1年間この方今尙運轉して居る。一見明瞭なる如く、此式は、前掲の木炭使用の炭化爐より著しく異つて居る。炭化爐の設計に就て、コークス特有の性質を考慮に入れねばならぬ。即ち骸炭は、灰分の多いこと、及び木炭より弱い電氣的特性を有することを考えねばならない。

木炭の場合の様に、やつては面白くない。即ち短い電極間隔を有する丈夫な爐の容器を使用することは實際的でない。寧ろ其の代りに、コークス炭化爐は「良導體柱挿入の原則」に従つて設計されて居る。炭化爐は比較的丈の高い、且つ狭い爐筒から成り、循環瓦斯は上から下へ、即ちコークスの進行と同方向に貫流する。爐筒の上下に於て、各3本宛の電極が設置さる。各上方の電極と之に對應する下方の電極との間には、一つの變壓器から電流が流される。そして、電壓は110乃至240ボルトを制御することが出来る。變壓器の第一次側は、高壓の同相と平行に結線さる。炭化爐には單相が用いられ、電流は爐筒の長さの方向に流れる。實際作業に於ては、爐筒の横斷面では、温度の均等なる分布が保持さることが判明して居る。Söderforsに於ては、多くの場合各變壓器當り150V, 2700Aを以て流る。それは、合計1200KWに相當する。但し  $\cos \phi = 0.98$  として、 $(150 \times 2700 \times 3 \times 0.98 \div 1000 \div 1200 \text{KW})$  コークスは、直徑60~80耗位の高爐用塊狀骸炭が適當して居る。コークスの灰分が、何等の故障を惹起させないためには、裝入されたコークスの約25%(重量)に相當する一定量が取出されねばならぬ。排出された残りのコークスは、篩分られて30耗以上の塊は、炭化爐に再裝入さる。此の方法に於てコークスの利用率は94~96%となる。

第3圖は、炭化材としてコークスを使用する場合に於ける各要素の平衡を示すものである。而して之は、海綿鐵一坩當りの數値で現在Söderforsに於ける平常操業の場合に調整されたものである。然し、近き將來に於て、之では、既に海綿鐵の含鐵分を90%迄(現在は80%)に昇すために、品位の高い原料に移行す可きことが注目されて居る。コークスの中のSは其の大部分が、瓦斯中に特に  $\text{SH}_2$  の形で出て行く。従つて瓦斯は清淨(脱硫)されねばならぬ。硫黃の濾過装置は、一つの豎爐があつて其の内に適當の大きさのドロマイトの塊を充填さる。炭化爐から出た瓦斯は、濾過用豎爐の下部に於ける環狀路から導入されて、ドロマイトの層の間を通過し、上部の第二環狀路を通つて放出さる。又硫黃濾過爐の上部筒に於ては、瓦斯の一定量が筒内を更に上方へ流れ其の保有熱を與えることに依つてドロマイトが加熱され、遂に燒石灰となる。(瑞典の特許。申告番號8719(1951年))。この瓦斯は、其後炭化爐に復歸されて、そこで下部に向つて浸入し、加熱された殘餘コークスに激突しつ流れかくて瓦斯は再び加熱され、同時にドロマイトの分解から誘導された炭酸瓦斯は、再び還元されて一酸化炭素となる。この装置の結果、又次のことが行わる。即ちドロ



第3圖 海綿鐵 1000 耗當り要素平衡圖

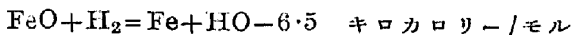
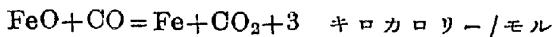
同時に、木炭に於ては、温度と共に電導度が上昇する如く、コークスの場合も亦、同様の性状を示す。然し其の上昇速度は同一ではない。コークスは冷温の場合でも亦、温暖程度に於ても、何れも木炭に比して高い。故に、

マイトは、殘存コークスの保有熱の利用に依つて加熱され遂に焙燒さる。

濾過爐の脱硫効率は良好である。即ち一噸の海綿鐵當り、60 匁のドロマイトを必要とし、海綿鐵中の硫黄は僅々 0.002 から 0.004% 迄しか含れない。消費されたドロマイトは硫化石灰、及び硫化マグネシウムの形で硫黄を 5% から 7% 含有し、之は炭化爐に於けるが如き、同型の排出閘盤の操作を以て濾過爐の下部から放出さる。かく放出することは、濾過爐内に煙塵が沈積しない様にするのを保證付けるために必要である。この目的達成のために最初は、石灰石を用いて試験された。然しドロマイトの方が機械的強度が大きく、従つて、濾過爐内の壓力抵抗を低下し得ると云う理由から、一層適切であることが判明した。

#### (ロ) 種々の還元剤に就て

ウキーベルグ法に於ては、還元瓦斯の組成が、爐内の温度調節上、重大なる意義を有して居る。還元層の最終階段に於ては一酸化鐵が金屬鐵に還元せらる。更に詳しく云えば、次の反應に依つて行わる。



上式に於て、一酸化炭素に依る還元は、發熱反應であつて、一方、水素に依る還元は、吸熱である。そこで、此等の反應熱から見て、 $\text{H}_2=37\%$ 、 $\text{CO}=63\%$  の混合瓦斯は、理論的に一酸化鐵に對して、何等の温度變化を起さないで、反應促進することが計算上認めらる。實際作業に於ては還元爐體の放散熱の損失が加るので、 $\text{H}_2=37\%$  より少ない程度の所に温度の平衡状態が起る。

Söderfors に於ける海綿鐵爐では、一般に、約 20% の  $\text{H}_2$  含量程度で行わる。實際作業に於て、熟練した經驗に依れば、 $\text{H}_2$  の含有量は、15~35% の間の動搖は生産に對して、唯僅かしか影響を及ぼさないことが判つた。 $\text{H}_2$  が僅に 5% になると、生産量は約 20% に低下し、又  $\text{H}_2$  が 35% 以上多く送ることは未だ試験されて居ない。單に水素だけを以てする還元は高度の仕上還元程度に及んで、反應は徐々にしか進行しないことが實驗室内の試験で知られて居る。

上述のことから、先づ第一に、 $\text{H}_2$  の含有量を希望の 20~30% 位に保たす様な、燃料と瓦斯發生装置を研究せねばならぬ。此の方法に際して、元來木炭を以て處理された。それと同時に、木炭に含まる正規の水素及温度から、希望通りの水素含有量を、自動的に高めることが出來た。

次にコークス使用に移るに及んで、水素の含有量は、

僅々約 5% 位しか高められなかつた。それは餘りにも低いことを示すので瓦斯中の水素を適當の高度迄高めるために、炭化爐の入口に於て、循環瓦斯に水を添加した。其の結果は炭化爐が半面、電氣式水素發生器として働くことになる。然しこの作業は、經濟的に見て面白くない。しかも前掲の諸要素の平衡圖に示す如く、比較的多量の剩餘瓦斯を放散せねばならぬからである。

理想的の燃料としては、 $\text{H}_2=7.7\%$ 、 $\text{C}=92.3\%$  を含まねばならぬ。石炭はこの要求に可なり接近して居る。そこで先づ以て、石炭に對して適當なる電氣的炭化爐が發達しなければならなかつた。之に近い解決策として、コークスに水素を含有する燃料、即ち加熱用油(重油)天然瓦斯及コークス爐瓦斯の如きものを加えることである。天然瓦斯は、スエーデンに於ては全々問題とはならぬが、然し例えば、米國に於ては、重要な事である。重油の添加試験は Söderfors に於ても、極く急速に成功した。油又は天然瓦斯から、適當の還元用瓦斯の製造達成も近づきつつある。而して、それは合成瓦斯に關する既知の製造法に倣つて、完成させることが出来るだろう。

この方法の經濟的價値に就て、燃料の占める重要性は次の第 1 表に示す通りである。

第 1 表 海綿鐵製造に於ける種々の還元剤の比較

還 元 剤 (瓦斯中 $\text{H}_2=25\%$ )	金屬鐵81%、全鐵分90% を含む 海綿鐵一噸當りの必要量	
	燃 料	電氣的エネルギー
コ	225 kg	1140KWII
水	-	
コ	111 //	940 //
重	63 //	
油	151 //	940 //
メ	41 m <sup>3</sup>	
タ	165 kg	940 //
ン	75 m <sup>3</sup>	
コークス爐瓦斯		

#### (ハ) 種々の鑛石に就て

ウキーベルグ法に依る海綿鐵製造に適する鑛石としては、次の指示に従う可きである。

1. 直立還元爐に適する鑛石としては、塊鑛、例えば 25 耗から 80 耗位のものでなくてはならぬ。
2. 鑛石の鐵分含有量は、品位の高い海綿鐵を製造するために、成る可く 65% 以上でなくてはならぬ。
3. 鑛石中の磷の含有量は、低減せねばならぬ。何となれば磷の全量が海綿鐵に残留するからである。
4. 鑛石は還元作業中、十分なる機械的強度を保たねばならぬ。

一般に、塊狀鐵鑛と同時に、燒結鑛も亦利用出来る。

Söderfors に於ては、種々の鑛石に就て、試験が完成されて居る。或る二三の場合には、良結果を以て、一致することがあるが、又他の場合には、還元中に鑛石が崩壊して、そのために、瓦斯の循環が望めなくなることがある。

鑛石の機械的強度は、明に、海綿鐵製造に際して、重大なる意義を有する。種々の鑛石の崩壊性傾向、及び之が原因を探求するために、鐵鋼協會に研究委員會が結成された。一酸化鐵、又はウスタイトの範圍から還元する途上に於て、軟弱なる状態が現わる。それは、爐筒の約半分の高さの所に普及する。海綿鐵爐の中で鑛石が如何なる状態を保つかと云うことを豫測することは、洵に重要なるが故に、次に述べる特別の検査法が完成された。

500 匁の鑛石試料を粉碎し、10~16 耗の篩にて篩分し然る後、之を回轉爐に投じて、950°C に加熱する。之に依つて鑛石をウスタイト迄還元するために、海綿鐵爐から既知の組成の還元瓦斯を導入する。かくて 3.5 時間の後、爐内に窒素瓦斯を充填し、そして 1 分間 66.6 回轉の速度で、合計 2000 回轉させる。冷却後、試料を取り出し、10 メツシの篩にて篩分する。10 メツシ以上の殘物は、鑛石と同じ良好の等價値を示すことが確められる。此の數値は、少くとも 70%、都合よい時は、80% 留まらねばならぬ。

品位の高い無定形結晶の赤鐵鑛、例えばスペインの赤鐵鑛及びカナダの Steep-Rock 鑛の如きは、一般に適應して居る。大結晶質の血色赤鐵鑛 (Bluteisensteine) は、屢々破壞する。かの Venezuela 産の、El-Pao 鑛石の如き、又瑞典産の血色赤鐵鑛、即ち Blötberg 鑛の如きは崩壊する。Kiruna 及び Toulluvara 鑛石の如きは、堅緻な鑛石なる故に、よき結果を收めらる。

Söderfors に於ては、瑞典の磁鐵鑛精鑛を以て、グリナワルト式燒結設備にて製造した鐵分 62% を含む燒結鑛を主に使用して、海綿鐵は鐵分 80% に達した。然し其後海綿鐵の鐵分を 90% に昇すために努力して居る。そのためには、精鑛の鐵分は 67% を必要とする。在來法で造つた鐵分の高い燒結鑛 (65% 以上) を使用すれば次第に爐筒に於て、懸滯的の故障が起る。之に對して、品位の高い精鑛から造られた球狀燒結 (ペレット) は、還元の際にも、爐況順調に運ばることが判つた。瑞典に於て、ペレットに重大なる顧慮が拂るゝに至つた。それは品位の高い精鑛で造つた立派なペレットの生産費が舊來行われた燒結法で出来る程度の經費以下に安くすることが、可能となつたからである。

Söderfors の還元爐に於ては、鐵分最高 69.5% を含

む瑞典産の磁鐵鑛精鑛單味のみから造つた球狀燒結だけを以て試験が完成された。そして其の結果は良好であつた。球狀燒結又はペレット式の設備は Söderfors に於ては勿論、其他海綿鐵工場の設置が企畫された瑞典國內の殘餘の製鐵所に於ても、同様に建設された。鑛石の還元度の難易は、勿論重要であつて現在の Söderfors に於ける還元爐を用いて、氣孔性に富む燒結鑛を原料とした場合には、1 日 30 匁以上の海綿鐵が得らるが、之に對して緻密なキルナ鑛石を以てせば、僅に 20 匁しか生産されない。

この方法の、經濟的の記録は、第 2 表に示すが如くである。

第 2 表 作業の結果

	ゼーデルフオルスに於ける現況	大還元爐建設後達成し得べき數値
海綿鐵の分析		
全鐵分	80%	90%
金屬屬度	70%	81%
還元元	87%	90%
一日の生産量	27t	60t
消費量(海綿鐵一匁當り)		
コークス	200kg	111kg
油	—	63kg
電	1100KWH	940KWH
電	1kg	1.1kg
ドロマイト(生)	60kg	70kg
勞働力(運搬を除く)	2.4人/時	1.5人/時

上表に於ける第一欄は、Söderfors に於て長期に亘り、連續的作業の下に、炭化爐にはコークスと水とを併用した實地作業の結果を一括したものを示す。第二欄には現在爐より、一段大きな還元爐を使用して、且つ品位のより高いペレットを原料として装入し、又還元材としてコークスと油とを併用した場合の豫想の下に、其の達成し得べき數値を示したものである。而して、このコークスと油との併用法は、早急に解決する可き問題である。

## (二) 海綿鐵の用途

Söderfors に於ては、海綿鐵は専ら、弧光式電氣爐を以て熔解して居る。更に詳しく言えば次の如し。第一、重いスクラップを爐底に充填し、電極をそのスクラップの上に降し、其の後海綿鐵を天井の穴を通して、装入する。通電開始するや否や弧光がスクラップの上に燃える。然る後、スクラップ自體から出來た熔鋼の上に燃えそして比較的の不良導體の海綿鐵が、此の如き方法で、包圍せらる。斯くて熔け落ちの熱効率は、良好である。又鐵品位の高いペレットから造られた海綿鐵は、電導度も高いので、普通のスクラップと同様に處理することが出来る。更に海綿鐵は、酸性平爐に使用する時も有利で

あることが確認されて居る。此の際は、1/3 が熔鐵 1/3 がスクラップ、1/3 が海綿鐵の割合で装入物が成立する。而して、之を以て 70% の銑鐵と 30% のスクラップ混合の場合より、増産することが出来た。又鹼基性平爐には、2.5% 迄の海綿鐵が良成績を以て使用された。

#### (木) 擴張計畫

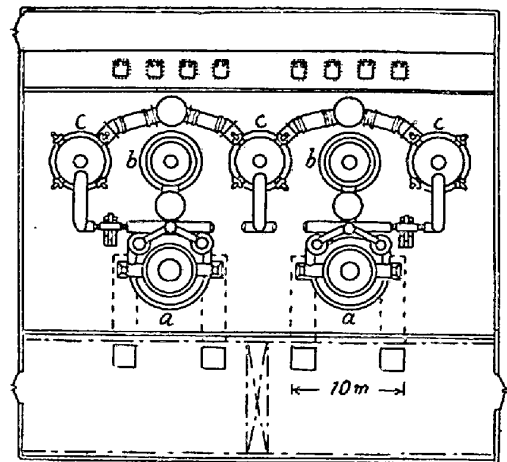
昨年度に於て瑞典國內の鐵鋼界では、Wiberg-Söderfors 法が、益々一大注目を惹く様になつた。そこで、次の問題が起つた。即ち Söderfors にて得られた經驗を基礎として、一大工場設立の提案が擧頭するに至つた。

現在より大型爐の建設に當つて、次の疑問が生れて來た。即ち相當生産量を増加するためには、如何なる程度に、還元爐の寸法を大きくするかが問題となつた。そこで、爐の直徑を次第に大きくする時は、遂に其の極限即ち爐の中心に於ける瓦斯速度が、餘りに緩か過ぎる或る限度に達すだろう。又、他の方法としては、爐の直徑を其儘にして爐筒の高さを増すことで、目的が達成せらる。然しこの方法は、多くの不利益を伴うものである。就中、高壓の吸氣機が必要であり、その外に装入物は高い柱狀鑛石充填物の荷重壓に堪えなくてはならぬ。そこで、結論としては、最終還元層の高さは約 6.5 米に留め、一方直徑を 2 米から 3 米に擴大した。斯くして、最終還元層の容量は 2 倍となり、従つて此式の一基當り一年間の生産量は 20,000 吨を期待することが出来る。

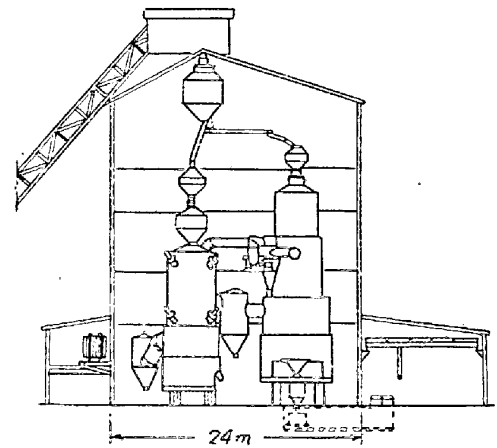
熱効率をよくするために、各還元爐毎に、炭化爐一基を設立せねばならぬ。大型の炭化爐には、上下の各電極面に於て夫々 4 本の電極を備え、2,000~2,400KW を出す様にした。斯くの如き海綿鐵製造設立の實行案は第 4 及第 5 圖に示す如くである。この工場は、二基の海更綿鐵還元爐から成立し、各爐夫々一個の脱硫装置を附しに三基の炭化爐を有し、内一基は豫備として保有する。年間 20,000 吨の生産を有す海綿鐵工場に對する建設費は 300 萬 DM (1\$=4.2DM) である。現今、瑞典國內に於て、多くの海綿鐵工場が建設され又は、設立が計畫されて居る。Sandviken 製鐵所では、2 萬吨能力の爐の建設が殆んど確定せられ、そして 1952 年内に作業開始の豫定である。

新しい設計(第 4 及第 5 圖)に依る工場が Hellefors Bruks AB., Hofors Bruks AB. 及び Uddeholms AB. に建設されるだろう。Hellefors に於ては第一爐が 1952 年中に完成の豫定である。又 Hofors 及び Uddeholm 會社の兩爐は、1953 年に多分完成するだろう。

1 年間に 2 萬吨以上の多量生産を擧げるだけの、一段



第 4 圖 一年間 40,000 吨生産の海綿鐵製造設備 (平面圖) (a) 還元爐 2 基 (b) 脱硫裝置 2 基 (c) 炭化爐 3 基



第 5 圖 海綿鐵製造設備の側面圖

大型の爐を建設し得ることは勿論望ましいことである。そこで、鋼や鉛の熔鑛爐の如く其の横斷面が、短形狀の還元爐が出来るか否か検討して見た。處が、短形狀でも瓦斯は爐内の内部迄容易に届くことが出来るが、海綿鐵の排出が一見して構造上困難であることと共に煉瓦積の設計が難しいことが、この方法を進める上に今日迄遠けられて居た。

ペレットの燒結が合併法で出来ることは注目に値することだ。之に依つて、濕つた生の燒結原鑛を海綿鐵爐に投じ、燃焼層にて燒結せしめる。然し此際、ペレットの燒成には、1250°C の温度を必要とすることに注目せねばならぬ。一方、之が海綿鐵の製造に際しては測定温度は約 950 度内外である。

今日迄海綿鐵は、大體に於て、高級鋼の原料として注目されて居た。故に一名“高級屑鐵”“Edelschrott”とも呼稱さる。又海綿鐵が一般普通の商品鋼の原料として

問題となるか否かは、コークス銑と略々同値で生産されるか否かに依つて決ることである。それは必ずしも不可能ではない様だ。

産油地方では、屢々利用し盡されぬ多量の自然瓦斯を獲得することが出来る。例えば Venezuela が此の場合だ。そこでは又品位の高い鐵鑛石を産出するが、一方石炭の産出は見る可きものがないので、天然瓦斯又は油から海綿鐵法に對して、適切なる混合瓦斯を造ることが出来る。こんな方法を用いて造られた海綿鐵は、コークス銑と略々同値にて製造されることが、計算上判つて來た。

電氣的エネルギーが非常に安く得らるる假定の下では、次の事が充分可能である。即ち、還元劑として主にコークスを以て製造せる海綿鐵は、コークス銑と競争して一般商品鋼の經濟的素材として役立つことが出来る。

#### (一) 總 括

木炭價格の高騰が次の結果を招來した。即ち瑞典の鐵工業が過去百年の間、専ら木炭銑に基礎付けられて居つたが、其の大部分が、他の原料に移行する様になつて來た。高級鋼の製造に關しては、Wiberg-Söderfors に依つて造られた海綿鐵が、愈々重大なる注目の的となつて來た。この方法に依る設備は、1941 年以來 Söderfors に於て順調なる操業の下に毎年 10,000 噸の生産を続け

た。頭初の間は還元用瓦斯の製造には木炭が使用された。1950 年以後には、コークス使用の炭化爐で作業が續けられた。そして瓦斯は塊狀のドロイトを充填せる直立豎爐を通じて脱硫されて居る。其の脱硫率は98%に及ぶ。

海綿鐵の原料としては、塊鐵と共に普通在來の燒結鐵及び球狀燒結(ペレット)が必要とする。種々の鑛石が Söderfors で試験されて居る。其の内でペレットが、殊に本法に適して居ることが承認された。この方法で鐵分が 63~70% を含む品位の高い裝入物を、使用することに成功した。

海綿鐵は特に電氣製鋼用として優秀なる素材であることが認識されて來た。又酸性平爐用として、海綿鐵は屑鐵と銑鐵とを併用することに依つて効果を擧げて居る。

四つの種々の高級鋼製造工場が瑞典に於て現在 Wiberg-Söderfors 法に依つて年間總計 12 萬噸の海綿鐵生産を目標して、建設中である。之等の工場の内 Sandviken に於ける設備は、1952 年の正月には作業開始されるだろう。全工場に亘つて品位の高い鐵鑛精粉から造られたペレットを使用することが豫想されて居る。

(昭和 27 年 10 月寄稿)