

鐵と鋼 第貳年 第拾號

大正五年十月二十五日發行

電氣製鐵に就て

桂 辨 三

(大正五年五月二十五日電氣學會東京支部例會に於て講演)

何か電氣冶金工業のことに就て話せと云ふことでありまして、電氣製鐵及び製鋼と云ふ表題になつて居りますが、餘り範圍が廣くなりますので電氣製鋼は他日に譲り、電氣製鐵と云ふことだけにお願ひしたいと思います。私は電氣製鐵に就きまして實地の經驗を持つたものではございませぬ。唯歐米の電氣製鐵事業の現況を少しばかり御話しまして、さうして歐米で使つて居る所の各種の電氣製鐵爐の型に就て、圖面を茲に持ちまして極く大略御話しやうと思ひます。冶金の方の立場から多く御話するやうになるだらうと思ひますから、諸君に大した御參考にならぬかとも思ひますけれども暫く御清聽を煩します。

電氣製鐵と熔鑛爐製鐵との比較 電氣製鐵と申しますと電氣熱で以て鑛石から鐵を採るもので詰り電氣爐を使ひます。普通の製鐵は所謂熔鑛爐を使ふのでありますが、其熔鑛爐の代りに電爐を使ひ電氣の熱で製鐵するのであります。それで製鐵の原料たる鑛石は酸化鐵でありますから何れの法によるも其酸化鐵を還元するのに還元劑が要るので骸炭又は木炭を使ふのであります。所が熔鑛爐に於ては還元劑の外に熱を起す所の燃料になる骸炭又は木炭が餘計に要りますが電爐の方であり

2
ますと單に酸化鐵を還元するだけの骸炭又は木炭しか要りませぬ。熔鑛爐では爐内の溫度を高むる爲めには骸炭又は木炭の量を増さなければならぬ。骸炭又は木炭の量を増すとは經濟上及び他の理由によりある程度以上實行が出来ぬが、電爐では此れ等の還元劑に關係なく電力を増し自由に高溫を得るの便があつて、チタンを含む鐵鑛等の到底熔鑛爐で熔解し難きものを所理するには恰適のものである。然らば普通どの位還元劑が使はれて居るかと云ふと、製鐵一噸に對して極く大體な勘定であります。熔鑛爐の方では骸炭一噸を要することになつて居て、其の中で約三分の一即ち一噸と云ふものが鐵の還元に使はれる骸炭の量で、殘の約二噸と云ふものは熱を起す爲めに使はれるのであります。故に電爐であまりすと此の二噸に對するだけの骸炭(又は木炭)が必要であつて、あとの約一噸の熱を起す骸炭が要らぬとなり、電氣熱で其の代りをするのであります。此の關係から雜と熔鑛爐と電爐と兩製鐵法の經濟上の比較が出来ます。唯熱を起すための燃料と、一方は電氣熱を起す電氣熱とを比べますと、其の他の細かい製造費は兩者多少違ひますが假りに大體同じとしますと、大凡そ熔鑛爐法に對する電氣製鐵法の價值が分つて來る譯であります。然らば電氣製鐵の方で一噸の銑鐵を造るにどの位の電力消費があるかと云ふと、是れは主に鑛石中鐵分の高低に依りますし、又製造すべき鐵の品質の如何に依つて大いに變つて來ます。譬へば鐵分五〇%を含む鑛石を用ひ一K.W.年の電力にて三噸半の鐵を得るとすれば、鐵分六〇%の鑛石では四噸、鐵分七〇%の鑛石では五噸の銑鐵を得ると云ふ風になるもので、先づ一噸の銑鐵を造るに二二〇〇K.W.時を要するとしますと、一K.W.年の電力からして約四噸の鐵が取れるようになります。然るに熔鑛爐で四噸の鐵を造るには約一噸の銑鐵を造るに約二、七噸の熱を起す爲めの燃料が要るとに成りますから、一K.W.年の電力費が二、七噸の骸炭と同じ價額であれば丁度鐵一噸當り熔鑛爐の製造費と電氣爐の製造費と同じになり、電力一K.W.年の價が二、七噸の骸炭より廉かつたならば、電氣製鐵の方が利益で事業が成り立つと云ふとに考へられる。斯

くの次第であるから餘程電力が廉くないと一般的には電氣製鐵は行はれないと云ふことになります。次に熔鑛爐と電氣製鐵爐と操業上差のある點を申上ませう。第一に鑛石に就て見ますと、熔鑛爐の方では随分大きな鑛石の塊を使ふとが出来ますが、電爐の方では大きな塊を使ふわけに行かぬ、小塊に碎かなければならぬ。碎く程度は主に爐の種類に依て違ふのでありますが相當のものに碎かなければならぬ。還元劑の方は鑛石に比べて少しは粗らきものを用ひます。何故碎かなければならぬかと云ふと、熔鑛爐の方でありますと爐の下部より風を吹き込んで出来る瓦斯が高い爐體を登る間に瓦斯が鑛石其物の細孔に這入り込んで還元するのでありますから、塊が大きくても働きが能く行はれ且つ高い爐體を鑛石が下る間に段々還元が進んで行きますから大きい塊で差支ないのであります。粉狀では瓦斯の上昇を妨げ用ひられませぬ。所が電爐の場合には少量の還元劑のみを用ひますから瓦斯の量も非常に少く、爐の下部以上の温度低く瓦斯を十分酸化鐵を還元せしむる温度迄に達しない。従て瓦斯による還元は甚だ不充分であります。大部分は所謂直接還元なるもので瓦斯によらず炭素其ものが直接酸化鐵を還元するのであります。斯く木炭又は骸炭と鑛石と相接觸して初めて還元するのでありますから小さく碎かなければならないことになります。第二に燃料の方から申しますと骸炭より木炭の方が適當してあります。熔鑛爐では高い爐體に充たさるる装入物の壓力にて押し壞されて瓦斯道を閉塞する恐れがあるので、堅固な最上等の骸炭を要するのであります。電爐の方では前申した通り寧ろ粉の方が能く働き適當に碎く必要がありませんから、熔鑛爐に使ふやうな優良のものを選ばなくても灰分さへ少ければ軟かなる粗惡の骸炭で宜しい屑骸炭と云ふやうなもので差支ない。第三に瓦斯は熔鑛爐の方では下より送風を行ひ多量の瓦斯が出ますが、電爐の方では送風を行はないうで還元劑も少量であるから瓦斯は甚だ少く熔鑛爐の十分の一位しか出ませぬ。第四に製品に就て申せば銑鐵の品質の均一と云ふことから見ますと、どうしても熔鑛爐に及ばない。餘程今日で

4
は電爐の方も進歩して來ましたけれども、まだ熔鑛爐に比べますと製産物の品位に變化が多い。是點は電氣製鐵の性質上致方がないのであります。熔鑛爐では高い爐體に燃料と鑛石を容れて其れが段々に下に降る間に瓦斯で還元されると云ふように、漸次に且つ一樣に働いて來る譯であります。電爐の方でありますと還元に要する熱が電氣で出來ますから其電氣は爐内抵抗の少い部分を自由に通るのでありますから、何處か一箇所過熱されとか或は骸炭が餘計這入るとかしますと、抵抗が減じて此部分を餘計に電氣が通り益々此局部が熱くなり益々抵抗を減じ益々電氣が通ると云ふ風で爐の中の状態を一樣に維持すると云ふことが甚だ難いので、従て温度其外色々の關係からして製品が熔鑛爐程均一のもので出來難いのであります。それからもう一つの理由は電氣爐には經濟上通常良鑛を用ひますから、^{からみ}銻(錳)の量が極く少くなるからであります。銻は出來上る鐵の成分の變化を調節するもので、銻の量の多い熔鑛爐では鐵の品質の不同に對する調節がよく出來ますのであります。第五に操業の難易に就て申しますと、是は電爐の構造や又其製品に依て非常に違ひますが、概して電氣爐の方が熔鑛爐に比し操業が簡易でありまして、製鐵一噸當りの職夫の數も遙かに少くて濟むのであります。最後に第六に建設費の方から申しますと、電爐の種類に依つて大に變つて來ますが、込み入つた爐を造る場合には熔鑛爐と大差はありませんが、大抵の場合には熔鑛爐より遙に廉いものと見て宜しいので、場合によれば熔鑛爐の約半分になるのであります。

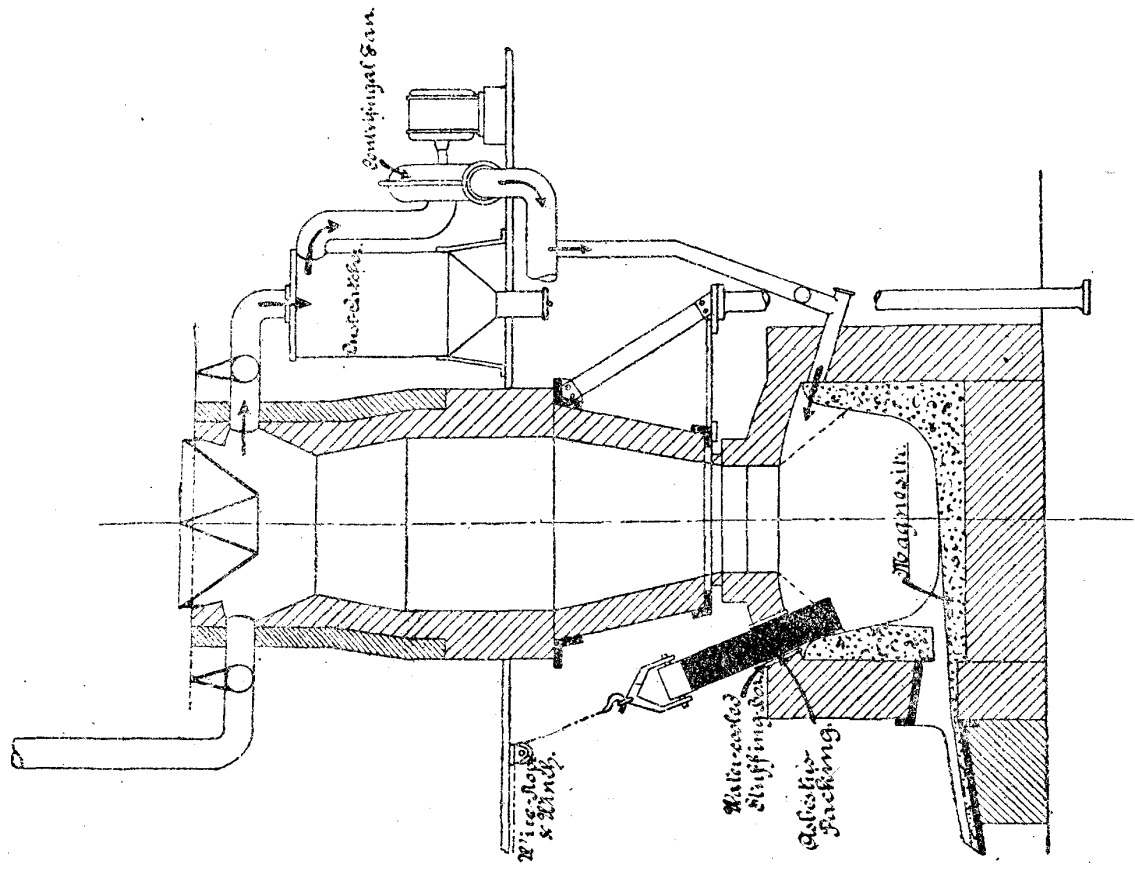
世界に於ける電氣製鐵業の概況 今日歐米で電爐から何程の鐵が製出されて居るかと申しますと、明かな統計がありませんので大體を申しますが、爐の數は瑞典で今日操業中のものが八つ、諾威の方で四つあるようでありまして、それからして米國加州で二つあります。それで全體の年産額が瑞典諾威を合せて十萬噸位で、加州の方が一萬五千噸位のものであらうと思ひます。先刻も申しましたやうに電氣製鐵の發達すべき場所は電力が廉いか、電力はさう廉くなくとも燃料が高價とか云ふ所に起

るのでありますが、諾威瑞典は電力は大變廉くさうして骸炭が殆どありません。大變高價に附きます、それで良好の木炭、燐分約萬分の一は割合に廉く得られる土地であります。加州の方にありますと水力も餘り廉くない、燃料も相應に高いのであります。此處では富良なる磁鐵礦があつて、そして鐵は餘程高價に賣れますから電氣製鐵が成立したのであります。もう一つ將來大に電氣製鐵が起るべき國は加奈陀であります。加奈陀は水力が豊富で、鐵礦も相當に得られ、そして一方には熔鑛爐の燃料たる骸炭は得難きも木炭が非常に豊富と云ふのであります。加奈陀は水力が豊富で、鐵鑛も相當に得られ、そして一晩事業になつて現はれるであらうと思はれます。それから日本のことに關しては一番終りに御話致します。

それで電氣製鐵は今申した位の國しか成立つて居りませぬ。何分此事業は起りましてからまだ十年ばかりしか経ちませぬので、實際は最近數年の進歩でありましてまだ曖昧な點もありますし、大に研究すべき事柄が残つて居るのであります。しかし前申しましたような國々に於て試験的の時代だけは通り過ぎて、工業的に充分成立つて居る次第であります。

電氣製鐵爐の種類及び其比較　電氣製鐵に用ひられております電爐は大體どういふ風のものであるかと申しますと、盡く抵抗爐の型であります。二或は二以上の電極がありまして其電極は殆ど常にカーボン電極で、電極の間に裝入物が來まして將に熔けんとして居る所を電氣が通るのであります。勿論其下には熔けた鍍があり尙下には熔けた鐵がありまして幾分此中を電氣が通りますが、主に熔けつゝある所を通り其の抵抗に依て所要の熱が出来るのであります。爐の形から大別しますと Shaft type (高爐型、第一、二圖) と Shaftless type (横爐型、第三、四、五圖、加州では Long and narrow type と申します) の二つになります。第一、二圖の様に高い方は高爐型のもので、第三、四、五圖の方は皆横に擴つて居る横爐型の方であります。高爐型の方は圖に見ゆる如く高い爐體(Shaft)になつて居つて、其最上部から裝

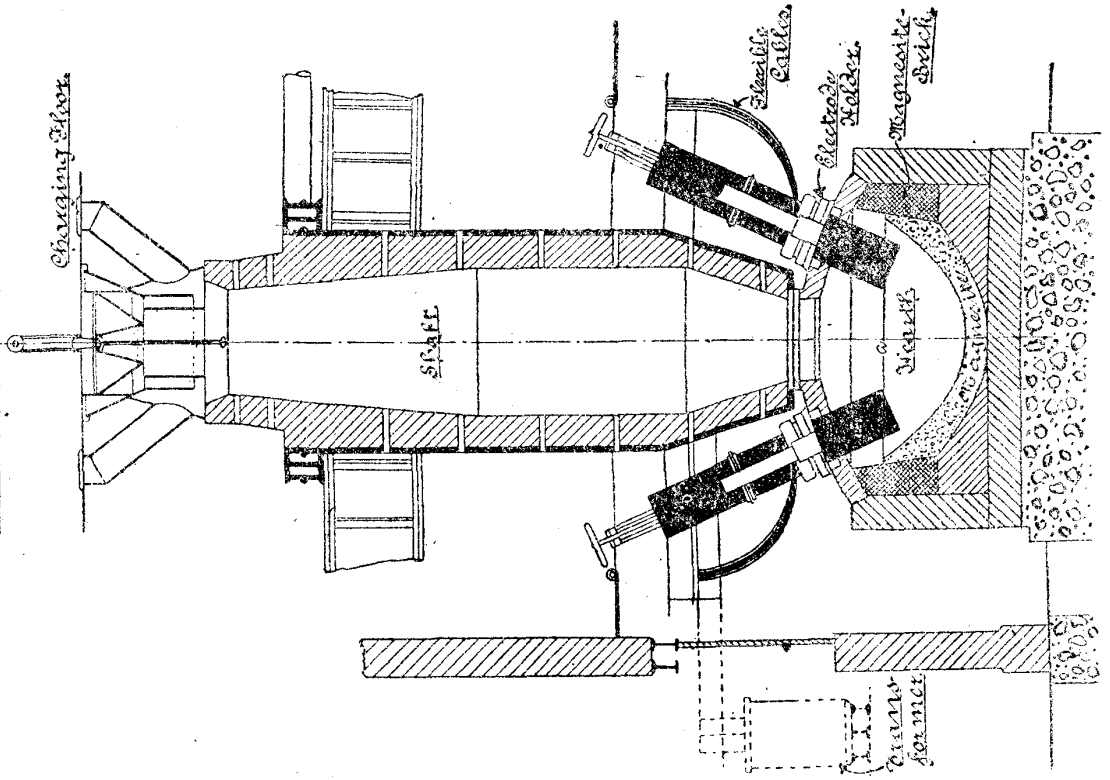
第一圖



60030. S. Ph. v. Demmshof-Bremn. a. G.

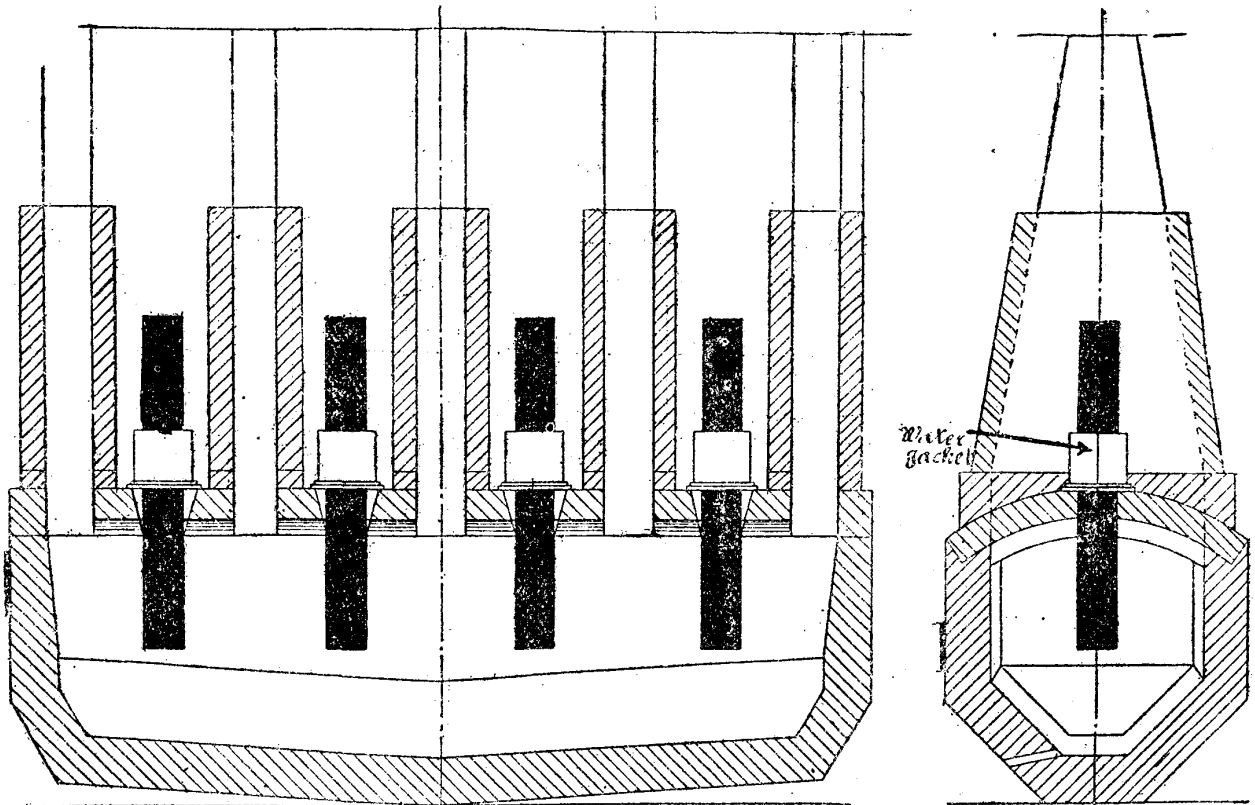
第二圖

20220. S. Ph. v. Demmshof-Bremn. a. G.
of Electric Furnace (Zinn) (Zinn) Typ. a. G.
at Dänische Smelteværk.



第三圖

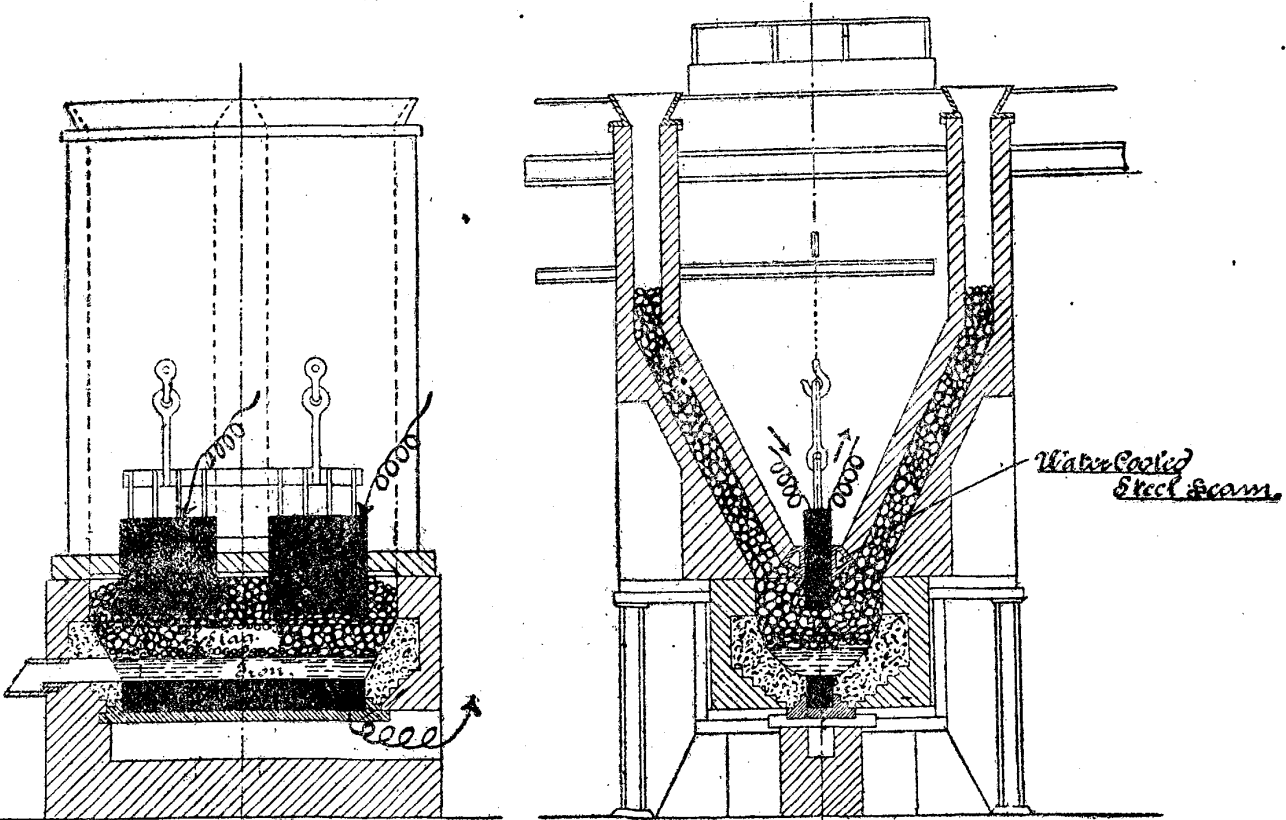
電氣製鐵に就て



3000 K.W. Long & Narrow Type Iron Smelting Furnace, at Arcoult, California.

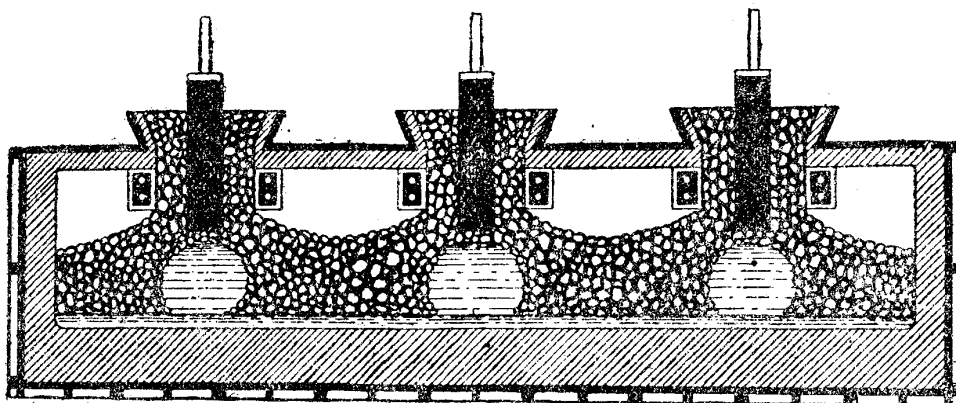
第四圖

1001



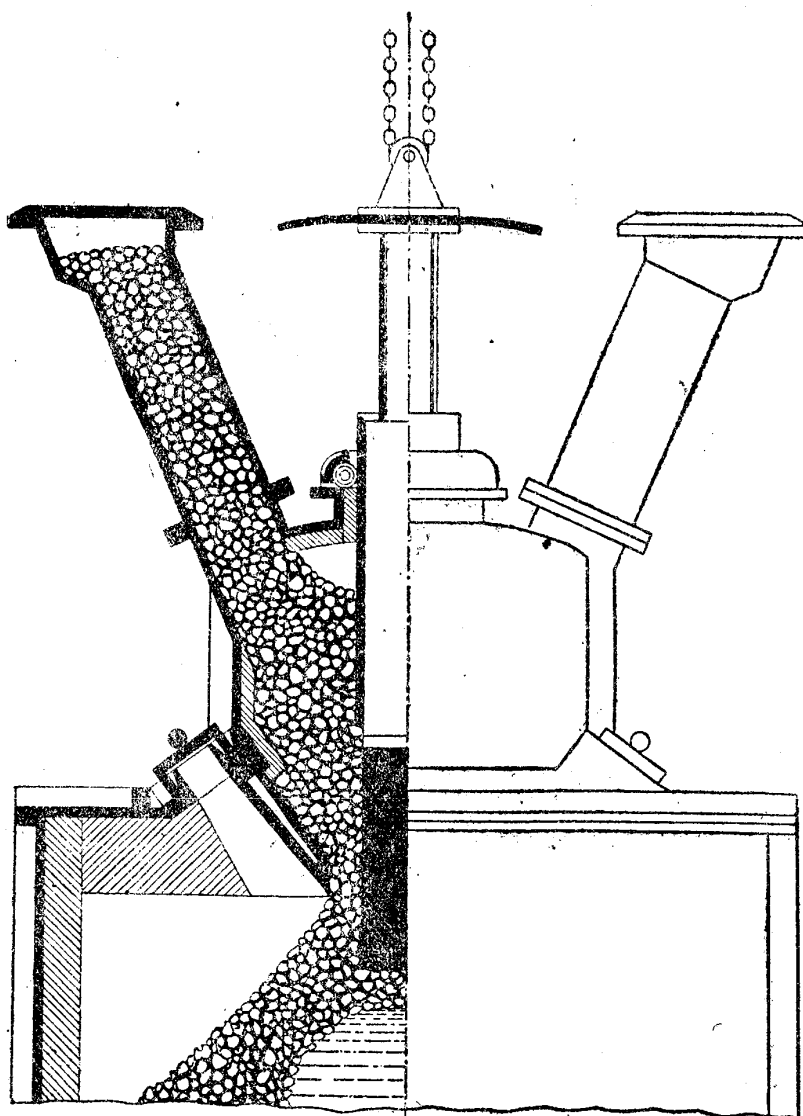
1400 K.W. Iron Smelting Furnace of the Simple Iron Works, Germany.

第五圖



12,000H.P. Three-Phase Helfenstein Iron Smelting Furnace, at Damnarfnet, Sweden.

第六圖



Helfenstein Patent Charging Arrangement.

鐵
と
銅

第
貳
年
第
拾
號

入をします。丁度熔鑛爐と同しような形のもので段々装入物が下りまして電流が通り第二圖の邊で熔ける其下部は熔けた鐵の溜まる所の熔解室であります。熔解室の上部の圖に見へるやうに電極があります。それからして横爐型の方は圖にある様に横に長い部屋になつて居りましてそれに數個の電極か天井から下つてあります。さうして横爐型には高爐型のやうな高い爐體はありませぬ。鑛石を装入する爲めに幾個か短い裝入口が附いて居りまして、高爐型に比較すれば餘程低いものであります。それで此幾個の裝入口の間に電極が直立に並列されて居ります。第四圖のものは少し異つて居りまして各電極の兩側に二箇宛の裝入口がありまして是より装入するようになつて居ります。

それで此二種の電爐の型で操業上どう云ふ風な違ひがあるかと申しますと、第一、用ゆべき鑛石の大きさから云へば高爐型の方は高いのでありますから鑛石が餘り粉ではいけない、相當の大きさのものでなければならぬ。瑞典諾威に行はるる磁鐵鑛を細く碎いて磁力選鑛を行ひ取つた砂狀鑛を其の儘装入することは出来ない。幾分瑞典では約二割位の砂狀選鑛を混ぜます。之を混ぜることは出来るが全部之を用ひることは出来ない。瑞典では木炭は拳大にし鑛石は之より小さくして用ひて居ります。所が横爐型の方になりますとさう云ふ砂狀のものを全部用ひることが出来ます。第二、還元劑から申しますと、高爐型の方は骸炭のみを用ひると甚だ拙いのであります。段々技術が進歩して來るやうになりましてが猶此型に骸炭のみを用ひますと、爐内の電氣の抵抗減じ従て電壓を木炭の場合より約二割も下げる必要があつて建設費が高くなる。加之骸炭を用ふると木炭に比して爐の負荷の變化甚しく従て製品が一樣になり難く且爐の効率を減ずる。然るに横爐型の方ではそれだけ甚しく骸炭が影響しない。急に爐内の調節が出来る横爐型の方が骸炭を用ふるには適します。第三、爐内の調節の難易から云へば、横爐型の方が遙に簡單に迅速に出來ます。横爐だと丈が低いから装入物が早く鐵になることが出來て、而かも多數の低い入口から必要に應じ装入物調合の割合を變じ速に爐中の状態を

調節することが出来るので、拙く行つた時にも早く恢復することが出来ます。高爐型の方は装入口より鐵の出來上る所までの距離が遠く、装入物の變化により速に爐狀を調節することが出来ないのです。元來電爐では前申した通り變化が起り易く一體に良い均等の鐵を造り續けることが容易でない弱點がありますから調節の簡單なことは最も大事のこととであります。従て鑄物に適する硅素の高い銑鐵を造る様な場合には高爐型に比べて横爐型の方が適當であることが判ります。第四爐の瓦斯に就て云へば、高爐型の方では熔鑛爐に於けるが如く爐頂よりの瓦斯を爐の下部に導き循環せしめることが出来ますから注意して此操業を行へば一酸化炭素の利用が出来る爲めに一割位還元劑を節約することが出来又一割以上電力消費を節約することが出来ますが、斯の如く瓦斯を繰返すと一方に不利益も起り熔解室の所を冷し過ぎ熔解帶の位置を高上する傾向を來し又他方には電極の消費を高めるのである。所が横爐型では絶対に瓦斯を繰返すことが出来ぬ、何故かと云へば瓦斯を繰返すと爐が低いから爐の熱が上部に上り過ぎて、爐内を熔結して故障を生じ易い、故に横爐型では爐の瓦斯中の一酸化炭素をもう一度鑛石の還元利用すると云ふことはできない、併し電爐は普通の熔鑛爐と違ひまして爐の下部以上の温度が高くないのであります。熔鑛爐の方では下部で出來た多量の瓦斯が熱を以て昇つて來ますから、爐の中部以上の所でも一酸化炭素で酸化鐵を還元する充分なる温度となり、循環の効力が充分であるが、電爐では瓦斯の量も極く少く且瓦斯で還元する迄の温度になり難い、従て爐から出る瓦斯を還元利用すると云ふ瓦斯循環の効力は甚だ少いことになる。加之電爐の瓦斯は熔鑛爐の瓦斯と違つて瓦斯中に窒素の這入ることは少ないので瓦斯の復環を行はない場合には主に一酸化炭素となり、一立方米の熱量約三千カロリーのものとなり、寧ろ特殊の化學工業に利すべきものである。瓦斯の循環を行へば瓦斯は三割以上の炭酸瓦斯を含み一立方米の熱量約二千三百カロリーのものになり、此様な炭酸瓦斯に富む瓦斯が循環して來るから電極の消費

を高める。斯くの次第で電氣製鐵の場合には必ずしも瓦斯の循環が利益と云ふことにならないのであります。第五、能率は高爐型に比し横爐型の方幾分か低い。それから色々細かいことはありますが省きまして第六に建設費に於て一言しますと、高爐型は殆んど熔鑛爐程掛りますが、横爐型の方は廉いのであります。變壓器、配電盤、建家等一切含めまして高爐型の建設費は先づ横爐型の一倍半或はそれ以上になります。

電氣製鐵爐の發達 段々概説が長くなりますが、今日實際斯う云ふ二種類の電氣製鐵爐が成功して行はれて居ると云ふことを申しましたから、次にどんな風にして此等今日の爐型が出来上つたかと云ふ歴史的事を簡単に御話しましやう。一番初に伊太利のスタツサノ(Stassano)と云ふ人がアーケ型の爐を造つて、鑛石から鐵を取り、鐵のみならず更に進んで鑛石から直接に鋼を取ると云ふ研究をしたので、それが千九百年頃でありました。それから加奈陀の政府が委員を招集し加奈陀の鑛山局長が委員長になつて委員の一行をして歐洲の電氣製鐵に就き踏査せしめたが、此一行は千九百四年佛蘭西のライブエー(Livey)と云ふ所で其頃鐵合金を造つて居たケレー(Keller)式爐を視察し、其所で此爐を用ひ鐵鑛から鐵を取る試験を依頼して、大に有望なることを確めて歸つて來たのであります。其の頃佛蘭西のエールー(Heroult)と云ふ有名なる電爐の大家も千九百年カーバイト工業の大恐慌の後には自分の工場で大に電氣製鋼といふやうな方面の研究をして居つたのであります。それが加奈陀の囑托を受けて加奈陀に渡つてソーサントマリー(Saint Ste. Marie)と云ふ所で小さなエールー式熔鑛爐で色々の試験をして、其報告が千九百七年に鑛山局の報告となつて發表されたのであります。それを見ますと赤鐵鑛、磁鐵鑛、焼いた磁硫鐵鑛等を原料とし還元劑に木炭を用ひて其結果は大に有望であることを確めたのであります。磁硫鐵鑛の中にはニッケルを含だものがありました。是よりフェロニッケルを造ることを得ることや、硫黃の高い原料より硫黃の低い鐵を造ることが出来ることも知られた

12
のであります。それからして理想の製鐵用電爐としてはハーネル、エール（Haanel-Heroult）式と云ふ
爐を發表して、此爐に依て大に製鐵所を起したら宜からうと云ふことを公表し、起業者には政府から
相當の補助もすると云ふことであつたが、實際誰も創めるものがなかつたのであります。此のハーネ
ル、エール式爐なるものは横爐型の爐でありまして、殆んど今日のティンフォス工場の電爐（第四圖）
と同じで、詰り此原爐に倣つて今日の爐が出来るやうになつたことと思はれます。其他今日の横爐型
は多くは此原爐から案出されたものであると見て宜しいのであります。又加州の Heroult と云ふ所
もエール氏により千九百七年七月に今日此所で用ひて居る爐（第三圖）の前身である同じ様な型の
2000h.p. の爐を拵へて電氣製鐵の試験をしました。これから終に今日の型の爐が出たのであります。そ
れから今日電氣製鐵の最も發達して居る瑞典の方でも加奈陀の試験に勵まされて、グレンワル（Grön-
wall）、リンドブラード（Lindblad）、スタルハーネー（Stallone）の三人が非常に熱心に電氣製鐵の研究を始め
て、そうして瑞典の製鐵會社が大に是等の人に援助を與へて種々研究の結果出来上つたのが、所謂ド
ムナルフェト（Domnarfvet）式爐（第一圖）で千九百八年に瑞典のドムナルフェト製鐵所に建つたのであり
ます。さうして千九百九年の七月迄試験をして兎に角有望と云ふことを確めて、次の爐の建設に移たの
であります。此ドムナルフェト式爐は大體の形は木炭を燃料として製鐵を行ふ瑞典式の熔鑛爐と
同じで、唯其下部に大きな熔解室を取附け茲に電極を備附けたもので、三相式であつて三本の電極を
置いたのであります。此爐は六〇〇K.W.の爐で、變壓器にて20—30voltsの間を得るとが出来るものであ
つた。それで此爐の出来上るまでには随分苦心したのであります。どうしても電極の這入る所で鑛
石と爐の壁と一緒に觸れては電極の所に起つた熱で爐壁が鑛石に侵されて爐壁の持ちが悪いと云
ふので、電極の爐壁に通つて居る所には爐壁が鑛石に觸れないやうに圖に見へる通り空間を存する
やうに計畫したのであります。そして爐頂より出る瓦斯を此空間に導き瓦斯の循環を行ひ、一方には

之により爐の天井を冷し損害を防ぐやうにし、一方には一酸化炭素を繰返して鑛石の還元を利用するの考であつた。此操業の結果有望と云ふことを確めたのであります。それから前申した通り是と殆ど同時に米國の加州でも Heroult と云ふ所で電氣製鐵の研究を行ひ種々の爐も試用されたが遂にドムナルフェト式爐と同型の爐である一五〇〇K.Wのリオン(Lyon)式爐を案出して千九百九年より操業を創め其後事業繼續し以て千九百十一年に到つたのであります。唯リオン式爐とドムナルフェト式爐と異つて居る點は瓦斯の循環を行はないこと、黒鉛電極を用ひたことと、其他は殆ど同じであります。それから Heroult では重に鑄物に使ふ硅素の高い鼠色鐵を造ることを目的としましたから、先程申しました通りリオン式の様な高爐型では工合が悪いと云ふので、次に此處では此を廢し後程申しまる横爐型(第三圖)の爐に改めて今日も引續き用ひて居るのであります。

グレンワル(Gronwall)式爐 瑞典の方では前陳ドムナルフェト式爐の經驗に基き次に成立つたのが有名なるトルロルヘツタン(Trollhattan)製鐵所に於ける第二圖の爐であります。此爐は矢張りドムナルフェト爐と大同小異で、改良の點は電極の保持金物と爐體の支柱の差であります。此爐がグレンワル式爐とも云ひ又エレクトロメタル(Elektrometall)會社の專賣になつて居るのでエレクトロメタル式爐とも呼ばれて居まして、今日瑞典の電氣製鐵爐の常式となつて居るものであります。此爐は千九百十年の十一月から操業を創め今日も引續き用ひられて居るもので、之に習ひドムナルフェト製鐵所にも同式四千馬力の爐が建たのであります。第二圖にありますトルロルヘツタン爐は三千馬力の二相式四本の電極を有して居りますが、何故今度は三相式を二相式にしたかと云ふと、二相式の方が三相式より爐内の變化が少からうと云ふのであります。此二相式爐は全體の高さが四十五呎、爐體の最も廣い所の内徑が七呎半、それから熔解室の所の内徑が十二呎半、其高さが内法で七呎と云ふやうな大さの爐で、電極は徑二呎のもの四個あります。電力は政府の發電所より供給され、三相二十五サイク

ル、一萬ヴォルトのものを、二個の變壓機を使ひスコット式連絡法により二相に變へて、電壓は50—30 Voltsの間を調節する様になつて居り、實際使用の電壓は35—50 Voltsである。それで斯う云ふ風な二相式爐は此製鐵所に一個あるだけで其後ドムナルフェト製鐵所に置いたのは三相式六個(各徑約二十吋)の電極を備へてあるものです。此三相式グレンワル式爐が今日スカンデイナブイアで最も多く用ゐられて居るもので3000hp, 3500hp, 4000hpの三種の爐があります。それで前記トロールヘツタン爐の昨年中の操業の結果を見ますと、鑛石は主に磁鐵鑛で一部赤鐵鑛を混ぜて平均品位鐵分六〇%以上のものを用ひ、鑛石に對し九%餘の石灰石を熔劑に用ひ、鏝中の硅酸約四〇%とし、銑鐵に對して木炭三六%を以て、一年三百三十二日間操業し、残りの三十三日間休で、此間に爐の天井及爐床の取換を一回行つたのであります。それで一箇年に七千三百餘噸の銑鐵を製出して居りますから、操業日數に對しては、一日の製銑高は約二十二噸に當り、一年の總平均にては二十噸に當ります。電爐に於ける電力消費は操業時間に對し銑鐵一噸に付約二、一〇〇、K、W時に當り、變壓器に於ける損失等を含み總電力は銑鐵一噸に對し約二六〇〇、K、W時に當つて居ります。それから出來た鐵は一晝夜に四回注出します。が、此所で造つて居る銑鐵の種類は主に所謂ピッグスチールで鑄物に使ふものではありませぬ。平爐鋼の原料にする硅素の低いもので炭素が2%—4%、硅素が0.05%—1% (普通0.3%)、滿俺0.2%以下、硫黃が0.01%、磷が0.02%位のものである。そして鑛石の價格が茲では一噸約六圓五十錢、木炭一噸約二十圓、電力が一馬力年が約十六圓、銑鐵一噸の製造費が約二十九圓に當つてあります。電極の消費は銑鐵製産量の千分の五位に當つて居ります。それから是れと同じような爐が瑞典に入つ、諾威の方には二位ありませう。さうして其製鐵は何れも主に平爐製鋼の原料に供して居ります。爐の瓦斯は循環せしむる場合には三〇%以上の炭酸を含むも、循環を行はざれば主に一酸化炭素となりますが、爐瓦斯の循環は行はずして之を平爐の燃料及其他に利用するのが近頃の傾向の様であります。それから此式

の爐の能率即ち利用された電力の供給された電力に對する割合は〇・八以上であります。

Heroult 式爐

次に横爐型の方の實例に移ります。第三圖は加州の Heroult に發達して來たもので、

此所ではロング、エンド、ナロウ型と稱せられて居るものであります。三相三〇〇〇 W の爐であります。三相の處に四個の電極があるのであります。此四つの電極の連結は多分二つ宛連結してデルタに連結されてある様でありますが判然と分りませぬ。此爐は最初は二〇〇〇 K、W の爐であつて、丁度千九百十一年の十一月から、前申した高爐型のリオン式爐に代り、今も尙用ひられて居るものであります。其の後千九百十三年に第三圖にある通り三〇〇〇 K、W の爐を増設して今日は都合二個で操業して居ります。二〇〇〇 K、W の爐には七五〇 K、W の變壓器三つあつて電壓は 40—80 Volts 間の調整が出来る様になつて居る。それから四個の電極はアチソン會社製の黒鉛電極で徑一呎、長さ四十八寸のもので、凡そ一箇月の連續操業に堪へると云ふことです。爐の外部にて長さ約二十八尺、幅が約十尺、高さ約十二呎と云ふ細長い爐で第三圖に見える様に爐の長さに沿ひ五個の裝入口が一行に並んで居ります。其各二個の間に電極が配列されてあります。此所では概して鑛石は極めて優良なる磁鐵鑛(鐵六七%以上、硅酸は極く少く二・五%、磷萬分の一餘、硫黃萬分之二)を使つて居ります。併し品質の稍悪い鑛石も、試験した例もあります。還元劑には銑鐵に對し約四〇%の木炭を使つて、熔劑として少量の石英鑛石の二・五%及石灰(鑛石の〇・七%)を加へ、どんな鐵を造つて居るかと云へば鑄物に使ふ鐵で、硅素が二—三%炭素が三%餘、磷は萬分の三以下、硫黃も約萬分の三と云ふ様なものであります。それから出来る鑛の硅酸分は四五%以上であります。此所では鑛石の品位が高いから出来る鑛の量が極少く、銑鐵の七%以下に當り、從て鑛中の鐵分は二%以上であらうと思はれます。此爐の電力消費は銑鐵一噸に對し約二二〇〇 K、W 時に當つて居ります。それから電壓の調整に就ては今夕はまだ御話致しませんでしたが、一例として此爐に於ける調整法を申しませう。其他の場合も大同小異であります。Pr

inaryの側の八個のタップと一個のCompensatorがありまして、之により前申した40—80voltsの間に十七段の變化が出来る様になつて居ます。斯くして爐内電流の調整は兩極の昇降によらないで、電壓を變へて之を行ふので、電極は消亡につれ下げるに止るのである。此爐の力率は0.7—0.9になつて居ります。それから爐頂よりの瓦斯は容量にて炭酸約六%、一酸化炭素約六〇%のものであつて、循環されては居りませす。此爐はグレンワル式爐に比べて能率稍低きも操業遙に容易にして速に爐内の調節を得、從て製出錠中の希望硅素分に對し〇.五%以上の差違を起さぬ様に操業することが出来ることと云ふこととであります。

諾威では電力費は瑞典に比し低廉なるも、木炭高價にして骸炭を用ふる方が寧ろ利と云ふ譯からして諾威のハールダンガー製鐵所(Hardanger works)では、千九百十一年の終り頃より千九百十三年に互り、グレンワル式爐を以て骸炭を還元劑とすることを研究しましたが、結局鑛石の品位が低かつたのと、變壓器の電壓が骸炭使用に對して高過ぎたると、各部の設備が悪かつた爲めとて好結果を得ずして中止しましたが、Oedpinski教授の意見によれば骸炭を用ふる場合には、變壓器の電壓は45—70voltsたるべく、且つ鑛石は鐵分高く硅酸低きものを選び、鏝は石灰分高き強度の鹽基性のものとすれば骸炭のみを還元劑として差支なからうと云ふこととあります。

ティンフォス(Tinfos)式爐 次は第四圖にあるもので諾威のティンフォス製鐵所で使はれて居る横爐型の例であります。此所では骸炭のみを使つて操業して居ります。加州の方でも前申した横爐で骸炭六、木炭四の割合までは混ぜて使つても差支のないことを認めたのであります。此ティンフォス式爐にては全く骸炭計りを使つたのであります。それで此所には此式の一四〇〇KW爐が四つあつて其内三つだけ始終使用されて居つて、千九百十三年の頃から今日迄引續き操業して居ります。此爐は圖で御覽の通りの簡單のもので、爐底にも一個の電極を備へて居ります。此所の鑛石は寧ろ品位

の低いもので鐵分五〇%以内のものでありますが、二年間の經驗に依りますと各爐より一日九噸の銑鐵が製出されて、此銑鐵はどんな品質のものかと云ふと、良い鑄物には出來ぬが中等の鑄物から下等の鑄物になる任意の種類を造ることが出來て、其成分は硅素は一、五—二、五%硫黄は萬分の二以下、磷が萬分の二乃至六のものである。それから一方には又鹽基性平爐の原料になる硅素が〇、二—〇、八%滿俺〇、一—一、〇%硫黄萬分の四以下、磷萬分の四以下のものも出來ます。さうして製造費は資本償却とか利子とかを除きて其他一切を含み銑鐵一噸に付三十七圓餘と云ふことになつて居ります。前に申した瑞典に於ける製造費の二十九圓に比し大變違つて居るのは、瑞典では鑛石が一噸六圓五十錢と云ひましたが、諾威では高價で倍以上もしますから其關係から高くなつて居ります。

ヘルフェンスタイン(Helfenstein)式爐 それから第五圖にありますのはドムナルフェト製鐵所に於て千九百十三年九月以來今日まで操業して居る横爐型の一つであるヘルフェンスタイン式爐であります。ヘルフェンスタインと云ふ人は奥地利人で氏の獨特の爐を以て硅素鐵や炭化石灰の製造に就て十餘年の經驗があつたのであります。更に此の爐を瑞典に持込で製鐵に應用したのであります。此爐の原設計は一萬二千馬力の三相式三個電極の爐で各相間の電壓 120Volts でありましたが、發電機に周波數が高過ぎたるため力率著しく低下し一萬二千馬力出せないで、止むを得ず變壓器の配置を變じ電壓 70—100Volts にて 6000—8000HP の爐としたのでさういふ風にして力率〇、八と云ふことになつたのであります。長さ三六呎幅一三呎高さ一六呎と云ふ横に長い爐で、簡單と云ふことと堅固と云ふことが此爐の特徴であります。圖にある如く爐の天井は水筒金物の上に支へられて居り電極及爐壁は何れも裝入物を以て蔽はれ熱の侵害を防いであるのであります。三個の電極は各非常に大きな電極束より成り、一電極束の目方が三噸位もあり、附屬金物等を加へ上下すべき全重量は約十噸になると云ふとであります。爐の調節は電動機により電極を上げ下げして之を行ひます。電極の大きさを

定むるには、還元劑に木炭を用ひる場合は電極の電流密度を一平方糎に就き $2 \sim 3$ amp とし、骸炭を還元劑とする場合には $1 \sim 2$ amp として勘定します。装入物は圖に見える様に電極の直下の所で段段熔けて、出來た鐵は下底一面に溜ります。瓦斯は各電極間の空間の所より導管により外に排出するようになつて居ります。それから銑鐵は圖には見へて居りませんが、下の注出口から取出すやうになつて居ります。それで圖面では裝入口の所が開いて居るやうに切斷してあります。それは第六圖にある様に特殊の專賣式裝入口を備へ完全に密閉されて居つて、其の真中に電極が通つてある、そうして幾分か爐の中に瓦斯の壓力があるやうにして空氣の侵入を防いで居ります。此の爐の成績を申せば原料に過半砂狀選鑛を用ひ平均一箇月に一四〇〇噸(一日に平均四七噸)の銑鐵を製出して、電力が銑鐵一噸につき二〇〇〇 K.W. 時、還元劑には木炭を使つて居りますが銑鐵に對し三割乃至四割の消費になつて居ります。電極の消費は少し高く銑鐵の千分の八に當ります。骸炭を用ふる場合には電壓は $30 \sim 55$ volts に下げるとを要し、爐の負荷も $5000 \sim 5500$ HP になり、骸炭消費は銑鐵に對し三割乃至三割三分、電力消費銑鐵一噸に對し二四〇〇 K.W. 時になるとのとであります。それから所要の職夫は甚だ少く一爐一交代に七人で足ると云ふことです。それから爐瓦斯は平爐の燃料に利用されて居ります。此爐は電壓高きため建設費は極く低廉で爐の負荷一馬力に就き、變壓器工場建築等を含みて約二十八圓と云ふことになつて居ります。然るに高爐型グレンワル式の方では約四十五圓と云ふことになつて、即ち一倍半以上掛る勘定になります。それでありませうから一日に五〇噸の出銑ある八千馬力のヘルフエンスタイン式爐であります。約二十二萬餘圓の建設費が掛るとになり、グレンワル式爐だと云ふと一日に三〇噸の出銑ある四千馬力の爐は約十八萬圓の建設費を要することになります。日本に於て電氣製鐵の採用に關する意見 現今歐米で用ひられて居る電氣製鐵爐に就て大略御話致しましたが、最後に幸に日本で吾々が電氣製鐵と云ふことを考へる場合に、實際用ひる餘地があ

るであらうかと云ふとになりますと、前申しましたやうに電力と燃料との關係が一、K、W、年の電力費が二、七噸の燃料の價より廉ければ大體に於て電氣製鐵業が一般的に成立つ譯であります。所が日本では骸炭一噸の價は八幡製鐵所では七圓餘でありますが是は例外で、先づ平均十圓と見るべく、さうすると一、K、W、年が二十七圓以下でなければならぬ、即ち一、K、W、時が三厘以内でなければ電氣爐を使つて銑鐵を造ることが一般的工業として成立たぬと云ふことになります。そんな所は日本では先づ無からうと思ひますから、電爐で普通の銑鐵を造ると云ふことは日本では出来る餘地がないと云ふことになります。然らば瑞典や諾威のやうな例に倣つて所謂ビッグスチールと云ふ全體の含有不純物が三%以内のもので、鑄物には使へぬが、鋼の原料に適すると云ふやうなものを日本で造つたらどうかと云ふことの考になると、それは極有望であります。即ち普通熔鑛爐で出来る様な鐵を造るのではなく、普通の熔鑛爐では到底造ることの出来ないやうな不純物の少いものを造り、之れを鋼の原料にすれば製鋼に要する時間も短くなり製造の費用も少くて済むと云ふことになり、必ずしも電氣製鐵の費用が熔鑛爐製造に比し高いから用ひる餘地がないとは云へない、大に研究を要することであるだらうと思ひます。現に瑞典諾威で造つて居るやうなものより遙に不純物の少ない製鋼原料として遙かに良いものが出来るだらうと思ひます。唯彼地の例を寫すことは日本では根柢が甚だ薄弱であらうと考へます。彼地では前申した通り電力費と燃料費の關係からして一般的に電氣製鐵を行ふことが出来て居るのであります。日本では猶足りないものであります。日本では瑞典諾威でやつて居る仕方より更に進んで電爐の製産物をして、もう少し不純物を少くし、更に大に進んで餘程純粹のものにすると云ふ方面に向かひ研究しなければならぬことと思ふのであります。近頃外國でもさう云ふ方面の研究をする人が段々あるやうであります。要するに電氣爐でありますと還元劑を幾らでも加減することが出来るのであります。硅素だとか滿俺だとか云ふ物は成るべく入らぬ程度

20

で唯鐵だけ還元し他のものは還元して入れないと云ふように還元劑を少なくすることが出来る譯でありませぬ。所が普通の熔鑛爐では全くそれが出来ないものであります。何故出来ないかと云ふと熔鑛爐では木炭や骸炭は還元劑より外に大部分は熱を起すことに働かなければならぬので、常に還元劑に要する量の三倍も多量に燃料を用ひますから、鐵以外の色々の不純物が鐵と共に還元されて鐵に入ることは已むを得ないのであります。そうして燃料を節約すれば熱が足りなくなります。電爐だと緩中に入る鐵の損失は構はぬならば還元劑を何程でも少くすることが出来る、斯く還元劑を少なくすれば出來上つた鐵には炭素の分量が餘程少く、千分の一位にもすることが出来る譯である。炭素千分の一と云ふは餘り極端かも知れませんが、千分の三とか千分の五とか云ふ位の程度のもものが工業的に造れることになれば餘程面白い。是を實行するには何を犠牲にすれば宜いかと、云ふと緩中に入る鐵の損失は已むを得ないのであるが、實行が必しも出来ないと云ふとはないのであります。日本では電氣製鐵の實行上瑞典諾威より遙に苦しい位置にありますから、もう少し彼國以上に考へ、瑞典諾威でも鋼の原料として適當なものを造つて居りますが、それより以上のものを造ることを吾々は考へなければならぬ立場だらうと思ひます。それで此等のことに就きまして、もう少し詳しく申したので、尙憐だの硫黄だのの關係等に於ても詳しく御話したいと思ひますが、餘り其方の御趣味がな
いと思ひますし、時も移りますから省きます。もう一言附加へて置きたいのは瑞典銑と申しますやうな極めて優良の銑鐵であつて普通の銑鐵に比し遙に値段の高いものを電爐で造つたら、電力費が前申した關係より高くても製造費が高くなつても事業が成立つことも出來ます。是には不純物の極く少い優良の鑛石がなければならぬ。所が日本にそれだけ良質の鑛石が多量にあるかは問題であります。若しあつた場合には之を用ひて此等の優良の銑鐵を作る爲めには、普通の熔鑛爐で木炭を使つて製造するか、或は木炭を還元劑として電爐で之を造るか二者の内を選ぶべきであります。日本

では一も二もなく電爐に依らねばならぬことと思ひます。何故かと云ふと日本の木炭は瑞典産の木炭の燐分萬分の一であるのに比し餘程燐分が高いやうで大抵萬分の二になつて居るやうで、今後は原料が段々少なくなつて若い木を伐る様になり燐分が増す傾向になつて居りますから、木炭鑛爐を使ふことになるると燐分の高き木炭を多く使はねばならぬこととなり、到底優良の銑鐵は出來難い。然るに電爐を使へば熔鑛爐に比し僅に三分の一丈けの木炭を使へば宜いのでありますから、製鐵に對し燐分の影響が夫れだけ少くなりますから、此場合には是非とも電爐に依らねばならぬことと思ひます。(終)

銑鐵と鐵及び鋼の種類名稱

野 上 熊 二

世界の進歩に伴ひ石器時代は去つて今や鐵器時代となれり、從て製鐵製鋼業は日に月に急速に盛大に向ひつゝあり、凡そ何物に限らず一度之れが製造を欲せは必ずや、其元本的原理たる化學的變化並に物理的作用其他を窮はむるに非らされは其完成を期し難きは明かなりとす、而して鐵及び鋼の製造業も亦等しく此數を免れず仔細に研究す可き必要に迫られ、近年來歐米各國の學者等は貴重なる時間と多大の費用を賭し鋼質並に製造量共に改進せしめむと其方法發見に熱注しつゝある有様にして、古來鐵の如く熱心に且つ廣く深く數多斯界の學者並に之れか製造者及び需用者に至るまで等しく研究の必要缺く可らざるを認識せられたるもの、他に其類を見ざるなり從て研究の進むに俱ひ等しく鐵にして化合物又は特有質或は状態に依り其名稱を異にせるもの多數あり、例へば鐵と炭