

合何れも熱の發生あり且つ前者に於ては最初にのみ發生甚だしく後者は長時間に亘りて繼續す。從て上記見解は實驗的に證明せられたるものにして何れも同一原因より起る結果に外ならず。

### 結論

本研究の結論は次の如し。

一 鋼が不十分に健淬せられたる場合には緩漫なる膨脹あ

り或は膨脹後に收縮を伴ふ。

二 鋼が硬く健淬されたるときは緩漫なる收縮あり。

三 膨脹は阻止されたるオースティナトが室温にて徐々に

マルテンサイトに變化するによる、又收縮は不安定なるセメントタイトがマルテンサイトより析出するに基く。

四 不安定なるセメントタイトの析出が完了するためには室

## 電氣爐の設計

### 一 緒言

現今製綱事業に使用せられて居る爐の種類は非常に多いが電氣爐は其の内で最も新しく最も有望なものであるから是に就て論究する事は無益な事で無いと思ふ。電氣爐の特徴や他の爐との比較等は多くの雑誌其他に於て散見する所であるから茲に略し、今回の様な條件の工場に於て鑄鋼作業を爲

### 荒木彬

さんとする場合の出鋼量頃當の熔鋼費を比較して見よう。

一ヶ月の出鋼量 四百噸乃至五百噸

製品 主として鑄鋼

燃料 石炭は一噸十六圓にて得られる

原料 自家用發電所を建設し一キロワット時二錢にて得られる見込

温に於ては數ヶ月乃至一二年を要すれば之を百度に加へすれば約二時間にて足る。

五 不安定なるセメントタイトの析出は機械的硬度に影響せざれども安定なるセメントタイトが固溶態に溶け込むに基因す。

六 鋼の電氣抵抗は健淬によりて著しく増加し反淬によりて減少す、此増加はセメントタイトが固溶態に溶け込むに基因す。

七 健淬鋼の緩漫なる膨脹或は收縮は常に熱の發生を伴ふ、此の熱は變態の熱にして一般に考へらるゝが如く Yielding Strain に基くものにあらず。

本多教授はマルテンサイトよりセメントタイトの析出が主として百七十度三百四十度の二段に起ることを説明するため  $\alpha\beta$  なる二種のマルテンサイトの存在を認めらる、百七十度にてセメントタイトを析出するは  $\alpha$  マルテンサイトにして三百四十度にて析出するは  $\beta$  マルテンサイトなり、以下此名稱を採用す。

## 電氣爐(五噸鹽基性)

原料費(鋼削屑及鋼屑)

工賃  
電極費

電力費(八百キロワット時)

修繕費

金利及償却費

監督費事務費其他

合計

出鋼量  
當量

五三、〇〇

四、〇〇

一六、〇〇

五、〇〇

二〇、〇〇

六、〇〇

一六、〇〇

七、〇〇

一三〇、〇〇

## 鹽基性平爐(七噸)

原料費(白銑及鋼屑)

工賃  
修繕費

金利及償却費

監督費事務費其他

合計

## 酸性平爐(七噸)

原料費(白銑及良銅屑)

工賃  
修繕費

金利及償却費

監督費事務費其他

合計

金利及償却費

監督費事務費其他

合計

## 轉爐(一噸酸性底吹)

原料費(良銑鐵及良銅屑)

工賃  
費

骸炭(キューポラ用二百噸)  
電力費(送風機用其他)

七、〇〇  
二、〇〇  
一二、〇〇  
六、五〇  
一六、〇〇  
一六二、五〇

修繕費

金利及償却費

監督費事務費其他

## 坩堝爐(五十個入れ二基)

一四八、〇〇

四、五〇

一一六、〇〇

四八、〇〇

二五、〇〇

一一、五〇

一八、〇〇

三七一、〇〇

原料費(庖丁鐵、玉鋼及良銅屑)

工賃  
修繕費

金利及償却費

監督費事務費其他

合計

以上は單に熔鋼費のみを計算して比較したものであるが、電氣爐に於ては廉價な原料を使用する事が出来るのと焼減りの少い事が主なる原因になつて最も廉價に鑄鋼品を得る事が出来るのである。熔鋼費に於て他の製鋼法に優れて居れば他の點に於ては電氣爐が最も優秀である事は何人も認むる所である。

## 二 爐型の選定

電氣爐には色々な型式があるから其の何れを採用すべきかが第一に起る問題である。各種の爐型に就て雑誌其他に發表せられた數字はあるが何れも或る定つた條件のもとにある場合のものであるから往々相反した結果が發表せられ、又外國

の學會などでも議論の焦點となつた事がある。今日製鋼用として最も多く使用せられて居るのはエルー式であつて、レンナーフエルト式、グレンワール式、グリーブスエッチエルス式等が是に次で使用せられて居る。エルー式は直流、單相交流、又は三相交流を用ひ、レンナーフエルト式及グレンワール式は二相に限られ、グリーブスエッチエルス式は三相に限られて居る。

抵抗式電氣爐が製鋼用として用ひられない事は何人も熟知する所であるから茲に略し誘導式電氣爐に就て少しく研究して見やう。誘導式に於て最も缺點とする所は抵抗式と同様に細い溝を有し、精煉作業を爲すべき場所の無い事であつたが、レッヒリング、ローデンハウゼル式に於ては此の缺點を無くする爲めに中央に廣い場所を作つて居る。誘導式にては高壓の電流を直接爐に導くから電弧式の如く強電流を導く困難は無く、又電極の必要も無い。熔鋼と直接接するものは爐床をなす耐火材料ばかりであつて、電極の様なものから不純物の浸入すること無く、堀堀爐に最もよく似て居る。又電極を使用しない事は熔解費を廉らしめる利益となる。誘導式にては電氣的負荷の變化が非常に少いから、負荷の動搖に對して重い罰金が課せられる様な場合には適當である。又小規模の自家用發電所などでは負荷の動搖は非常に危険であるから、こんな場合には誘導式を使用するのが安全である。ボルヘルス氏は次の様に述べて居る。「誘導式爐にては加熱せらる

べき金屬自身に熱を發生するのであるから別に熱を發生せしむるための裝置を要せず、又熔鋼全部を任意の溫度に均一に保たしめる事が出来るが、電弧式では電弧に接して居る部分は他の部分に比較して甚だ高溫度である。」誘導式では尙ほ熔鋼が盛に循還するから精煉も完全に且つ一様な品物が得られる。

以上の様に理論的に考へると誘導式爐は電氣爐中最も優良なものとの様であるけれども、之を實際に使用する時は多くの缺點がある。即ち誘導式に於ては電流を導くべき狭い溝が常に必要であつて之に二次電流を通ぜしめる爲に原料の輪を作らなければならぬから特殊の方法に依らなければ常溫原料を熔融する事は出來ない。始めから常溫原料を裝入する場合には豫め溝内に鐵帶又は熔融せられた材料を裝入して二次線輪を作り之に依つて原料を激熱しなければならない。又連續して作業する場合には八幡製鐵所で行つて居つた様に約三分の二を出鋼して残りの三分の一は爐内に殘留せしめ之に依つて二次線輪を作らしめると言ふ様な方法を取らなければならぬ。此の場合には爐の容量が減ずるのみならず一度精煉して完全な鋼となつたものの三分の一を次回の不純な材料と混合しなければならない大なる不利益がある。平爐又は轉爐からの熔鋼を裝入する場合には熔鋼の溫度が充分高くないと狭い溝で輪を作らぬうちに固結して電流を通すことが出來ない場合がある。

誘導式爐の力率は常に非常に低い。此の力率は爐の構造に依つても異なるが、裝入原料が熔融せられて輪の部分に充満した時に最低の値を示すのである。八幡製鐵所の三噸爐に於ても送電の始め即ち残された三分の一の熔鋼のみにては力率が平均九〇%位であるが、全部熔融すれば五〇%乃至六〇%に低下されてしまう。次に爐體の容積が他の爐型に比較して非常に大きいから冷却面積も大きく、從て熱效率が非常に悪い。

レッヒリング・ローデンハウゼル式爐は誘導式爐中最も優れたものであるが、之は輪狀の部分が常に高溫度を保ち、溫度の關係、磁石的關係及ビンチエツフエクト等の爲めに熔鋼が過度に運動し爐を甚だしく浸蝕する。而かも出鋼後マグネシア又はドロマイトを投じて焼き付けをなすことが不可能であるから、爐床の壽命と言ふものは非常に短い。八幡製鐵所に於て余の實習中の記録に依ればドロマイト爐床にて約一週間即ち平均約二十五回の操業を爲し得るばかりで、修繕には三日を要するから、實際作業し得る日數は一ヶ月の約三分の二である。此の爐床修繕に要する工費、材料費其他は大なるものである。最後に此の爐の大なる缺點とする所は爐體中に一次線輪を有することである。爐床の修繕不完全な爲め又は一部分が甚だしく浸蝕せられた場合などに、熔鋼が一次線輪に流れ込み、電氣的危險を伴ふばかりでなく、一次線輪の修繕に多くの日數を空費し、其の間の作業を中止しなければならないことがある。

電弧式爐に於ては電弧に近い所には部分的に高溫度を有する外に電極から不純物の這入る恐れがあり、爐内を酸化性とする際には炭素電極の消耗が非常に大である。此の様に電弧式では炭素電極を有するために極度まで酸化することは困難である、即ち低炭素鋼の製造には誘導式の方が適當であると言ふ人がある。我が國の某會社でも電氣鐵板用硅素鋼（炭素含有量〇・一%以下、硅素含有量三・五乃至四・〇%）の製造の目的で誘導式爐を建設したが、余の經驗に依れば電弧式爐で炭素含有量〇・〇五%内外のものを得る事は餘り困難では無い。又電弧式では毎回出鋼後に燒付けをすることが出来るから爐床の壽命は非常に永く、萬一熔鋼の爲めに爐底が破れたとしても其の修繕は非常に容易である。即ち誘導式は既に時代後れであつて將來は必ず電弧式の使用せらるゝに至るであらうと想像する。

電弧式中にも種類が非常に多いから更に其の優劣を研究しなければならない。其の主なるものはエル一式、レンナーフエルト式、グレンワール式、ジロー式、グリーブスエツチエルス式、スタッサノ式、ケラー式、シャブレー式、ナシュシウス式、スナイダート式、ルードラム式、フォムバウル式、ブースボール式等であつて、夫々電氣的又は冶金的に設計上の差異を有して居る。是等の比較を爲すには先づ理想的電氣爐の有すべき條件を考へることが便利である。今其の中の重要な條件を擧ぐれば次の如くである。

(一) 熔鋼と熔滓との接觸面積は出来るだけ大きくして其の間の化學反應を容易ならしめる事。

(二) 熔滓の搔出し及び爐床の補修焼付を容易ならしむる様な構造であること。

(三) 電弧は出来るだけ裝入物に近く、發生せられた熱量の出来るだけ多量が裝入物に吸收せられ、輻射に依つて爐壁又は天井を熔損することの少い事。

(四) 電氣的負荷の動搖少く、且つ力率の高い事。

(五) 熔鋼は或程度の循環をなし、鋼と熔滓との接觸を完全ならしめ、加へられた鐵合金が一様に混合される事。

(六) 電力に關しては相の數、周波數等成るべく何れの地でも容易に得られる様なものを使用することが出来なければならぬ。

(七) 電氣的及熱的効率最も高く、建設費は最も廉價であつて、熔解費は最も低廉であること。

先づ熔鋼と熔滓との接觸面積を出来るだけ大ならしめ電弧の加熱を一様ならしむるためには爐床の形は普通圓形が最も有効であるが、二極の場合には橢圓形が宜しい。圓形又は橢圓形にすれば爐壁と電弧との距離が殆ど一樣であるから、爐壁が一樣に熱せられると言ふ利益がある。第二の條件に對しても圓形又は橢圓形が有利である。第三の條件に就て考へるとレンナーフエルト式又はスタッサノ式の様な間接電弧式は最も理想に遠いものと言はなければならぬ。第四の條件が

經濟上重要である事は既に誘導式爐を論する時に述べた如くである。第五の條件は一様な製品を得る爲めに必要であるけれども、餘り劇しい運動は爐床を損することが大であるから避けなければならない。第六の條件の必要なことは明瞭では普通六十サイクル三相交流が最も多く使用せられて居るから、之を直ちに使用し得るもののが便利である。第七の條件は最も必要なもので經濟と云ふ事を離れては工業は成立しないのであるから茲に論ずるまでも無い事である。

最も適當な電氣爐を選定するために先づ間接電弧式と直接電弧式との比較を研究して見やう。間接電弧式と言ふのは純電弧式又は輻射電弧式とも稱せられ、電弧が單に電極と電極との間にのみ生じ、裝入物中を電流が通過する事の無いもので、スタッサノ式とレンナーフエルト式とが用ひられて居るが、其の内スタッサノ式は最も舊式であつて現今は殆ど用ひられて居ない。レンナーフエルト式は餘程新しい形であつて現今多數に使用せられて居る。直接電弧式と言ふのは合成式とも稱せられ、電流が裝入物中を通過し、電極と裝入物との間に電弧を生ずるのである。現今使用せられて居る電氣爐の大部分は直接電弧式であつて、エリー式、グレンワール式及びグリーブスエッチエルス式等が其の代表的のものである。レンナーフエルト式は可傾式平爐に最もよく類似したもので、常に二相交流を使用して居るから、スコット式接續法に依る變壓器に依つて三相を二相に變化して居る。此の式の有

利な點は大體次の如くである。

(一) 電極の調整が容易であるから電力負荷の動搖が少い。  
直接電弧式では爐をスタートする時に電力負荷の動搖が大であるが、レンナーフエルト式では装入物に關係無しに電弧を生ぜしめるから此の際の調整が比較的容易である。

(二) レンナーフエルト式にては火炎の大さ及電力を變へず、に電極と熔鋼との距離を自由に變化する事が出来るから、火炎が熔鋼に吹き付けられる有様を變化する事も容易であるし、装入量を加減する事も出来る。

(三) 天井を通過する電極の數は一本であるから他の種類の様に一本又は三本通過するものよりは天井の壽命が餘程長い。

(四) 熔鋼の表面より下方に水冷却をする所が無いから、不時の出來事の爲めに爆發を起す危険がない。

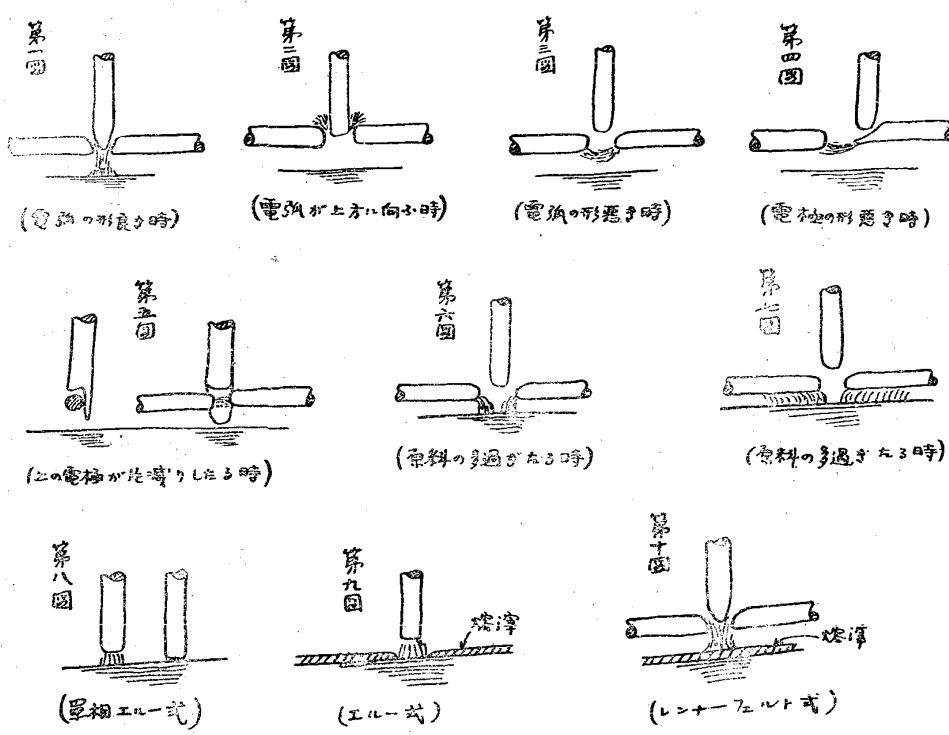
(五) 電弧は三本の電極の間に生ずるのであるから、装入物無しても電弧を生ぜしめる事が出来る。之は爐内を修繕した時などに都合が宜しい。

レンナーフエルト式には以上述べた様な特徴があるが、然し以下述べる様な色々な缺點もあるのである。側方の電極がカンチレバーの形になつて居るから機械的に折れことが多く、特にニップルに於て折れる事が甚だ多い。此の事は電極の消耗を多くするばかりでなく、折れた電極は熔鋼中に落ちて加炭作用をなし、非常な損失を來すことがある。又電極が折れた時には其の取り代へに多くの労力と時間を空費する

三本の電極の會する所は適當の形を保たなければ電弧の形が悪くなつて爐の溫度上昇せず、又三本の電極を正しく同一平面にあらしめなければ良い電弧を生じない。又常に注意して居ないと電弧が下方に向はないで上方に向ふ事がある。電弧の形は爐内の溫度にも關係があるので爐内の溫度が低い間はどうしても理想的な電弧を得難い。第一圖は電弧の狀態が最も良い時であるが、冷材料を装入した時又は電極尖端の形の悪い時などには第二圖の様に電弧が上方に向ひ、爐の天井ばかり熱する事があり、天井の壽命を短縮するばかりでなく動力の不經濟である。第三圖は中央の電極が高過ぎた場合に起る電弧であつて中性線には殆ど電流が通らないから三相側の片荷を生じ、又爐内の溫度も上昇しない。第四圖及第五圖は電極の尖端の形が悪くなつた時であつて第三圖と同様な不利益を生ずる。此の中第三圖と第四圖とは中央の電極を下ぐれば其の尖端が熔鋼中に入り、加炭作用をなすから甚だ不利益である。又原料を餘り多く装入した場合には第六圖の如く、又は極端の場合には第七圖の如く、左右の電極から直接装入物に電弧を生じ、其の爲めに中央の電極に電流を通じない様になる。

以上の様にレンナーフエルト式では電弧を正しく保つことが重要な問題であつて、熟練と不斷の注意とを必要とするけれども、直接電弧式では電弧は電極と原料との間に生ずるの

であるから此の様な困難は全く無い。たゞ單相エルー式又はグレンワール式で爐床電極が動かない時などには第八圖の様に一方の電極が原料に接しても他の電極が離れて居れば電流に加炭作用が行はれ非常な失敗を爲すことがある。けれども

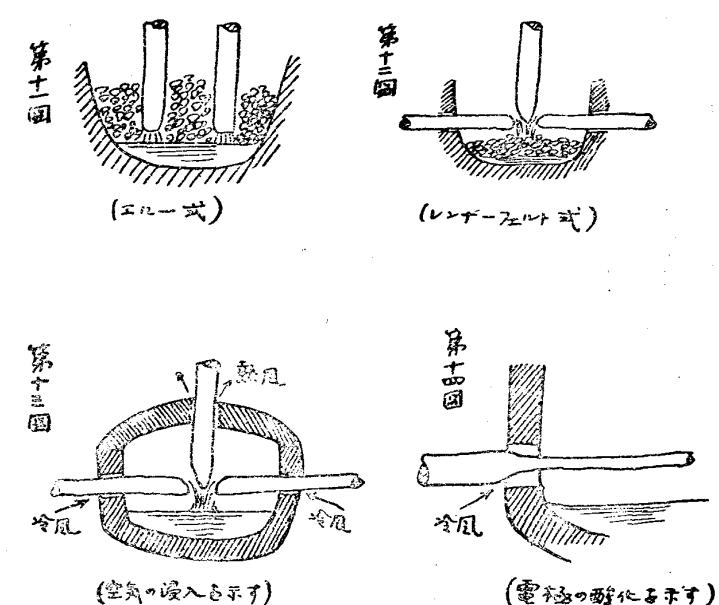


三相エルー式などでは三つの電流計を使用すれば各電極に就て電弧の有様を知る事が出来るから此の不便は無い。レンナーフェルト式では第一圖の如く理想的な電弧を生じても、其の力で熔滓を通じて加熱しなければならない、從つて熱效率が悪くなるのみならず爐壁及天井の熔損する事が大である。然るに直接電弧式では熔鋼に直接電流を通ずるから電極の下には熔滓が搔き分けられ、従つて熱效率が餘程良くなる理である。

次に原料が未だ熔融しない時を考へて見るに、直接電弧式では第十一圖に示した様に爐の方で電弧を生ずるから熱効率が非常に良く、又一度に多量の原料を装入する事が出来て仕事が餘程容易であるけれども、レンナーフェルト式では第十二圖に示した様に原料は常に電弧の下にあるから一回に多量を装入する事が出来ないし、熱効率も餘程低くなる。又レンナーフェルト式にては側方から電極がはいつて居るから電極の孔から冷風がはいつて爐内の温度の上昇を妨げ、爐内を還元性とすることを困難ならしめ、又第十四圖に示す様に電極を酸化する事が多い。エルー式では電極は天井からはいるばかりであるから装入口及出鋼口を充分に閉づれば冷風の侵入すること無く、爐内を還元性として電氣爐獨特の精煉作業を容易に行ふ事が出来る。

以上の様な得失を有するが三相電流を二相に變じて使用す

ることが出来るから小電氣爐を建設せんとする場合には適當である。若しエルー式の小電氣爐を建設せんとすれば單相としなければならない。單相を使用する時は三相の發電所に負荷の不平衝を來す不利益があるし、又單相エルー式では第八圖に示した様な缺點もあるから二噸以下の場合にはレンナーフエルト式グレンワール式又はグリーブスエツチエルス式等が適當である。



以上述べた事に依つて吾々の電氣爐として直接電弧式が最も適當である事を知つたから

更に進んで直接電弧式中で最も多く使用せられて居るグレンワール式、グリーブスエツチエルス式及エルー式に就て比較して見やう。

グレンワール式はレンナーフエルト式と同様に二相交流を使用し、上部電極二本と爐床電極とを有し、上部電極には二相の各一線を接續し、爐床電極に中性線を接續して居る。三

相交流をスコット式接続法の變壓器に依つて二相に變化することはレンナーフエルト式と同様である。爐床の電氣傳導度を増加するためにマグネシアの中へ黒鉛粉を混合して使用して居る。此の式の有利な點は次の如くである。

電流が上部電極から爐床電極に流れれるから垂直面に於て熔鑄の強い循環が行はれ、下部の熔鑄は上部に上昇して熔滓と接する機會が多く、従つて精煉作業は迅速に行はれ、一様な品物が得られる。此の事は合金鋼を製造する時に必要であつて例へばタンクステンの如き重い金屬は下方に沈澱せんとする傾向があるから、熔鑄の循環に依つて之れを防ぐ事が出来る。此の特徴はジロー式又はグリーブスエツチエルス式等にも共通である。

然るに吾々は同時に爐床電極の不利益な點をも考へなければならない。即ち爐床に於ける電氣的抵抗は爐床の厚さ及溫度に大なる關係があるから操業が餘程困難である。爐床を新しくした時などには電流の通過しない事もある。此の場合には電流が上部電極のみに通る爲め電力負荷に不平衝を生じ、又丁度單相エルー式の様になるから電極の調整にも困難を伴ふ様になる。グレンワール式を使用して居る人から直接聞く所に依つても、爐床電極には仲々電流が思ふ様に通らず、又今では全く之を使用しないで單相エルー式と同じ様にして使用して居るそうである。

グレンワール式及グリーブスエッチエルス式は爐床電極が働いて居る時には二個の電弧が各獨立して生ずるから單相エルー式に比較すれば電極の調整が容易であつて、一方の電弧が消えても他の電弧には關係が無い利益がある。單相エルー式では二つの電弧が直列になつて居るから、一つの電弧が切れれば他の電弧も當然消えなければならない。此の事は冷材料を熔解する場合に殊に必要であつて、此の場合に二つの電弧が各獨立して生ずるのでないと非常な困難を感じる。此の點も實際作業に從事して見ると仲々思ふやうに行かないので、冷材料を裝入した時にはどうしても爐床電極が充分働くかないから單相エルー式と同じ様な状態となる事を免れない。

グリーブスエッチエルス式は三相交流を其のまゝ爐に使用する點に於てグレンワール式と違つて居る。グリーブス及エッチエルス兩氏が此の爐を始めて設計した目的は次の諸點にあつた。第一、電極を各獨立して調整し得る様にすること、第二、電極の二つに短絡を生じた場合に其の大波<sup>サージ</sup>を一次側に於て各相に分布させること、第三、特殊のリアクタンスを用ひて爐の力率を低下すること無しに短絡及大波を防ぐ事。

第一の條件を充す爲めに爐床電極を採用したが更に第三の條件をも助けるために爐床に適度の電氣的抵抗を有せしめ、短絡を防ぐ抵抗たらしめた。若し爐床の抵抗を一つの電弧の抵抗と等しくする事が出來れば三相交流を直接使用して二相を上部電極に通じ、一相を爐床電極に通じ得るのであるが、

實際は此の様にする事は不可能である。然し此の状態に餘程近いものとする事が出來たのである。變壓器は一次をデルタに接續し、二次をスターに接續し、其の内一相は他の二相よりも低い電圧を生ぜしめて之を爐床電極に導いて居る。例へば爐床電極には二十七ヴォルトを通じ、上部電極には六十ヴォルトを通じて居る。然し實際の作業に於て此の三相をして常に平衡を保たしめる事は困難であるし、又爐床電極に於てはグレンワール式と同様な不利益を有するから此の式も完全なものと言へない。

二噸以下の容量ではエルー式を用ふるとすれば單相にしなければならない。單相エルー式にては三相交流の供給せられる場合甚だ不利であるからこの場合にはグレンワール式、グリーブスエッチエルス式又はレンナーフエルト式を使用するのが適當である。然し三噸以上になると爐も相當な大きさを有するから三相を其のまゝ使用し、エルー式の特徴を充分發揮せしめる事が出来る。熔鋼の表面をなるべく一様に熱するから他の式よりも優れて居る。其他理想的電氣爐の條件を殆ど完全に満足して居る。たゞ一つ熔鋼の循環に關しては爐床上其の爲めに不利を生ずる様な事は全く無く、寧ろ過度の循環をする事は不利益である。特に爐の構造の簡単な事は製鋼爐の如きものには甚だ必要であるが、エルー式は電氣爐中最

も簡単なものである。従つて世界に於てエルー式が最も多く用ひられて居り、又多くの専門家の意見を聞いて見たが皆エルー式を最も理想に近い電氣爐であると言つて居る。故に余は此の設計に於て三相エルー式を採用せんとする。

### 三 電力及變壓器

變壓器の容量は製鋼上非常に重要な事であつて此の設計を誤る時は製鋼作業上色々な不利益を生ずる。電氣爐が最初設計せられた頃は電氣爐の容量に對する變壓器の容量は餘程小さかつたが、實際作業して見ると、熔解速度を加減し又は熔鋼の溫度を調整する爲めに變壓器の容量は充分大きくした方が有利である事が知られた。電氣的に考へると變壓器を常にフルードで使用する事が有利であるが他の機械と異り變壓器は負荷が少くなつても效率の低下する事が比較的少いから充分の餘裕がある様に設計した方が有利である。次の表は實際使用せられて居る電氣爐變壓器の容量を示したものである。

電氣量 (キロワット)	電力使用量 (キロワット)	變壓器容量 (KVA)	爐型式	備考
三〇	二六	一〇	一	ス タ ツ サ ノ スタッスフィールド著書
同	四〇	二〇	一	エ ル 一 同
同	三〇	一〇	一	ジ ロ 口 一 同
同	三〇	一〇	一	キ エ リ ン 同
同	三五	一六	一	ローデンハウゼル 同
同	四〇	二〇	一	グレンワール 同
同	三〇	一〇	一	ガデリウス會社型錄

此の表に依つて見るに、五噸爐には千三百K、V、A、位の變壓器が適當の様であるが、余の經驗に依れば變壓器の容量は寧ろ過大にして置く方が製鋼作業上非常な便利があるか

三〇	三〇	一	一	ジ ロ 一 同
同	四〇	一	一	エ ル 一 同
同	三〇	一	一	ジ ロ 同
同	三〇	一	一	エ ル 一 同
同	三五	一	一	ローデンハウゼル 同
同	三〇	一	一	グレンワール 同
同	三〇	一	一	ガデリウス會社型錄

ら、茲に千五百K、V、A、の變壓器を使用する事とした。東信電氣小海工場に於ては最新に設計した三噸爐に對して千K、V、A、及千二百K、V、A、を使用して居るから、之に比較すれば五噸爐に千五百K、V、A、を使用する事は決して過大でないと思ふ。

變壓器は三相用一基を使用するよりも單相用三基を使用し豫備として別に一基を有する事が必要である。何となれば三相變壓器を豫備共に二基購入するよりは單相變壓器四基の方が廉價でもあるし、單相變壓器の一つに故障が起つた時には残りの二基をV接續として使用することが容易である。

變壓器の二次電圧は百、百四十、及百八十九オルトの三種に切り換へる事が出來なければならぬ。即ち作業の始めには電流が通りにくいから高圧を用ひ、精煉の終りには最低電圧を使用して電弧を短くする必要がある。

#### 四 電 極

現今エルー式電氣爐に使用せられて居る電極には炭素電極と黒鉛電極との二種類がある。黒鉛電極はアチソン會社製が最も優れて居るものであるが、舶來品は至急の場合に合はないから相當な量をストックしなければならない。然るに黒鉛電極は非常に高價なものであるから多量にストックする事は不利益である。黒鉛電極は又直徑の小なるもので宜しいから取り扱いには便利であるが電弧を生ずる面積が小さい等の缺點もある。其他詳細に亘つて比較すれば色々あるが要す

るに結局の優劣は其の價格に依つて決定せらるべきものであつて、實際使用した結果に依り又其の市價に依つて比較的經濟的な方を採用すべきである。

炭素電極に於ては電流密度を毎平方吋三十乃至四十アムペア位に取るのが普通である。變壓器の容量は千五百K、V、Aであるけれども普通の場合には千三百K、V、A、で充分であるから之に依つて一本に通る電流を計算すると百九オルトの場合に七千五百アムペアとなる。電流密度を三十五アムペアとすれば直徑十六吋の電極が適當である。

黒鉛電極に於ては電流密度を毎平方吋百アムペア内外とするのが適當である。之に依つて計算すれば電極の直徑は九吋半ばかりになるがアチソン會社の型錄に依ると七千乃至八千五百アムペアの時には二百二十五耗即ち約九吋のものが適當であるとしてあるから九吋電極を使用して宜しい。

電極に附屬して水冷却装置を用ふる事が必要である。之は電極が爐外に出でんとする所を冷却するので、電極の酸化を防ぎ、孔の周圍を冷却して天井の壽命を長くし、電氣が煉瓦を通じて流れるのを防ぐ等色々の効を爲して居る。

電極が爐内に入つて居る部分の溫度は爐内の溫度と大差がないから、電極は其の兩端を除く外は完全に熱の絶縁物にて圍繞せられて居るものと見る事が出来るから、電極を通じて損失せられる全熱量は次の如くである。

$$Q = 41.9kT \frac{A}{L} + \frac{1}{2} i^2 \rho \frac{L}{A}$$

Qは電極を通じて流れる全熱量(ワット)  
kは1立方糸を一秒に流れる平均熱量(瓦カロリー)  
Tは電極兩端に於ける温度の差(攝氏度)  
Aは電極の断面積(平方糸)  
Lは電極の炉内にある長さ(糸)  
iは電極を流れる電流(アムペア)  
ρは1立方糸に付く平均抵抗(オーム)

今黒鉛電極の場合に冷却水に依つて運び去るべき熱量を計算すれば次の如くなる。

$4.19k = 6.858 \quad T = 2,000^{\circ}\text{C.} \quad A = 410.$

$L = 600 \quad i = 7,500 \quad \rho = 0.0007874$

(4.19k 及 ρ の値はケーリングの実験の結果に依る。)

$$Q = 6.858 \times 2000 \times \frac{410}{600} + \frac{1}{2} \times (7500)^2 \times 0.0007874 \times \frac{600}{410}$$

$$= 41,780 \text{ ワット}$$

$$= 41,780 \times 0.238882 \times \frac{60 \times 60}{1000} = 35,930$$

(毎時瓦カロリー)

然るに實際に於ては電極の温度は炉内の温度よりも稍々低く又天井の煉瓦を通して冷却水へ傳はる熱量をも考へなければならぬから、此の二倍の熱量が冷却水に依つて運び去られるものとすれば、三本の電極にては、一一五、五八〇瓦カロリーの熱量となる。

今冷却水が始め攝氏十六度であつて、冷却装置を去る時に三十度になると假定すれば、一分間に要する水量は次の如くなる。

$$\frac{315,580 \times 1000}{(30 - 16) \times 60} = 256,600 \text{ (每分立方糸)}$$

水管内を流れる水の速度を毎分三百米とすれば水管の内径は、三十三粍で宜しい。各電極に分れる水管には三分の一の水を通すればよいのであるから、内徑十九粍の水管で宜しい。電極の調整にはサーリー調整器を使用するのが便利である。

## 五 爐の構造

爐内容積を適當にする事は非常に必要な事であつて此の選定を誤れば電力使用量又は耐火材料の耐久力等に大なる不利益を來す事がある。スタンスフライードは其の著書に於て多くの例を擧げた後に、エラー式又はスタッサノ式の様な種類の製鋼爐には毎立方米に就き二百乃至三百キロワットが適當であると言つて居る。今之を我國に使用せられて居る電氣爐に就て對照して見るに、日本製鋼所廣島工場の二噸レンナーフエルト式爐では毎立方米に就き約二百七十キロワット、之れを縮少して半噸とした場合には約三百二十キロワットに設計せられて居る。熱田電氣製鋼所の五噸エラー式爐では約五百二十キロワットになつて居るし、大同電氣名古屋製鐵工場の一噸半グレンワール式爐では約二百キロワットを使用して

居る。

是等の數字には餘程差があるが、毎立方米の電力使用量を多くすれば比較的小さな爐になつて熱效率も良くなる理であるから三百乃至四百キロワットにするのが最も適當である。

吾々の五噸爐に於ては千三百K、V、A、の電力を使用するから其の力率を七十五%とすれば、爐内容積は二、四四乃至三、二五立方米にすれば宜しい。

熔鋼の表面積は熔滓との化學反應を迅速ならしめる事から考へると成るべく大きい方がよいが、餘り大きくすれば熔鋼

の溫度を一様にする事も出來ないし、爐内容積が大きくなつて不利益である。熔鋼の深さは餘り深くすれば精煉作業が完全になるし、其の底部の溫度が上昇し難いから、五噸位の爐では普通二百五十耗乃至三百耗とする。

次に重要な事は爐壁、天井及爐床に使用する耐火材料の選定である。電氣爐用耐火材料は耐火度の特に高いものを必要

とするから爐床にはマグネシア粉、爐壁にはマグネシア煉瓦を使用するのが適當である。マグネシアは空氣中の水分を吸収して崩壊する性質が少いから焼いたものを保存する事も出来るし、鹽化マグネシウム即ち苦汁ニガリに依つて容易に固結せしめる事が出来る便利がある。價格はドロマイドに比較して餘程高價であるけれども、一度爐床を造れば容易に浸蝕せられないから結局此の方が利益となる場合が多い。勿論此の比較は絶對的のもので無いからマグネシアとドロマイドとの價格

の差に依つて決せられるべき問題である。爐壁にはマグネシア煉瓦、クローム煉瓦及硅石煉瓦が使用せられるがクローム煉瓦からはクロームが還元せられ鑄鋼の性質を損する事がある。余が半噸レンナーフエルト式電氣爐で實驗した結果に依るとマグネシア煉瓦が最も優秀であつたが之も其の時の價格に左右せられる事勿論である。天井にはどうしても硅石煉瓦が最も適當である。何となれば天井には收縮する性質の煉瓦は使用する事が出來ないからである。尙ほ詳細な部分の設計は略す。

## 六 化學平衡

色々な場合に對して化學平衡を研究して置く事は必要であるが、茲には簡単の爲めに鑄鋼の一例を擧げる事とする。使用する原料は全部鋼削屑とし製品の豫定成分を次の如く假定する。

炭素	硅素	満	俺	磷	硫	黃銅
○、二〇〇、三〇以下	○、五〇〇、八〇、〇二以下	○、〇二以下	○、一〇以下			

此の化學平衡を考へるには酸化期と還元期とを別々にするのが便利である。酸化期の熔滓は除磷の目的を達する爲めに石灰の含有量を充分にしなければならない。今熔滓の豫定成分を次の如く假定する。

石灰	酸化鐵	其他
五〇	一五	二〇
炭素	硅素	満俺
〇、一五	〇、〇二	〇、二〇
硫酸	磷	硫黃
〇、〇〇四	〇、〇〇六	〇、〇〇六

又酸化期の終りに於ける熔鋼の豫定成分を次の如く假定する



硫 黃 鋼  
二金三金  
0.30 硫化カリシウム五分  
一酸化炭素  
—

苦 土  
土  
0.20  
0.15  
0.10  
0.05  
0.02  
0.01  
0.00

苦 土  
土  
0.20  
0.15  
0.10  
0.05  
0.02  
0.01  
0.00

苦 土  
土  
0.20  
0.15  
0.10  
0.05  
0.02  
0.01  
0.00

### 黒鉛電極(五班)

石 灰  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

石 灰  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

石 灰  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

—

苦 硅 酸  
土 酸  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

石 灰  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

石 灰  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

石 灰  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

—

酸化第一鐵  
礬 炭 灰  
土 素  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

石 灰  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

石 灰  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

石 灰  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

—

### 空氣(三〇班)

酸 素  
室 大  
0.10  
0.01  
0.00

酸 素  
室 大  
0.10  
0.01  
0.00

酸 素  
室 大  
0.10  
0.01  
0.00

—

マグネシア爐床(一五班)

石 灰  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

石 灰  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

石 灰  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

—

酸化第一鐵  
礬 炭 灰  
土 素  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

石 灰  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

石 灰  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

石 灰  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

—

### 石灰(三〇〇班)

石 灰  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

石 灰  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

石 灰  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

—

### 硅素鐵(一四班)

石 灰  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

—

酸 灰  
石 灰  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

—

### 満鐵(三五班)

石 灰  
0.15  
0.05  
0.01  
0.00

—

アルミニウム  
0.10  
0.05  
0.01  
0.00

—

鐵炭  
素  
素  
素  
素  
硫  
黃  
鉛  
鉛  
鉛

國制  
國制  
國制  
國制  
國制  
國制  
國制  
國制  
國制  
國制

## 七 熱效率

得られる熱量は電力に依るのみ、各種元素の酸化其他の化學反應に依つて得られるものと/or。

### 得られる熱量(馬力カロリー)

電力(出鋼量當800K.W.H.と假定す)	$4,000 \times 864.5 = 3,458,000$
26.98馬の炭素が一酸化炭素に酸化される熱	$26.98 \times 2,430 = 65,561$
16.15馬の鉄素が酸化されれる熱	$16.15 \times 7,000 = 113,050$
5.68馬の磷が一酸化磷に酸化される熱	$5.68 \times 1,653 = 9,389$
2.72馬の硫黄が硫酸カルシウムとなる熱	$2.72 \times 2,947 = 8,016$
2.63馬の磷が無水磷酸に酸化される熱	$2.63 \times 5,892 = 16,496$
0.40馬の炭素が炭化鐵となる熱	$0.40 \times 705 = 282$
0.10馬アルミニウムが鋳土となる熱	$0.10 \times 14,540 = 1,454$
8.00馬の炭化カルシウムを生ずる熱	$-8.00 \times 97.7 = -781$
5.94馬の鉄素が非酸化鉄となる熱	$5.94 \times 12,620 = 74,963$
138.63馬の酸性物質が熔解を造る熱	$138.63 \times 150 = 20,795$
合計	$3,767,225$

比熱を〇.111として、熔融潜熱を110馬力カロリーとすれば、利用せられる熱量は次の如くなる。

$$\text{利用せられる熱量(馬力カロリー)} = 5,705.45 \times (1700 \times 0.2 + 70) = 2,339,235$$

$$= 421,703$$

$$\text{熔銅の有する熱} = 790.19 \times (1700 \times 0.3 + 30) = 144,161$$

$$= 89.43 \times 1,612 = 144,161$$

$$83.68馬の酸化第一鐵が四三酸化鐵から還元せらる 83.68 \times 340 = 28,451$$

$$5.23馬の酸化第一鐵が四三酸化鐵から還元せらる 5.23 \times 416 = 2,333$$

$$14.03 \times 705 = 9,912$$

$$12.2 \times 2,800 = 34,160$$

$$2.14馬のカルシウムが石灰から還元せらる 2.14 \times 3,655 = 7,768$$

### 合計

$$\text{熱效率} = \frac{\text{利用せられた全熱量}}{\text{得られた全熱量}} \times 100 = 70\%$$

$$\text{死斯に依つて失はれる熱} = 131.36 \times 0.3 \times 1500 = 59,112$$

$$= 720,360$$

$$\text{傳導及輻射に依つて失はれる熱(差)} = 720,360$$

$$\text{馬力カロリー}$$

## 八 企業費總計二十一萬圓

### 企業費總計二十一萬圓

電氣爐	爐體	回轉裝置	基礎	取鍋及工具	其 他
111,000	111,000	111,000	111,000	111,000	111,000

次に作業中爐内の平均溫度を攝氏千六百度とし、出鋼前の熔鋼及熔滓の溫度千七百度と假定する。機械的損失をも加くして熔鋼の全量は五、七〇五、四五馬である、熔鋼の平均比熱を〇.111とし、熔融潜熱を七〇馬力カロリーとし、又熔滓の平均

## 電氣導線 鑄造工場及附屬設備

一三、〇〇〇

一五〇、〇〇〇圓

五〇、〇〇〇円

一四、〇〇〇

一六、〇〇〇

一五〇〇〇

六、〇〇〇

六、〇〇〇

五、五〇〇

二五、〇〇〇

四、〇〇〇

一一、〇〇〇

七六、〇〇〇圓

出鋼量噸當原料費五二・八五圓

金利及償却費を一五%とすれば出鋼量噸當八・一六圓

### 鑄造材料費(出鋼量噸當)

原 料	重 量	噸當單價	對于四六〇噸的出鋼費
鋼 削 層	二五五〇	一五〇〇	三、八二五
鋼屑及鑄鋼屑	二五五〇	七〇〇〇	一七、八五〇
滿倦鉄(七八%)	四、〇〇	二八〇〇〇	一、一二〇
珪素鉄(七〇%)	二、七〇	四九〇〇〇	一、三二三
アルミニウム	〇、一五	一、三〇〇〇〇	一九五
合 計			二四、三一三

亞酸熔接設備	乾燥爐	燒鈍爐	空氣鎚(四分の一噸)
十噸起重機	燒鈍	燒爐	空氣鎚(四分の一噸)
五噸起重機	干燥	爐	混砂機及丸鋸
建 築	乾	燒	矽型
其 他	燥	鈍	空氣壓縮機及壓搾空氣工具

### 技術者書記及職工

員數

日給

月給(賞與及手當等を含む)

四〇〇〇〇

六〇〇〇〇

一〇六〇〇

一〇五〇〇

三〇〇〇〇

五〇〇〇〇

三〇〇〇〇

二〇〇〇〇

一〇〇〇〇

一〇〇〇〇

一〇、一九九、一〇

合計

以上を合計すれば出鋼量噸當及良鑄鋼品噸當工場原價は次

電氣爐は冷材を原料とし、一晝夜四回の作業を爲すとすれば一ヶ月四百六十噸を出鋼する事が出来る。之に依つて鑄鋼品一噸當工場原價を計算すれが次の如くなる。

### 原料費(一ヶ月に付)

一、五〇〇

六、〇〇〇

六、〇〇〇

五、五〇〇

二五、〇〇〇

四、〇〇〇

一一、〇〇〇

日給

月給(賞與及手當等を含む)

四〇〇〇〇

六〇〇〇〇

一〇六〇〇

一〇五〇〇

三〇〇〇〇

五〇〇〇〇

三〇〇〇〇

二〇〇〇〇

一〇〇〇〇

一〇〇〇〇

一〇、一九九、一〇

合計

三〇、〇五

四〇〇〇〇

五五

二三〇

七五

四〇

一〇

〇、〇二八

〇、〇三〇

一、二〇

二、一〇

七、〇四

一、七六

七、四〇

七、五

〇、〇一八五

〇、〇一八五

一、七六

七、四〇

一、七六

七、四〇

一、七六

七、四〇

一、七六

七、四〇

一、七六

七、四〇

一、七六

五〇四

費　　日	出鋼噸當實費
製　　鋼　原　料	五二、八五
工賃(一ヶ月工賃總計八、九月各・11圓)	一九、四〇
監督電及事務費(一ヶ月俸給1、11七六圓雜費11四圓)	二、八三
金利及償却費	八、一六
電力(一キロワット時1錢)	一六、〇〇
電　　極　　費	五、〇〇
修　　繕　　費	一一〇、〇〇
熔津原料(石灰、螢石、鐵礦等)	一、七五
分　　析　　費	三、〇〇
運　　搬　　費	一、〇〇
鑄造材料(燒鈍用石炭費を含む)	三〇、〇五
鑄型補充費	一一〇〇
工具費	八、〇〇
木型製作費	一〇、〇〇
押湯切削及熔接費	三、〇〇
諸　　雜　　費	一〇、〇〇
出鋼噸當實費總計	一九四、〇四

此の工場原價  $3,312 \times 2^{\text{回}} = 927,360$  圓

一ヶ月の利益  $120 \times 3,312 = 397,440$  圓

企業費に對する利益  $397,440 \div 300,000 = 1.3243$

即ち一ヶ月約 111〇〇% の利潤である。(訳)

今出鋼量の六割が良鑄鋼品となり、四割は鑄鋼屑となる。一  
噸七拾圓にて拂下げるとして、良鑄鋼品〇・六噸の價は、  
 $194.04 - 70.00 \times 0.4 = 166.04$  圓  
 故に良鑄鋼品 1 噸の價は  $166.04 \div 0.6 = 276.73$  圓  
 即ち約二百八拾圓と看做す事が出來る。

是に依つて鑄鋼品の市價を頗當四百圓としても百貳拾圓の  
 利益を得る事になる。次に一ヶ月の收支豫算をすれば次の如  
 くなる。

一ヶ月良鑄鋼品生産高  $460 \times 12 \times 0.6 = 3,312$  噸