

最新電氣煉鋼法

劉逸民譯

建新公司鋼鐵廠

MG
T74
1

最新電氣煉鋼法

目錄

第一章 電氣煉鋼法的發達

| | | |
|-----|-------------|---|
| 第一節 | 緒言 | 1 |
| 第二節 | 電氣煉鋼法的初期 | 1 |
| 第三節 | 電氣煉鋼法工業化的發達 | 2 |
| 第四節 | 日本的電氣爐之發達 | 3 |
| 第五節 | 現在的狀態及將來的問題 | 5 |

第二章 電氣工學的基礎概念

| | | |
|------|-----------|----|
| 第一節 | 電流 | 6 |
| 第二節 | 電氣抵抗 | 6 |
| 第三節 | 「歐母」定律 | 7 |
| 第四節 | 電氣效果 | 8 |
| 第五節 | 電流之分路 | 9 |
| 第六節 | 回路之接續法 | 10 |
| 第七節 | 交流 | 11 |
| 第八節 | 相位 | 12 |
| 第九節 | 實效值 | 13 |
| 第十節 | 交流抵抗 | 14 |
| 第十一節 | 合成抵抗 | 14 |
| 第十二節 | 功率 | 16 |
| 第十三節 | 誘導作用及自己感應 | 18 |

周
1949.12.12
B

第三章 電氣煉鋼爐用耐火爐材

| | | |
|-----|----------|----|
| 第一節 | 概況 | 19 |
| 第二節 | 酸性耐火材料 | 21 |
| 1. | 硅石磚(矽磚) | 21 |
| 2. | 耐火粘土及耐火磚 | 22 |



| | |
|-------------------------------|----|
| 3. Ganister | 23 |
| 第三節 鹽基性耐火材料 | 23 |
| 1. 苦灰石及苦灰磚 | 23 |
| 2. Magnesite 及 Magnesit | 24 |
| 第四節 中性耐火材料 | 24 |
| 1. Chromite | 25 |
| 2. Bauxite | 25 |
| 3. Aluaum及Carborundum | 25 |
| 4. Cornort | 26 |

第四章 裝入材料及造滓材料

| | |
|------------------|----|
| 第一節 裝入材料 | 28 |
| 1. 概說 | 28 |
| 2. 普通鋼屑 | 28 |
| 3. 嚴選之低磷鋼屑 | 29 |
| 4. 合金鋼屑 | 29 |
| 5. 生鐵 | 30 |
| 第二節 鐵合金 | 30 |
| 1. 概說 | 30 |
| 2. 錳鐵 | 30 |
| 3. 錳鐵 | 30 |
| 4. 硅素鐵 | 31 |
| 5. 硅錳鐵 | 31 |
| 6. 硅素錳鐵 | 32 |
| 7. 硅素鋁鐵 | 32 |
| 8. 鉻鐵 | 32 |
| 9. 鎢鐵 | 32 |
| 10. 鉬鐵 | 33 |
| 11. 鈾鐵 | 33 |
| 12. 鈦鐵 | 33 |
| 13. 鎳 | 33 |

| | | |
|-----|----------|----|
| 14. | 鋁 | 33 |
| 15. | 鑄鐵 | 34 |
| 16. | 稀有鐵合金 | 34 |
| 17. | 其他的合金鐵 | 35 |
| | 第三節 造滓材料 | 35 |
| 1. | 石灰石及石灰 | 35 |
| 2. | 螢石 | 35 |
| 3. | 其它的造滓材料 | 36 |

第五章 酸化劑，脫酸劑及與炭劑

| | | |
|----|---------|----|
| | 第一節 酸化劑 | 37 |
| | 第二節 脫酸劑 | 37 |
| 1. | 概說 | 37 |
| 2. | 脫酸劑的種類 | 38 |
| 3. | 加入方法 | 40 |
| | 第三節 增炭劑 | 40 |

第六章 電氣煉鋼爐的種類 (41—44)

第七章 電氣煉鋼爐各論

| | | |
|----|--------------|----|
| | 第一節 輻射弧光電氣爐 | 45 |
| 1. | 斯大薩諾式電氣爐 | 45 |
| 2. | 崩那式電氣爐 | 45 |
| 3. | 倫那弗爾得式電氣爐 | 46 |
| 4. | 巴薩尼斯式電氣爐 | 48 |
| | 第二節 直接弧光式電氣爐 | 48 |
| 1. | 隘路式電氣爐 | 48 |
| 2. | 崩，保爾式電氣爐 | 52 |
| 3. | 路得郎母式電氣爐 | 53 |
| 4. | 睦阿式電氣爐 | 53 |
| 5. | 弗阿得式電氣爐 | 53 |
| 6. | 魏卜式電氣爐 | 54 |

| | | |
|-----|---------------|----|
| 7. | 否路大式電氣爐 | 54 |
| 8. | 案摩力尼式電氣爐 | 54 |
| 9. | 任大斯得力爾式電氣爐 | 55 |
| 10. | 日本國產電氣爐 | 55 |
| 11. | 籠裝入式電氣爐 | 55 |
| | 第三節 弧光抵抗式電氣爐 | 55 |
| 1. | 基勞式電氣爐 | 55 |
| 2. | 固龍娃爾式電氣爐 | 57 |
| 3. | 克拉式電氣爐 | 58 |
| 4. | 賈破列得式電氣爐 | 58 |
| 5. | 那斯狹斯式電氣爐 | 58 |
| 6. | 固力布斯埃茄爾式電氣爐 | 59 |
| 7. | 保斯。號爾式電氣爐 | 59 |
| 8. | 史奈大式電氣爐 | 59 |
| 9. | 古淋式電氣爐 | 59 |
| 10. | 比芝。布爾固式電氣爐 | 60 |
| | 第四節 誘導式電氣爐 | 60 |
| 1. | 傑倫式電氣爐 | 60 |
| 2. | 列西淋。老甸號查式電氣爐 | 61 |
| 3. | 弗力克式電氣爐 | 62 |
| 4. | 西奧爾斯式電氣爐 | 62 |
| 5. | 葛下。嫁拉梅克式電氣爐 | 62 |
| 6. | 阿嫁克。魏阿特式電氣爐 | 62 |
| 7. | 傑尼拉。埃力克得力式電氣爐 | 62 |
| 8. | 高周波誘導電氣爐 | 62 |

第八章 弧光式電氣爐詳細構造

| | | |
|-----|---------|----|
| 第一節 | 爐體 | 67 |
| 第二節 | 熔解室的寸法 | 68 |
| 第三節 | 耐火性的爐囊 | 69 |
| 第四節 | 爐蓋 | 74 |
| 第五節 | 裝入口及出鋼口 | 75 |

| | | |
|-----|---------------|----|
| 第六節 | 電極保持裝置 | 78 |
| 第七節 | 電極把持器 | 81 |
| 第八節 | 電極節約裝置及爐體冷卻裝置 | 82 |

第九章 弧光式電氣爐的電氣設備

| | | |
|-----|-------------|-----|
| 第一節 | 概說 | 84 |
| 第二節 | 電力供給 | 84 |
| 第三節 | 爐電壓的選擇 | 84 |
| 第四節 | 變壓器 | 86 |
| 1. | 變壓器的作用 | 86 |
| 2. | 變壓器的構造 | 90 |
| 3. | 變壓器的監視 | 91 |
| 4. | 變壓器的選定 | 92 |
| 5. | 變壓器的過負荷容量 | 97 |
| 第五節 | 電弧爐的塞流線輪及力率 | 99 |
| 第六節 | 電弧爐的開閉裝置 | 102 |

第十章 電極及電極調整裝置

| | | |
|-----|---------------------|-----|
| 第一節 | 概說 | 105 |
| 第二節 | 炭素電極 | 105 |
| 第三節 | 人造黑鉛電極 | 106 |
| 第四節 | 天然黑鉛電極 | 108 |
| 第五節 | 天然及人造黑鉛電極的比較 | 110 |
| 第六節 | 電極的接續法 | 112 |
| 第七節 | 電極的故障 | 113 |
| 第八節 | 騷得別爾固連續電極 | 113 |
| 第九節 | 電極調整裝置 | 114 |
| 1. | Thury 式電極調整器 | 116 |
| 2. | Westinghouse 式電極調整器 | 116 |
| 3. | B.B.C 式自動電極調整器 | 119 |

第十一章 電氣爐的効率

| | | |
|-----|------------------|-----|
| 第一節 | 電氣爐的 Energy 能消費量 | 120 |
| 第二節 | 於電氣鍊鋼上電力損失的意義 | 122 |
| 第三節 | 變壓器損失 | 122 |
| 第四節 | 電流輸送的損失 | 123 |
| 第五節 | 水冷的熱損失 | 123 |
| 第六節 | 爐壁的熱傳導及放射損失 | 124 |
| 第七節 | 爐門開放之放散損失 | 125 |
| 第八節 | 放出瓦斯之熱損失 | 126 |
| 第九節 | 有較熱及損失熱的分布狀態 | 126 |

第十二章 電氣爐冷材裝入作業

| | | |
|------|----------|-----|
| 第一節 | 概說 | 128 |
| 第二節 | 修理作業 | 128 |
| 第三節 | 裝入 | 130 |
| 第四節 | 熔解 | 131 |
| 第五節 | 出滓 | 135 |
| 第六節 | 複炭 | 136 |
| 第七節 | 脫硫及脫氧 | 137 |
| 第八節 | 完成 | 139 |
| 第九節 | 溫度調整 | 139 |
| 第十節 | 出鋼 | 141 |
| 第十一節 | 合金元素加入法 | 144 |
| 第十二節 | 化學成份的調整 | 145 |
| 第十三節 | 迅速分析所要時間 | 148 |

第十三章 鹽基性電氣爐之氯化作用

| | | |
|-----|----------|-----|
| 第一節 | 概說 | 149 |
| 第二節 | 硅的分離 | 149 |
| 第三節 | 錳的分離 | 150 |
| 第四節 | 磷的分離 | 151 |
| 第五節 | 炭的氯化 | 152 |
| 第六節 | 氯化期之脫硫作用 | 153 |

| | | |
|-----|-------------|-----|
| 第七節 | 氧化期瓦斯的分離 | 153 |
| 第八節 | 酸化鋼滓的成份 | 154 |
| 第九節 | 氧化期之化學反應的總括 | 155 |

第十四章 鹽基性電氣爐的精鍊作用

| | | |
|-----|----------------|-----|
| 第一節 | 概言 | 157 |
| 第二節 | 增炭 | 157 |
| 第三節 | 還元鋼滓 | 158 |
| 第四節 | 白色鋼滓 | 158 |
| 1. | 白色鋼滓的還元 | 158 |
| 2. | 白色鋼滓的脫硫 | 159 |
| 第五節 | 炭化鈣鋼滓 | 161 |
| 1. | 炭化鈣鋼滓的一般性 | 161 |
| 2. | 炭化鈣鋼滓的脫酸 | 161 |
| 3. | 還元作用與擴散作用的關係 | 163 |
| 4. | 添加硅，鋁還元作用的完成 | 164 |
| 5. | 炭化鈣鋼滓的脫硫 | 165 |
| 第六節 | 對完成鋼滓製造上有影響的條件 | 166 |
| 第七節 | 含炭量過剩時的對策 | 167 |
| 第八節 | 完成鋼滓中螢石的作用 | 168 |
| 第九節 | 還元鋼滓的成份 | 170 |
| 第十節 | 熔鋼的靜置鎮靜作用 | 170 |

第十五章 冷材熔解法的種類

| | | |
|-----|----------|-----|
| 第一節 | 概說 | 172 |
| 第二節 | 完全氧化熔解法 | 172 |
| 1. | 熔解 | 172 |
| 2. | 出滓及增炭 | 174 |
| 3. | 脫氧 | 174 |
| 4. | 總括 | 175 |
| 第三節 | 部份的氧化熔解法 | 176 |
| 1. | 熔解 | 176 |

| | |
|--------------|-----|
| 2, 除滓, 增炭及脫氧 | 177 |
| 3, 總括 | 178 |
| 第四節 無氧化的熔解法 | 178 |
| 1, 概述 | 178 |
| 2, 熔解 | 178 |
| 3, 還元 | 180 |
| 第五節 氧化熔鍊法 | 180 |
| 1, 概述 | 180 |
| 2, 氧化熔鍊法的理論 | 181 |
| 3, 裝入, 熔解及出滓 | 182 |
| 4, 還元 | 182 |

第十六章 熔材作業法

| | |
|-------------|-----|
| 第一節 概說 | 186 |
| 第二節 裝入 | 187 |
| 第三節 熔材成份 | 187 |
| 第四節 氧化及出滓 | 188 |
| 第五節 增炭脫硫及脫氧 | 189 |
| 第六節 轉爐鋼的精鍊 | 189 |

第十七章 鹽基性電氣爐鋼的性質(190—191)

第十八章 特殊鋼製造法

| | |
|------------|-----|
| 第一節 概說 | 192 |
| 第二節 炭素工具鋼 | 192 |
| 第三節 高速度工具鋼 | 193 |
| 第四節 不銹鋼 | 195 |
| 第五節 鍊: 鉻鋼 | 195 |
| 第六節 纖維狀組織鋼 | 196 |
| 1, 筋狀鋼 | 197 |
| 2, 木目狀鋼 | 199 |
| 第七節 白點鋼 | 201 |

| | |
|--------------------|-----|
| 1. 概說 | 201 |
| 2. 白點成因 | 202 |
| 3. 容易發生白點的條件 | 204 |
| 4. 防止白點的須要條件 | 205 |
| 5. 白點之檢出法 | 213 |
| 6. 結論 | 214 |
| 第八節 變壓器鐵板用鋼 | 215 |

第十九章

酸性電氣鍊鋼法

| | |
|----------------------|-----|
| 第一節 概說 | 217 |
| 第二節 爐缸構造 | 217 |
| 第三節 裝入材料 | 219 |
| 第四節 熔解氧化時的變化情況 | 219 |
| 第五節 熔解作業標準 | 220 |
| 第六節 還元作用原理 | 221 |
| 第七節 操業實例 | 224 |
| 第八節 酸性法之應用範圍 | 226 |

第二十章 鑄造法 (228~229)

附 表,

最新電氣煉鋼法

The Modern Manufacture of Electric Steel

第一章 電氣煉鋼法的發達

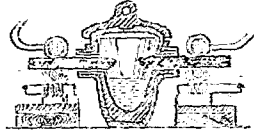
第一節 緒言

電氣煉鋼法在鋼鐵工業中為最新的方法。自發明以至工業化其中間已有百餘年的經過。然而以後僅於25年多的過程已發達成為今日的狀態了。即是說在較短的時間內早已進步到此坩堝爐，轉爐，及平爐等既確實而有價值的地位了。今特舉實際例子加以說明，現在世界上的電氣爐數目已超過2000以上，其大者已至60噸左右。而電爐年產鋼量亦達1000,000噸以上。其生產量雖僅占鋼總生產量之約2%，但在鋼質量上講起來堪敵坩堝爐鋼，而比平爐，轉爐煉鋼法所煉的鋼是為優良的。故此在將來對高級鋼的製造上電氣煉鋼法將會獲得更卓越的地位與發展的。

第二節 電氣煉鋼法的初期

若說起電熱的利用已開始於19世紀的初期，但應用到鋼鐵製造上去的，却是1873到1879年以Wilhelm Siemens氏的研究為首。該氏最初考案之爐體構造，如第1圖般，於材料入坩堝內，由其側壁向裝入物上方伸插兩根炭精棒，利用其間的放熱加熱之。其後稍見改良者如第2圖般是將一根炭棒懸垂於裝入物之上，另一炭精棒固定於坩堝底部，電流由上方之電極（炭精棒）而下在和裝入物中間發生弧光，通過金屬材料而傳到底部電極。

其後1887年Ferranti氏發明出一種誘導式電氣爐。該爐全體恰如變壓器形狀，在工業化的生產上該爐本身雖未成功。但是却給後來者打下了基礎。



第1圖 西門斯氏

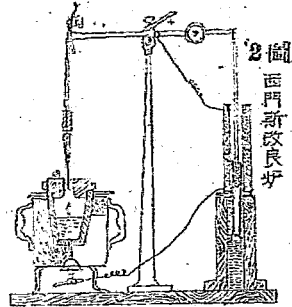
後年之誘導式電氣爐亦不過是將該爐加以改善了一些而已。1898年Stassano氏在羅馬造出了弧光式的電氣爐，以此從事鑄鐵石的精鍊。同時又想到直接由礬石裏製造鋼。Stassano氏正在繼續其研究當中，於美洲有Beroult氏亦正在埋頭於鋁，炭化鈣及鐵合金業之精鍊研究，及至1899年該氏又轉念研究鑄的製造，終於發明出Beroult式電氣爐。此爐是將二根電極懸垂於爐內材料之上，通過電流，以所生弧光與低抗作用而行熔解並精鍊的。

於1900年Kjellin氏考案出如1887年Ferranti氏亦得



到特許之爐式的誘導式爐。該氏以此爐從專用鐵鑄石，生鐵以及鋼屑等製造鋼的研究，終於在1902年成功了工業化高級工具鋼的製造。

這樣便在1900年出現了間接弧光之Stassano爐，直接弧光之Heroult爐及誘導式之Kjellin爐等三種。說起這幾種爐雖都不過是西門斯氏及福爾契氏之最近的特許原理之改良品，但是以上的三種爐却是今日所用一切爐之基礎。



第三節 電氣煉鋼法工業化的發達

於前節所述，根據有賴先覺們的努力而打下的基礎，在以後的10年中間（即頂到世界大戰開始）於鍛冶工業之要求驅促下電氣爐亦發達而至工業化了。1906年先有基勞爐（Girod）被案出。這雖是根據隘路爐（Heult）的推念只將爐底部設上了一個電極，但是這層鐵，熔鋼兩者皆能經濟操作之最初的一個。同年又出現了傑倫（Kjellin）爐經過改良的勞倫老荷馳查爐（Rechling, Rodenhausen）。1912年Bennerfelt氏又完成了倫勃爾爾得式電氣爐。這是有着兩根水平電極之西門斯坩堝爐的改良品。但是它只用一根垂直電極通過爐蓋穴伸入爐內，而使二水平電極間的電弧直接的落到湯槽（鐵液部分）內去的。又在這個年代Grownwall氏考案出有爐床電極的電氣爐，Nathusius氏想出直接弧光之爐床電極式爐，Frik氏及Hiorth氏考案出誘導式爐。其它如Chaplet, Keller, Snyder爐等各々皆於獨特設計之下而建設出來的。更進一步爲了減少電力消費量，減低熔解費，且對電流電壓方面經過一番研究之後，遂有近於理想之電氣爐的誕生。像這樣電氣爐研究進步之結果，諸電氣機械製造會社，如德國A, B, G. Bergmann, Siemens, 瑞士Brown, Boveri, 以及美國的General Electric Co, 等々皆集力從事研究。其次於冶金學方面亦大加研究，終於求得了完善的熔解方法。

以後因受世界大戰的刺激，各國都在發展着此煉鋼法。一致在研究利用此爐從事砲彈砲身等製造。蓋用平爐困難，用坩堝爐則成本太高之故也，這樣此問題便獲得了解決。又因需要者的增多，結果得到了

新的投資，隨之則益發有了進步與發達的機會，電氣爐鋼的世界產量在1913年雖僅為170,000噸，而1918已達1150,000噸之多。可是不幸的是專攻冶金學的高等教育者們沒能配合上此發達的步調，結果隨着戰爭的結束，世間便再度的受到經濟恐慌的襲來電氣煉鋼業亦不得不枯萎不振了。可是爲了要突破這層難關，便想到利用一切各種各樣的鋼屑，旋盤屑及舊零件來製造純良的鋼，新式的爐體也隨之出現。卽有Booth Hall, Greaves Etchells, Grownwall, Dixon, Ludlum, Moor等。但時勢是無可奈何的。1920年已達至極點的各電氣爐國家都或多或少的受到了打擊。於中最甚者莫過於美，英及意等三國，蓋因該三國其發達過速之故也。

然而戰後經極研究的結果，都認識到電氣爐法於冶金學的見地上是優於平爐的，故此始得穩立，最近20年來，於工業的研究及科學的研究兩方面，只對鋼的固體狀態着重研究，却忽視了對液動狀態的研究。最近在研究所內對這個問題剛見合罪，於冶金學者及製鋼技師者之間此項研究漸至盛行的結果，此專業全體亦隨之興盛起來了。今特將電氣製鋼業的發展過程歸納於第1表中間所遭遇的難關由此表中則可得知。

第1表 電氣爐的發達，

3 圖

第2表 坩堝及電氣爐製鋼量的趨勢，

第3表 北美鑄鐵製造量，

第4表 德國鑄物製造量(%)

第5表 北美鋼塊及鑄鐵製造量

第四節

日本的電氣爐之發達

試看日本電氣鋼之曆史，明治四十二年1909土橋長兵衛氏於信洲(今長野縣)松本市附近的新橋工場用小型的隘路式弧光爐製造工具鋼是爲首次，更二年後(1911)(安來製鋼所)的伊部喜作氏亦用隘路式爐從事砂鐵的電氣精鍊與高速度鋼熔製的研究，大正元年(1912)海軍工廠開始對各式電氣爐作試驗。

大正五年八月大同電氣製鋼所開始1,5噸隘路式爐的熔解，翌年

七月廣田製鋼所開始用小型隘路式爐熔解高速度鋼，同年二月製鐵所（即八番製鐵所）又開始了誘導式電氣爐的作業。

其後受歐戰影響，隨各種工業的活躍，電氣製鋼業亦突然情況好轉，乃見到各地爐之新設及擴張。大正八年廣田製鋼所增設了3噸隘路式爐，同年又增設同式6噸爐1基，同年日本特殊鋼株式會社亦設3噸爐，大正十一年一月八番製鐵所開始隘路式3噸爐之作業，同年神戶製鋼所亦開始2噸同式爐的操作。大正十三年川崎造船所的製鋼場新設帶電極自動調整機的隘路式爐3噸二基，著者當時於該場活躍一時，另外尚有米子，小松，長崎三，戶田，日本製鋼分工場等地亦均有新的設立，大正十五年十月住友製鋼所始設一基肺弱得式的3噸爐，此時電氣煉鋼法已舉得完善的成績，工具鋼及鑄鋼頗盛，整個的壓倒了轉爐法，尤其是高級特殊鋼的製造也同樣的產出堪敬堪培鋼之良品。

以前主要是3噸至6噸左右者居多，但在昭和2年大同電氣製鋼所又新設10噸之大爐，此為大型爐的第一個，又有八番製鐵所亦在同年設6噸隘路式爐一基，越二年後又增設一基，昭和3年神戶製鋼所亦設一6噸爐，像這樣以非常之勢在發展着，但是由於昭和6年一戰的不景氣電氣製鋼業遂陷於苦境，且有好多地方已勢必不得不暫時停頓下來。但是於同七年海軍工廠設立了30噸的隘路式爐，尼崎製鋼所的10噸爐於同年開始熔解，住友製鋼所於同八年六月又新設15噸的隘路爐，同九年春川崎造船所製鋼場又開始了15噸爐的操作，其後日本特殊鋼又添設15噸爐長崎三菱造船所重設25噸隘路式爐。

這樣在大型爐發達增添中間，小型爐亦隨之增設得更多，又在牛尾製作所，大同電氣製鋼所，住友新居濱製作所及贊美商會等處對電氣爐專門計劃與對設備方面致力研究之下，又能比較容易的獲得了完善的國產爐，同時電極一層也有日本炭素，東海電極及昭和電極等各會社之優良品的出產更加上物價騰貴景氣的影響以致增發的見到發達。昭和2年到10年中間3噸上下的爐，平均每月有一基增加，從明治42年土蒸氏的研究開始後更經25星霜始達到今日電氣爐之黃金時代的境地。

其次特示日本國內電氣爐的發展情況於第6—8表設，其發達現象歷々在目，今後的發達之速是不難豫想的。

第6表 日本國鋼鐵之發達，

第7表 日本國鋼生產量（商工省礦山局）（%）

第8表 日本國之鐵生產量（商工省礦山局）（噸）

第五節 現在的狀態及將來的問題

在煉鋼方法之中電氣爐位於坩堝爐與平之間，在技術上為兩者競爭的對象，即能同坩堝爐的製品對立，並能生產多量的合金鋼及非合金工具鋼。歐洲，及北美等地亦同樣坩堝爐的數量正在減少着，反之平爐却因為一般的比電氣爐之應用範圍廣些，所以益發旺盛，對軌條鋼，型鋼及簿板等類一般品的製造，唯有在電力比油，煤炭，瓦斯等材料便宜的地方電氣爐才能和平爐競賽的。

然而對非合金及低合金鋼等構造材之製造，因平爐這方面已於冶金學上獲得改善故較盛些，甚至良好工具鋼的熔解也有時不用電氣爐而靠酸性平爐在生產着，其百分比今就美國的例子而言，1925年合金及合金鑄物等等的製造靠平爐者占88%，電氣爐占9%，小轉爐占2%，坩堝爐則僅占1%，不過對一般鑄鋼的製造方面，電氣爐之長所較多。只以建設費用少能夠間斷作業，裝入用費輕，能脫硫，鑄鋼鑄鐵二者兼用又因溫度調節容易故能行薄小或大的鑄物，等等的條件始能和平爐對立且得以有利的開展下去，故此將來亦能以鑄物及特殊鋼的製造用而日發達下去的！

第二章 電氣工學的基礎概念

第一節 電 流

水在靜止狀態下無任何效果，但流動時則會迴轉水車或流木材等。電氣亦然，靜止時無多大用途，但運動一即是流過一種導體內，時會起各種效果的，其電氣流謂之「電流」。

電流的作用有各種，如機械的，生理的，化學的，電氣工學的，電磁氣的，誘導，熱及光作用等很多，今只擇與吾人有關者為例加以說明於下。

例 1. 直流弧光之際，自陽極炭精棒向陰極炭精棒電流流動時，於陽極會生有火穴，此為電流之機械作用。

例 2. 軟鐵棒周圍線圈內若流過電流時，鐵棒則會帶磁而吸鐵，斷電後磁氣則瞬間消失，此為電磁現象。

例 3. 電流之過電導體而生熱或有光作用等時，導體便會被加熱，終至熔解，此為電氣熔解的原理。

例 4. 鄰接二導體之一流有電流時，他導體亦發生電流，此為誘導電流之現象，為變壓器及誘導爐之原理。

水流自山頂向山谷流動時，方有效果作用，電流亦同，自高電位流向低電位時始有作用的，若無電位差別則靜止，故保持其有電位差是必要的，使水再度返到山上，則須用「崩下」，若就電流而言，「崩下」即是一個起電流的泉源，故稱為「電源」。電源即是電池或發電機等。

測量水流強度，是測其「秒鐘能流多少立「方」水的，即以每秒鐘之水量作單位，同樣的測量電流強度時，則可測其於導體內每秒鐘流過的「庫倫」(coulomb)電氣量。即以每秒鐘的庫倫量作單位，而於導體內每秒中「庫倫」的電氣強度，名之為「安培」(ampere)。

又如水流之落差般，電位差(即所謂電壓)稱之為「弗特」(volt) 抵抗「歐姆」(ohm)之導體兩端的電位差謂之「弗特」。「水壓」即是相當於「電壓」的東西。

第二節 電氣低抗

水流於管內，其管的粗細，更換時水壓雖同，而水流的強度却不同。即細長的水管較粗短者的水流弱，這是因為管有水阻抵抗的關係。

所到電流亦然。導體兩端的電位差，即使相同而由於導體之種類、徑及長度等，電流的強度是不同的。這是因為導體有電阻抵抗作用，而其抵抗又是根據導體的種類、徑及長度等而不同的。此導體對電流的抵抗作用。名之為電氣抵抗，而測量抵抗時用「歐母」為單位。

1「歐母」(Ohm)就是導線兩端以1「佛特」的電位差流過1安培之電流時，導線本身的抵抗。而106.3cm長，1mm²斷面積的水銀柱在攝氏0度下有1 Ohm 的抵抗。

因電氣抵抗和長度成正比。和斷面積成反比。所以長度為Lm，斷面積為Amm²抵抗為R Ohm時，其抵抗為ρ的話，有如下式之關係。

$$R = \rho \frac{L}{A} \quad (1)$$

ρ之抵抗是隨導體的種類及溫度等略有出入的，也即是各種導體皆有其固有的數目字，其值如第9表般。

第9表 各種導體之比抵抗(后面)

抵抗和溫度亦有關係。一般金屬導體的抵抗是和溫度成正比而增大的，但非金屬導體(炭、MgO)却相反。攝氏零度下導體的抵抗為R Ohm，而溫度每增高攝氏1度時抵抗之增加率為α的話，攝氏t時的抵抗R Ohm以次式表示之。

$$R = R_0 (1 + \alpha t) \quad (2)$$

即是導體的電氣抵抗關係於次記四條件的。

1. 導體長度
2. 導體的斷面積
3. 導體的溫度
4. 導體的材質

又如炭等隨溫度之上升，其抵抗遞減者一般謂之，Conductor of Second class (二次導體)。

第三節 「歐母」定律

在電氣回路之某一定部份的電壓，電流及抵抗等三者中間有着一定的法則。即是

1. 抵抗和電流成反比。
2. 電壓和電流互成反比。

這是歐姆的定律，可用次式表示之。

$$I = \frac{E}{R} \quad \dots\dots\dots (3)$$

I 電流強度 (安培)
E 電 壓 (佛特)
R 抵 抗 (歐母)

$$\text{又 } E = IR \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$I = \frac{E}{R} \quad \dots\dots\dots (5)$$

第四節 電氣效果

電流通過導體時是有效果的。即其效果全部會變成熱而加熱導體。比熱能 (Energy) 和其電流強度的平方與抵抗體之通過時間的相乘成正比，此謂「朱爾」(Joules) 的定律。

今 1 安培的電流通過 R Ohm 的抵抗 T 秒時，此電流的 Energy W，可以次式表示之。

$$W = I^2 R t \quad (\text{joule}) \quad \dots\dots\dots (6)$$

而 1 joule 則等於 0.24 加勞力 (Calorie)

$$1 \text{ joule} = 0.24 \text{ calorie}$$

因此 1 安培的電流通過歐母 R T 秒時能發生以下的熱量。

$$W = 0.24 I^2 R t \quad \text{Calorie} \quad \dots\dots\dots (7)$$

電氣工學上所謂電力者並不同於馬力之力，而是工率，能做工作的能力之意，再將時間相乘即是效果 (工作)

$$1 \text{ 馬力 (Hp)} = 0.746 \text{ Kw}$$

$$1 \text{ Kw} = 1.34 \text{ 馬力}$$

電流之工作量謂之電力量，而此電力量之單位除「朱爾」之外尚用 (瓦特小時) 或 KWH 等，但 1 瓦特小時，相當於 1「朱爾」的 3,600 倍。而 1 瓦特小時的 1000 倍謂之 1 KWH，即有以下般的關係。

$$1 \text{ 瓦特小時} = 3600 \text{ 朱爾 (joule)}$$

$$1 \text{ 基羅瓦特小時} = 1000 \text{ 瓦特小時} = 3,600,000 \text{ 朱爾。}$$

歐姆的定律既為 $E = I R$ ，故代入朱爾定律中則為

$$W = E I t \quad (8)$$

即是說 E 伏特的電壓， I 安培的電流，通過 t 秒鐘時的電力量 W 朱爾 為電壓，電流及秒數等之相乘。

次之， E 伏特的電壓通過 Q 庫倫的電氣量時電力量 W 朱爾 則等於電壓與電氣量的相乘。

第五節 電流之分路

如電氣流經電流自許多分路集於一點時，根據「基爾息號夫」之第一法則，流入集合點之電流強度的總和 ($\sum I_1$) 與流出電流強度的總和 ($\sum I_2$) 是相等的。換言之即會合點之分電流的代數和等於零。

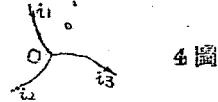
$$\sum I_1 = \sum I_2 \quad (9)$$

$$\text{又} \quad \sum I_1 - \sum I_2 = 0$$

第 4 圖中的 O 為會合點， i 為流入之電流強度， i_1, i_3 為流出電流之強度時：

$$i = i_1 + i_3$$

$$i = i_2 - i_3 = 0$$



其次根據「基爾息號夫」(Kirchhoff) 之第二法則，在複雜導線的分歧內，就其任意之某一電路想之，並求其各線之抵抗 (r) 和流過此部分之電流強度 (i) 間的相乘代數和時，則等於電路內起電力 (E) 的代數和。即

$$\sum i r = \sum E \quad (10)$$

當求上式之代數和時，予 $i r$ 及 E 等以適當的符號是必要的，於電路內同與錶針之動作方向，則謂之正的方向，而電若向着此方向流動時，便予 $i r$ 以正的符號。反之則予以負的符號。

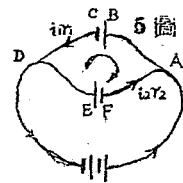
第 5 圖的 $A B C D E F$ 回路，若適用第 2 法則的話，

$$-i_1 r_1 - i_2 r_2 = E_1 + E_2 \quad (11)$$

i_1, i_2 及 r_1, r_2 為 $A B C D$ 及 $D E F A$ 之部份電流強度及抵抗而 E_1, E_2 為電池 $B C, E F$ 的起電力。

$$i_1 r_1 = V_a - V_d - E_1 \quad (12)$$

$$i_2 r_2 = V_d - V_a - E_2 \quad (13)$$



V_a, V_d , 為A及D等點的電位, 將上二式加到一起時

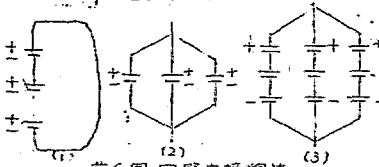
$$i_1 r_1 + i_2 r_2 = E_1 - E_2 \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$i_1 r_1 - i_2 r_2 = E_1 + E_2 \quad \dots\dots\dots (13)''$$

第六節 回路之接續法

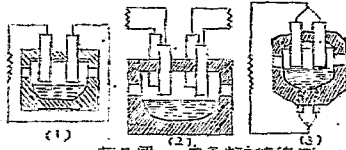
普通的電氣爐主要有以下三種的結線法。

- 1, 串聯法 (Series connection)
- 2, 並聯法 (Parallel connection)
- 3, 串並聯法 (Mixed connection)



第6圖 回路之接線法

以電池為例子而言, 如第6圖(1)般, 是將第一個電池之陽極(正), 接到次者之陰極(負)。其陽極更接向三者之陰的接續方法, 並聯如同圖(2)般, 是將各電池之陽與陽, 陰與陰接聯到一起的, 而串並聯(混合法), 是先聯起串聯數組然後將其各組的陽與陽, 陰與陰接到一起的。



第7圖 電氣爐之接線法

同樣的, 在電氣爐的場合, 如第7圖般, (1)為(短路式)爐的例子, 電流通過一導體而流入他導體, 故導體被串聯式的配置着。圖(2)之(二相)爐(二相)其二導體是以並聯式配置着的。圖(3)為(基勞)爐的例子, 為有爐床電極場合之混合接續式, (串並聯法)。

此時的各抵抗如下:

(1), 的全起電力 = nE , 全內抵抗 = nr , 外抵抗 = R

$$\therefore i = \frac{nE}{nr + R} \quad \dots\dots\dots (14)$$

(2), 的全起電力 = E , 全內抵抗 = $\frac{r}{n}$, 外抵抗 = R

$$\therefore i = \frac{E}{\frac{r}{n} + R} = \frac{nE}{r + nR} \quad \dots\dots\dots (15)$$

(3), 的 n 個電池之中每 p 個以串式聯起, 計有 q 組的話,

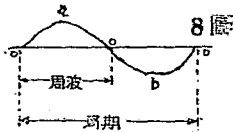
$n = pq$, 全起電力 = pE , 全內抵抗 = $\frac{p}{q}r$, 外抵抗 = R

$\therefore i = \frac{pE}{\frac{p}{q}r + R} = \frac{nE}{pr + qR} \dots\dots\dots (16)$

第七節 交 流

電氣爐，不用直流而採用交流。直流常向一定的方向流動，但交流則連續的變換着方向，其波動如第 8 圖般。

由 O 起始，至 a 時便再度降低回到 O，更降至 b 後重昇至 O，上述之二周波，謂之一週期 (period)，每分鐘所起的周波次數，謂之周波數 (Frequency)。



今週期為 T 秒時，周波數則為 $\frac{1}{T}$ 。表示交流的電壓或電流變換

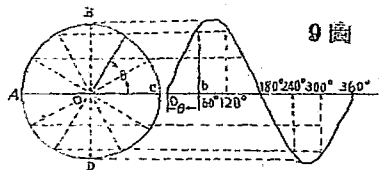
之速度等時，普通用周波數，但有時以每分間的變換數表示之，變換數是電流方向的變換回數，但電流每週期必要變換二次的，故此 1 秒間則為 $\frac{2}{T}$ 度，1 分間則為 $\frac{120}{T}$ 度，今 f 為 1 秒間的周波數。

a 為 1 分間的變換數時，f 與 a 間的關係如下

$a = 120 f \dots\dots\dots (17)$

如第 9 圖般，沿着一個圓周 (ABCD)，一點 (p) 在運動時，從 A 開始通過 BCD 而再度回到 A 處的話，將其 p 點之運動，投影到一直線上去時則形成如右圖般之形狀，其角度每分鐘為 w 的

話 w 因為 $= \frac{d\theta}{dt}$ 故 θ 若為 t 秒間的運動時：



$\theta = wt \dots\dots\dots (18)$

然而，Ob 的大小是

$Ob = Op \sin \theta = Op \sin wt \dots\dots\dots (19)$

此運動的最大值即 $\theta = 90^\circ$ 或 270° 時的電壓若為 E，電流為

I. 的話，從 0 開始算起， t 秒後之電壓 e 及電流 i 等則有以下的關係。

$$e = E. \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (20)$$

$$i = I. \sin \omega t \quad \dots\dots\dots (21)$$

f 為 1 秒間的周波數時

$$\omega = 2\pi f \quad \dots\dots\dots (22)$$

若普通說交流為 50 周 (Cycle) 即是 1 秒鐘形成 50 個周波的意思，變換電壓的場合亦然，日本的關東地方為 50 周波關西與滿洲為 60 周波。

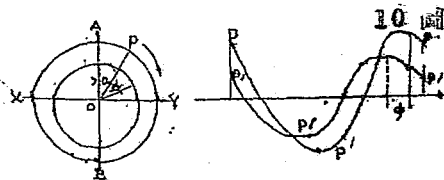
第八節 相 位

今第 10 圖中之 $A B$ 點於 O 點為中心的二同心圓周上，以相同的周期迴轉時，其半徑不同然 $O p$ 與 $O p'$ 間的角度 ϕ 時，二點 ($p p'$) 之間則謂之有 ϕ 的相位差 (phase difference)，其二者之波狀曲線則如右圖般。

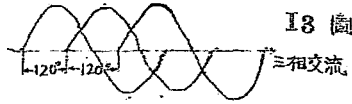
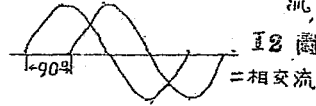
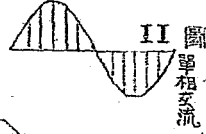
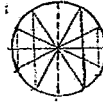
又如同圖中之 p' 般，先通過零或最大值者謂之進相 (Leading phase) 其電流謂之進電流 (Leading current)。

而如 p 般遲慢者謂之 (遲慢了) 的相位) 其電流為遲電流 (Lagging current)。周波數完全相等的二個以上的交流，因其 Vector (有向量) 的回轉速度完全相同，故可以利用數個有着相位差的，Vector 來表示其互相間的關係，即將 Vector 的長度作為交流的最大值，而相互間的角度作為相位差的角度即可。

交流的場合，其電壓與電流所表示的曲線，為同相位的時候，指示電流能全部以 (電氣) 能用於實際效果上，然而電流對電壓的相位不同時，即是說其一者為 Leading current 或 Lagging current 時只其同一相位電流的分力會有效果的，而其它分力於實際效果上是沒有用的。此即為無負荷電流 (Wattless current)。由交流電壓，某一種電流， ω 週回路時，謂之單相交流 (Single phase alternating current,) 在此單相交流的電源處對電壓



能得到一個波狀曲線 (第 11 圖)。然將周波數及電壓等相同的二單相交流的電源, 以 90° 的相位差結合起來的, 謂之二相交流 (Two phase alternating current, 如第 12 圖般。將電與周波數相等的三個單相交流的電源, 以 120° 之相位差結合起來的謂之三相交流 (Three phase alternating current) 其三者之電壓曲線有如第 13 圖般。此為今日最廣泛使用着的。



第九節 實效值

一切作用於某一個回路內的電力, 和給予此回路的電壓或通過回路之電流的平方成正比, 如交流般瞬間的電壓或電流變換時, 因為瞬間的電力與瞬間之電壓的自乘成正比, 所以假定給予電壓計某一電壓時, 在直流的場合,

$$\begin{aligned} \text{針動力 (使針動的) 力, 即是效果} &\propto \{\text{電流}\}^2 \\ \therefore \text{電流} &\propto \sqrt{\text{效果}} \end{aligned} \quad \text{..... (23)}$$

而交流的場合

$$\text{針動力} \propto \{\text{各瞬間電流}\}^2 \text{ 之平均值} \quad \text{..... (24)}$$

所以, 假定直流與交流上同一效果的電流, 為同一強度的話, 自 23 式

$$\text{交流的強度} \propto \sqrt{\text{效果}} \quad \text{..... (25)}$$

$$\text{交流的強度} \propto \sqrt{\{\text{各瞬間電流}\}^2 \text{ 之平均}} \quad \text{..... (26)}$$

此各瞬間值的自乘平均的平方根, 即為實效值。

今抵抗 r 之導線內, 通上交流 $i = i \sin \omega t$ 的時候, 根據朱爾定律與 $i^2 r$ 成正比的發生熱, 欲發見與此交流同一效果的直流的強度時並不是 i 的平均, 而是 $i^2 = i_0^2 \sin^2 \omega t$ 的一周期或半周期中間之平均的開平。然而 $\sin^2 \omega t$ 的半周期之平均值, 因為是 $\frac{1}{2}$, 故所要的平均值為 $\frac{i}{\sqrt{2}}$

$$I^2 = \frac{i}{2} i_0^2 \therefore I = \frac{i_0}{\sqrt{2}} \quad \text{..... (27)}$$

此平均值 E 謂之交流的實效值。
同樣的若電壓的 $e, \sin \omega t$ 的最大值的話，

$$E = \frac{e_0}{\sqrt{2}} \quad \text{..... (28)}$$

此 E 謂之電壓的實效值。
電流計及電壓計等普通都是表示着此實效值的。一回路內電壓的實效值與流過其回路之電流的實效值，指示電壓與指示電流之相乘積謂之 Volt Ampere (VA)，被 1000 除之謂之 (KVA)。

第十節 交流抵抗

向有着「自己誘導係數 L 」的電路，通上如正弦波變換的交流 $i \sin \omega t$ 時以自己誘導作用而發生的電壓，勿疑的是(變換電壓)根據(聯志的法則)在電流的增減時其電壓方向常是反的，

$$e = -L \frac{\Delta i}{\Delta t} = -Li\omega \cos \omega t \quad \text{..... (29)}$$

(-) 是指 i 為 (+) 時， e 為 (-) 之意。

這樣 i 若以正弦的變化時 e 亦以正弦的變化着。若於磁路上放有鐵時，因為在和 i 的變化同時 L 亦生變化，故 e 的變化，不和 i 的變化成為同形。今試看實效值 1 安培的交流，當通過 L (亨利) 的電路時會發生幾許佛特的電壓？電流的最大值為 $\sqrt{2}$ 安培，故此所生的磁與力線之最大磁束密度是

$$\text{密度} = \sqrt{2} IL \times 10^8 = \phi n \quad \text{..... (30)}$$

但 ϕ 為通過 Coil (線圈) 內的磁束， n 為其捲數。

而誘導電壓 V 者，由於 $V = \sqrt{2} \pi f \phi n \times 10^{-8}$

$$V = \frac{\sqrt{2} \pi f \phi n}{10^8} = \frac{\sqrt{2} \pi f \sqrt{2} IL \times 10^8}{10^8} \quad \text{..... (31)}$$

$$= 2\pi f LI = \omega LI \text{ 實效佛特} \quad \text{..... (32)}$$

此 ωL 稱之為回路的交流抵抗 (Reactance)，亦即是自己誘導係數 L 乘上 $2\pi f$ 的。這當認為交流回路的抵抗，以歐姆為單位。

第十一節 合成抵抗

回路沒有自己誘導 L 時，於某一瞬間之交流，將其時的電壓以抵抗

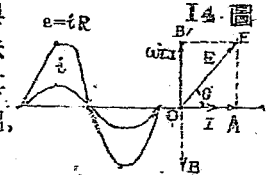
R除之即可得之。故此

$$i = \frac{e}{R} \quad \text{----- (33)}$$

而 e 若為正弦波時，i 亦成為正弦波，此兩波常有 R 之比，即是若 E 及 I 為各々的實效值的話

$$I = \frac{E}{R} \quad \text{----- (34)}$$

而 Vector 則為同相位之二直線 OA, OB, 如第 I 4 圖之 (I) 般。倘電路有自己誘導係數 L 的時候，向此內通過成為正弦波的一個交流時所要的電壓究竟幾何的問題，因為自己誘導而發生較電流遲慢 90° 相位的電壓，所以送入電壓，除於抵抗的降下 RI 之外，尚須要能在各瞬間將誘導起電機之瞬間值打消之分力。故此其電壓如同圖 (2) 般，將能勝過抵抗的 RI，取於與 I 同相位的 OA 上，將能打消自己誘導的電壓 $\omega L I$ 即 OB 的分力，O B 取於 OB 之反方向時，送入電壓則為 OA 與 OB 之和，以 O E 之 Vector (有向量) 表示之，即是送入電壓雖亦成為一個正弦波，但其相位則為比電流的相位，快成 θ 的相位，如圖，



恰成次式

$$E^2 = (RI)^2 + (\omega LI)^2 \quad \text{----- (35)}$$

$$E = I\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2} \quad \text{----- (35)}$$

$$I = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \quad \text{----- (36)}$$

是為交流之電壓 E 和電流 I 的關係，只要 L 不等零，I 則比直流時的電流 $\frac{E}{R}$ 為小，此送入電壓中之一部因為必然要被消費到自己誘導電壓與求平衡上，所以這樣被消費了的電壓之相位比電流快着 90° 是值得注意的，換言之，送入的電壓 E 分為 RI 與 $\omega L I$ ，後者會打消 Reactance 電壓，而前者則勝過抵抗，疏通電流，直流的場合只在電路開閉之瞬間呈此作用，但過後及其它的時間仍依歐姆的定律。

凡有着自己誘導 L 的時候，電壓 E 永位於較電流 I 快些的相位，其相位差為 θ 的話，

$$\tan \theta = \frac{\omega L I}{R I} = \frac{\omega L}{R}$$

$$\text{或是 } \cos \theta = \frac{R}{\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}} \quad \text{..... (37)}$$

即是說 L 比 R 越大 θ 越大，電流之比電壓的遲滯度亦大。

像以上那樣，在交流的場合，不同於直流，電流之強度不是由於抵抗 R 而定而是以 $\sqrt{R^2 + \omega^2 L^2}$ 此值稱之為電路之合成抵抗 (Impedance)，用 Z 表示之。一般即是

$$I = \frac{E}{Z} \quad \text{及} \quad Z^2 = R^2 + \omega^2 L^2 \quad \text{..... (38)}$$

交流的電壓，其抵抗 R 雖小，但 L 或周波數 f (隨之 ω) 若大時交流是頗小的。

第十二節 力 率

於回路線的兩端有電位差 e，所流過電流的強度為 i 時，電流在此回線內，每秒鐘的效果，即工率為 e i，今在回線上作用着交流 $e = e_0 \sin \omega t$ ，而有着 $i = i_0 \sin (\omega t - \phi)$ 相位差的交流電流動時，於 t 時間內的工率則為：

$$(ei)_t = E_0 i_0 \sin \omega t \sin (\omega t - \phi) \quad \text{..... (39)}$$

在距此時刻後 $\frac{1}{4} T$ (T 為周期) 的時刻，因電壓及電流的相位等共進 $\frac{\pi}{4}$ 於 $t + \frac{1}{4} T$ 的時刻下之工率如下

$$(ei)_t + \frac{1}{4} T = e_0 i_0 \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \sin(\omega t - \phi + \frac{\pi}{2}) \\ = e_0 i_0 \cos \omega t \cos(\omega t - \phi) \quad \text{..... (40)}$$

故此在 t 及 $t + \frac{1}{4} T$ 的二時刻下之平均工率如下。

$$\frac{1}{2} e_0 i_0 [\sin \omega t \sin(\omega t - \phi) + \cos \omega t \cos(\omega t - \phi)] \\ = \frac{1}{2} e i \cos \phi \quad \text{..... (41)}$$

上式和 t 是無關的。故此上式 (41) 永為相隔 $\frac{1}{4} T$ 二個時刻下的工率之平均值，上式即為一般交流的工率。

$$\therefore P = \frac{I}{2} e_0 i_0 \cos \phi \quad \text{----- (42)}$$

電壓與電流的實效值各為 I 、 E 的話，

$$I = \frac{i_0}{\sqrt{2}} \quad E = \frac{e_0}{\sqrt{2}}$$

$$\therefore P = \frac{i_0}{\sqrt{2}} \cos \phi \quad \text{----- (43)}$$

交流的功率等於電壓及電流等的實效值和相位差角餘乘起來的，此 $\cos \phi$ 謂之交流的力率 (Power Factor)。回路上無容量，亦無磁感回阻 (Inductance) 時，電力即等於電壓計與電流計上的數目字之相乘積。這和直流回路完全是相同的，可是若具有此兩者時，其相乘積遠比電力計上所見的實際數目字，此即謂之皮相電力 (Apparent power)。此「真電力」與「皮相電力」之比即 $\cos \phi$ ，普通是用百分比來表示的。

$$\text{力率} = \frac{\text{真電力}}{\text{皮相電力}} \times 100\% \quad \text{----- (44)}$$

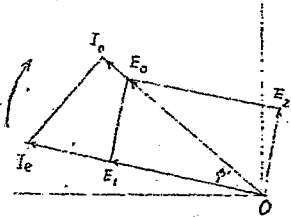
於回路內所消費的真電力，普通稱為瓦特 (W) 或基羅瓦特 (KW) 用 VA 或 KV A 與力率等的相乘積表示之。

$$\text{瓦特 (Watt)} = IE \cos \phi \quad \text{----- (45)}$$

$$\text{基羅瓦特 (Kilowatt)} = IE \cos \phi \div 1,000 \quad \text{----- (46)}$$

以上所述的電壓和電流等的關係，若用 Vector 圖示法加以說明時

I 5 圖



第 15 圖, Vector 表示法。

今於 I 5 圖中， $\overline{OI} = i$ ，可用垂直軸上的正投影，來表示電流 $i = i_0 \sin \omega t$ 的，此回路之抵抗為 r 時能勝過此抵抗的電流和有着同相位的電壓 ($e_r = i_0 r$ ， $\overline{OE}_1 = \overline{OI} \cdot r$) 及能勝過自己感應的電壓 ($e_L = i_0 \omega L$ ， $\overline{OE}_2 = \overline{OI} e, \omega L$) 等是必要的，故所要電壓之最大值为 $\overline{OE}_0 = \sqrt{\overline{OE}_1^2 + \overline{OE}_2^2} = i_0 \sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}$ 。以任意時刻下的電壓 \overline{OE} 之正投影表示之。

\overline{OI} 為指示電流，即實效值，而此電流因為比電壓 \overline{OE} ，遲慢着 ϕ 。

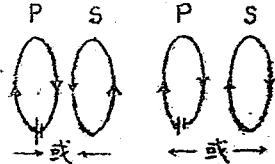
故 \overline{OE} 之分力 \overline{OI} ，以實際的『電氣能』將被有效的，消費之。
 $\overline{I_2 I_3}$ 為無負荷電流，

第十三節 誘導作用及自己感應

如第 16 圖般，將 p 及 s 的回路線相互絕緣而對置之，p 流有電流時，馬上 s 便流有與 p 電流相反方向之一時電流，斷電後 s 便馬上流有同前相反方向，即和流入 p 電流同方向的電流，此現象謂之電磁感應，生於 s 的電流謂之感應電流 (Induced Current)，回線 p 謂之一次回線 (primary coil)

，s 謂之二次回線 (Secondary coil)，這就是變壓器的原理，誘導式電氣爐亦根據此原理設計出來的。

16 圖



一次回線 p 不流有電流時，通過二次回線 s 的磁力線數為零，p 通有電流時則有磁場，通過 s 磁力線之數則急增，此時起於 s 之感應電流的方向，因和 p 的電流成為反對的方向，故此感應電流於 s 回線內所作的磁力線方向和為了 p 的磁場而通過 s 回線的磁力線方向是相反的，即切斷了 p 後通過 s 回線的磁力線數將要急增時，感應電流則起於 s 回線內而防止其磁力線的增加。s 的感應電流停止後，一定數的磁力線通過 s 回線時，若切斷 p 的電流，磁場則再消失，隨之通過 s 回線內磁力線的數便再度等零，此時和起於 s 回線內之感應電流 p 為同方向，而 s 回線內生出和初時同方向的磁力線，將會防止磁力線的減少。

通過回線內之磁力線數變化時，於防止變化之方向所生的感應電流，在一次回線本身亦有之，即向回線通過電流時，一時會感應着反對方向的電流，若突然斷絕回路時，由於發生同方向的感應起電力的結果，在斷絕之瞬間以至於發生火花，像這樣起於一次回線，本身的感應電流現象，謂之『自己感應』 (Self-induction)，針對此自己感應，而在不同回線間之感應現象，謂之『相互感應』 (Mutual induction)。

再者若予此回線以電壓時，在電流成為最大前中間須要相當長的時間，要在磁力線數成為最大之後，這時候的電流謂之『遲滯電流』

(Lagging Current)

電流 i 通過某一回線時，於回線內會生有磁場，而於磁場內各點之磁場強度（即通過和磁力線成直角之單位面積內磁力線的數）因和 i 成正比，所以通過回線內全體的感應磁束 N 和電流的強度 i 成正比。即是

$$N \propto i \quad \text{----- (47)}$$

$$N = Li \quad \text{----- (47)'}$$

此 L 和 i 沒有關係，只是關係於回線的形狀，捲數，回線內誘導體的性質等的一個常數，謂之自己感應的係數 (Coefficient of self induction)

第三章 電氣煉鋼爐用耐火爐材

第一節 概 況

所謂耐火爐材，即是雖遇高溫而不引起變化的材料，普通指能耐三角錐 26 號以上之溫度言之，電氣爐所用之耐火材料計有酸性，鹽基性及中性等三種，形狀為磚狀或粒狀，酸性材料可用於酸性爐的全部，及鹽基性爐的熔滓面以上與爐蓋等處，鹽基性材料可用於鹽基性爐的爐床及鋼滓面以下的側壁上，中性材料，雖有用於平爐，但電氣爐則不常用。

不受熔鋼或鋼滓等影響的地方，可用耐火粘土或耐火磚。這些東西一般多用於盛鋼筒的裹子上，另外在磚和爐體鐵板中間使用石棉，或耐火粘土，及硅藻土等，其如炭化矽 Carborundum Alundum ， Pauxite ， ZrO 等雖有時亦用之作爐蓋，但是不多。

1) 軟化點及熔融點必須高，熔點雖必須保有 1700°C 以上，但熔融點沒有軟化點，更為重要，二種不同的磚，其熔點即使一樣，而軟化點是不同的。

2) 於高溫下密度及機械強度等皆須大，因為在高溫下磚對於荷重

會減少抵抗，故在 1700°C 以上亦要有充分的抵抗性是必要的，同樣的密度若不犬，則容易侵入鋼滓，縮短壽命，若侵入鋼滓時，在高溫度下其抵抗力會減到一半以下的。

3) 膨脹係數必須要小，電氣爐在星期日等，停工後，爐體便致非常的冷卻，小型爐比平爐尤甚，故次回使用時，遇到了急激的加熱，如果抵抗不了的話則會發生龜裂的，故此有充分的抵抗性是必要的。

4) 須為耐熔蝕的東西。即使受到了氧化物，鹽類，灰，熔滓等影響亦不會被氧化，同時倘使用螢石時則必須為對氟氣有充分抵抗性的東西。

5) 須要耐剝落 (Spalling)。於冷材裝入的場合，爐床與下部側壁一定要非常堅固，否則爐裏的壽命則會短，對於剝落最有抵抗的為鉻，其次為硅石等，而 SiO 是最不好的。

6) 耐火材料必須為與傳導的熱損失少的東西，普通的耐火磚因沒有斷熱性，故於胴銀與磚中間放入石棉或其它的斷熱層，然而最近已不很注重熱損失問題主要是要求增加爐裏的壽命。

| | | | |
|--------|---|--------|--|
| 簡 略 | { | 第 I 表 | 各種耐火材料的成份， |
| | | 第 II 表 | 各種耐火材料的物理性， |
| | | 第 I2 表 | 耐火材料的電氣抵抗 (Ohm/cm^3) |

耐火材料的試驗法

耐火磚的物理試驗法，實際上有熔滓侵入試驗與熱間破壞試驗等，其標準的熔滓侵入試驗法是採用着 A. S. T. M (American Society for Testing Materials) 法的。簡言之，即將耐火材料的環子放於磚上，將此一裝置全體熱到 1350°C 再將碎成 40 篩目，熔點為 1270°C 的合成熔滓 55kg 放於環上，保持着 2 小時的高溫後，使磚冷卻破碎之後而測定其熔滓的侵入程度的。

熱間破壞試驗為油壓硬度計的改良型，是將磚熱至 1350°C ，從爐中取出後馬上以 850 磅的壓力，壓下 $\frac{1}{2}$ 吋徑的鋼球，5 分後壓力增加到 1300 磅，由凹的深處即可測定出來磚之抗壓力。

除上記二試驗之外，尚試驗熔融溫度，把磚破碎後造成小的三角錐或圓錐入爐中加熱使至熔融，此溫度以高溫計或以「最給鋼」三角錐測之，另外有做膨脹，剝落及衝擊等試驗的，但這些都只能供作參考

資料而已，蓋磚之真正性質決不是只靠化學成分可以知道的。

第二節 酸性耐火材料

酸性耐火材料以硅酸為主成分，其它的酸化鐵及^碱類是非常有害的，碱類在 2% 以下，而酸化鐵在碱類極少的場合下有 2~3% 亦可，碱類少者，耐火性好，但以粘結劑時是須要有適當量的存在的，計有硅石磚，耐火粘土及耐火磚等數種。

硅石磚可用於酸性爐的爐裏及爐蓋或鹽基性爐的爐蓋及上部側壁等地，硅砂可用於酸性爐的爐床，耐火粘土及耐火磚用於盛鋼筒的筒裏。

I. 硅石磚 (磚)

硅石磚 (Silica brick) 是用純粹的硅石為原料，更加上含少量石灰的耐火粘土為粘結劑造成的，硅石含有 95~97% 的無水 (SiO_2)，普通只以堅緻的花崗岩 (含不純物極少的) 為原料，在缺少此種原料的地方亦可用 Dinas 岩石 (硅石) 代替之，前者稱為硅石磚或白磚，後者謂之 Dinas 磚。

硅石不單便宜，於 1500°C 下的抵抗力亦大，其熔點為 $1,700^\circ\text{C}$ ，但最大的不利是膨脹或收縮太大，然而若燒得好些時變化却少，放入爐內後直到 480°C 中間很緩慢的膨脹，到 650°C 急激的膨脹，以後無大變化，硅石磚之發生裂紋危險是在 $480\sim 650^\circ\text{C}$ 之間。

硅石磚是將岩石先粉碎然後加入 2% 的石灰於「最給爾」三角錐 I7~I8 號的溫度下燒 18~20 小時而製成的，日本所用的硅石磚原料是以赤白硅石之含鐵石英岩和產於滿洲的大連硅石為主的，赤白硅石，比較大連產的硅石，大體上酸化鐵量多而礬土的含量少，以煉鋼爐用硅的使用成績，在過去還是赤白硅石製者好些，其產地以兵庫縣及大分縣為有名。

更將其製鋼所的規格以及二，三的實例示之於下，

- 1) 化學成分

| | | | |
|-------------------------|--------|--------------|-------|
| SiO_2 | 93% 以上 | CaO | 2% 以下 |
| Fe_2O_3 | 3% 以下 | | |
- 2) 耐火度 「最給爾」三角錐 32 號以上。
- 3) 形狀及寸法 形狀及寸法要正確，無歪斜，寸法的公差要在指定寸法的 2% 以內，肉最薄的部份不得超過 2 mm 以上，標準型 (如普通紅磚形狀者) 及蓄熱磚特別須

- 要稜角正確。
- 4) 燒成及組織 破面要緻密，無空罅龜裂的形跡，且燒結充分者。
- 5) 氣孔率 20~26% (容量)，但若為蓄熱磚時須在20%以下。
- 6) 線膨脹 將燒成磚於最給兩三角錐26號的溫度下火熱四小時，放冷之後線膨脹及收縮須於1.5%以內。
- 7) 耐壓力 150 kg/mm 以上。
- 8) 磚記(符號) 於每一塊磚上必須記入圖面上的記號。以上，

第13表 硅石磚的成分 (%) (後面)

2. 耐火粘土及耐火磚。

耐火粘土 (Fire clay) 是硅石與 Al_2O_3 以 50:35 之比的耐火材料，於 $1700^\circ C$ 熔融之，然而在高溫下比硅石磚尤強，此粘土以電氣爐的爐裏是不常用的，只可作為硅石磚的塗縫劑，或盛鋼筒內裏的火材。

其化學成份如第10表般，以此製成的磚謂之耐火磚 (Fire brick) 也有的叫着 Schamott 磚，主要用於加熱爐及均熱爐等各部分，以耐火材料之耐火粘土最良者，熔點為 $1843^\circ C$ ，而普通的只為 $1650 \sim 1700^\circ C$ 。純粹硅石之熔點大體為 $1830^\circ C$ ，但倘加入 14.5% 的 Al_2O_3 時，則降至 $1690^\circ C$ ，再增加至 63% 中間反而增加，遂成 $1890^\circ C$ ，第14表，更將混進去其它材料時，對熔融點的影響表示一下。

第14表 加入材料之對粘土質的影響 (後面)

日本國內，硅石的產地以岡山，廣島，山口，長野，尾張，伊賀，磐城等地為有名，粘土的產地，滿洲的復洲粘土及博山粘土極有名，於第16表中特示二，三實例。

第15表 耐火磚的成分 (%) (後面)

8. Ganister

Ganister 是含有粘土分多的硅石，於轉爐之內部及其修理上最常用之，其它以酸性平爐及電氣爐的爐床材料，可加到硅石一起用之，含有 80% 的硅酸和 10~15% Al_2O_3 者為佳，其最有名的產地為英國的賽費爾得地方。

第 I 6 表 Ganister 的成份 (%) (後面)

第三節 鹽基性耐火材料

以鹽基性耐火材料使用最多的為，Magnesite 及苦灰石，以基性的耐火材料，Magnesite 雖屬第一但以前因為價錢高，故用苦灰石的地方為多，然而最近在滿洲地方因能採掘得很多，價格亦隨之減低，結果凡是電氣爐床的材料大多都用着 magnesia (Mgo) 了。然而在今天依舊沒有，以鹽基性電氣製鋼爐用之令人滿意的耐火材料，有的材料平爐上用之雖好，而電氣爐用之則不好，尤以鋼滓面以上的部分為然，雖曾研究並製造過，以鹽基性電氣爐用之適當的磚，但皆歸於失敗，鹽基性磚皆易剝落同時對鋼滓侵入之抵抗亦弱，故其壽命短，唯有歐太利亞製造之 Radex 評譽最好，但於日本尚沒實驗過。

I. 苦灰石及苦灰磚

苦灰石 (Dolomite) 有種及成份，主要是由石灰與 Mgo 而成的，以外尚含有少量的硅酸， Al_2O_3 及酸化鐵等，苦灰石，即含碳酸鎂石灰之一種，此石破碎成 10mm 左右後更經焙燒可用於鹽基性爐床，但最近的電氣爐差不多只用 Mgo，而不用 Dolomite (苦灰石)；其產地以大分縣「津久見」，熊本及大連等地為有名。

苦灰磚 (Dolomite) 即 Dolomite 磚，是將燒過的「得勒密特」粉碎之後稍加濕青或粘土充分燒製而成的，但因使用成績不很好，故用者頗少。

第 I 7 表 苦灰石及苦灰磚 (%) (後面)

此外尚有 Magdolite 是經過^焙二重燒的苦灰，比普通的較好些，又有一種叫 Syndolite 的，是苦灰中加鹽基性鋼滓燒成的，雖含氧化鐵較多，但必苦灰尤佳，成分錄第 10 表中。

2. Magnesite 及 Magnesite ($MgCO_3$ 及 $MgCO$) 磚。

鹽基性材料以 Magnesite 為最良，但因價錢極貴，故只用於爐床及側壁等主要部份，而以外的部份則用硅石磚，鹽基性電氣爐的爐床必須要用粒狀的 Magnesite。

其純度較好的為氧化鎂 (MgO) 47.6%，碳酸瓦斯 52.4% 粉末狀 Magnesite 含有着差不多 98% 的碳酸鎂 ($MgCO_3$)，普通是將此物經過燃燒而用的，燃燒後的成份約有 85% 的 MgO ，6~8% 的 Fe_2O_3 及 5% 以下的 Al_2O_3 等，硅酸含量少者為佳，Magnesite 的軟化點為 $1980^\circ C$ ，較弱於硅石，可是在 $1000^\circ C$ 以下，會很規則的膨脹着，所以不像硅石那樣危險，其產地為南滿洲的大石橋及大連附近。

Magnesite 磚，一般的是由經過燃燒的 Magnesite 即 MgO 而造成的，簡述其製造方法於下，從鑛山採掘出來的 Magnesite ($MgCO_3$) 經過粉碎而燃燒之，燃燒需要的溫度為 $1700^\circ C$ 左右， FeO 含量在 3~4% 的時候以 $1400^\circ C$ 左右即可，燃燒後的顏色呈暗褐色或黑色，使用該炭量為 Magnesite 的 30~40% 左右，燒後以水冷之，露天晒之 4 週左右，待充分乾燥後碎成 1mm 大，以後再加上瀝青等粘結劑壓縮成形之，不過最好的磚，是不用粘結劑的，成形後乾燥三個星期，以後更在 $20^\circ C$ 左右的溫度下緩慢的乾燥之，倘含有 SiO_2 或其它的不純物時在此溫度下便致破裂的，此收縮率不超過 1~2mm，含氧化鐵量在 2% 以下的能耐 $2000^\circ C$ 之高溫，然而若用於爐蓋或爐側部份時，容易剝落，故除床以外不得用之，無此缺點的「奧大利亞」Radex 磚據說很好。

第 18 表 Magnesite 及 MgO (%) (後面)

第四節 中性耐火材料

中性耐火材料，主要於鹽基性爐上，以鹽基性磚與酸性磚的中間品用之，有時亦可作鹽基性材料的代用，共有 Chromite, Bauxite

Alundum, Carborundum 等幾種，就中以鉻磚 (Chromium, fr
ich) 最為重要。

1. Chromite

Chromite 在工業方面為最廣泛使用的東西，含有 35~45 % 的氧化鉻及 10~15 % 的氧化鐵，不易被鹼基性及酸性媒熔劑所侵蝕，故用於耐化學作用與耐高溫的爐上最為有效，欲製成磚，則須將鐵石粉碎之加石灰等之粘結劑壓縮後，再行燒成，此品在過去有一個時期，曾作過鹼基性爐的酸性材與鹽基性爐的中間用品，也作過高貴 Magnesite 之代用。

第 19 表 鉻鐵礦及鉻磚 (%) (後面)

但因為鉻會還元故電氣爐上已不再用了。

2. Bauxite

Bauxite 主要是由 Al_2O_3 而成，1400 °C 左右假燒之，但收縮很甚，將此破碎後加入少量的耐火粘土，硅酸曹達或石灰等共同混合起來即能製成磚或磁磚的。

第 20 表 Bauxite 的成份 (%) (後面)

此物的耐火性極強，可用於瓦斯及空氣吹出口等部份，曾獲得比 MgC (Magnesite) 結果尤好的記錄，但沒有多少用的，於日產此物的產出量極少。

3. Alundum 及 Carborundum.

Alundum 是將 Bauxite 於電氣爐中熔成的，根據原材料的不同有白色與赤褐色的兩種，第 20 表中記得很清楚，前者主要含硅酸，後者含鐵，雙方皆含有 6~8 % 以下的不純物，熔點為 2050~2100 °C，磚形者用於爐蓋，於硅石磚開始熔融的溫度下 5~8 小時，此磚尤能充分的抵抗住，然而達到異常高的溫度時，因會被鹼基性鋼滓的蒸氣所侵蝕，所以像電氣爐那樣，非常高溫的爐上是不適當的。

Carborundum，是將石英還元而得到的東西，其成分為 SiC 形狀的炭化硅，加上 pitch (瀝青)，亞麻仁油或粘土等的粘結劑，製造坩堝，能耐 2000 °C 以上的高溫，且於高溫下的熱損失亦少，故以磚狀者用於爐蓋，只是此兩者的價格都很高，所以沒至於實用化。

4. Corhart

所謂 Corhart, 即是 Corhart black 之簡稱, 用特殊的高礬土質的原料以電氣爐於二千數百度熔融之後鑄造成爲所要尺寸的, 磚的本質爲 Mullite, Colundum 及其它硅酸鹽類的結晶與配合物質交錯融合而形成的人造岩石, 其化學成分爲礬土分 75—80%, 硅酸分 15—20% 及其它物的 5%。

此物從二千數百度的熔融狀態下徐冷時, 則成爲由 Colundum 結晶 (Al_2O_3) 30%, Mullite 結晶 ($3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$) 60% 及高硅酸質配合物質 10% 等, 礦物組織的交錯融合物。

在化學方面說起因爲它是中性爐材, 所以極耐玻璃, 石灰, 熔融金屬鑄滓, 灰硅等鹼基性或酸性媒熔劑及瓦斯等化學性的侵蝕, 氣孔僅爲 10%, 所以即使昇到 $1700^{\circ}C$ 亦不會像氣孔在 20% 以上的普通燒成耐火那樣, 有莫大容積的收縮, 故此各種媒熔劑的侵入是較少的, 其耐火度爲「最給爾」三角錐 38 號, 相等於 $1850^{\circ}C$, 於 $1700^{\circ}C$ 亦不軟化, 其熱傳導度爲普通磚的二倍 (約), 其熱容量較大, 所以用來作平爐蓄熱室的空積磚較適當。

Corhart white 是以上述 Corhart 同等成份的電氣爐熔融物爲主材, 更適當的加上粘結材料於極高溫再燒成的東西, 化學成份大體如下。

| 礬土分 | 酸分 | 耐火度 | 假比重 |
|-----|----|----------------------------|-----|
| 70 | 25 | No. 38 ($1790^{\circ}C$) | 2.4 |

其軟化溫度, 熱傳導度, 機械的耐力及比重等雖微劣于 Corhart black, 但是它有着適當的多孔度, 故此熱膨脹率低, 能耐溫度的急變與極薄的東西能成形等都是優于 Corhart 的, 價錢方面僅爲 Corhart black 的二分之一。

這些磚都是美國發明的, 以後其特許權被「旭硝子株式會社」獲得了, 正在製造販賣着。

根據著者的經驗, 此磚砌成的爐蓋有硅石磚三倍的壽命, 所以價格雖在三倍以上, 因有免掉修理等的利益結局還是有利的, 茲將三噸電氣爐, 用 Corhart white 爐蓋的使用成績記錄於下, 以供參考。

1. 磚的使用回數 (三回平均, 鋼鑄物及鋼塊製造)

| | | |
|---------|-------|------|
| 硅石磚 | ----- | 64回 |
| Corhart | ----- | 154回 |

2. 爐蓋修理費用比較

| | |
|------------|----------|
| 硅石磚 | Corhart |
| 磚錢 97.48 圓 | 484.80 圓 |
| 塗縫材料費 3.78 | 29.70 |
| 工錢 9.92 | 9.92 |
| 計 111.18 | 474.42 |

3. 爐蓋修理以外所要的費用比較

| | |
|----------------|--------------|
| 硅石磚 (3回) | Corhart (1回) |
| 各扉部磚錢 109.05 圓 | 185.89 |
| 同上工錢 11.16 | 3.72 |
| 換爐蓋所要之費用 83.81 | 44.54 |
| 修理時的熱損失 68.71 | 22.96 |
| 計 265.73 | 260.11 |

(參照後面) 17 圖

4. 2.3 兩者合計

| | |
|--------|-----------|
| 硅石磚 圓 | Corhart 圓 |
| 366.91 | 734.63 |

5. 1噸的經費

| | | | | |
|---------|---------|-----|-----------|--------|
| 種別 | 1回出鋼量 | 回數 | 生產量 | 1噸之價格 |
| 石 | 2.900 噸 | 64 | 185.800 噸 | 1.98 圓 |
| Corhart | * | 154 | 446.600 * | 1.65 * |

Corhart White 有易於剝落的傾向，使鋼滓中增加 Al_2O_3 而破壞了鋼滓成分，望製造者們努力為之。

第一節 製入材料

I. 概 說

電氣爐煉鋼法能劃分為以下三種，故其材料亦分三種。

1. 同於坩堝法，只行熔解而不精鍊者。
2. 熔解冷材並行精鍊者。
3. 由轉爐或平爐來的熔材更行精鍊者。

1. 主要用酸性電氣爐操作之，須用經過精選之材料。 2. 為最普通的方法，任何材料皆可使用。 3. 又叫合併法，所用的材料為轉爐及平爐等材料，於此簡略之。

電氣爐用材料的大部份為鋼屑，沒有鋼屑的地方亦可用生鐵，但脫炭或脫其它不純物頗費時間與許多的費用，所以先在平爐或轉爐內使其適當的氧化後用之，材料配合得近於製品成份時作業時間既短又經濟，然欲製成極優秀的鋼質，則須加上適量的生鐵操作之，能使用多量很便宜的鋼屑來操作，這是電氣爐的特長，是其它製鋼法所不能及的地方，並且又不需要頗甚的氧化，即能熔解所以損失亦較比少些。

電氣爐所用的鋼屑，最適當的大度為以鐵銼能裝入者或更小者為佳，沒有多少用和平爐鋼屑一般大的，然因大型電氣爐，有時亦用和平爐一樣的裝入機，故亦可用大材料，但半數以上仍是實行手裝入，其鋼屑大體上可分次記三種。

1. 普通鋼屑
2. 嚴選之低磷鋼屑
3. 合金鋼屑

2. 普通鋼屑

所謂普通鋼屑，是從各式各樣工場裏產生出來的許多鋼屑之混合品，大小不一定，其成分亦多種多樣，有磷分高的，磷低的，中間也許混有高磷的銹鐵屑合金鋼屑等，甚至有許多的黃銅屑。

日本國內的普通鋼屑許多是在國內搜集起來的，有的是外國——主要自美國，澳洲等地輸入進來的，國內品雖多為小塊，但品質頗粗惡，輸入品則主要是解體船或自動車材鋼屑，多為不行切斷則不

能使用的東西。其價格如第 I 8 圖設，行市不穩，常大變動，大體上國內品為 4.5 圓左右。而輸入品則為 4.5 圓上下。

茲將北美各種鋼屑價格記之於下以供參考，這是 1931 年的行市（1 美元兌 3.8 元日元）

第 2 I 表 鋼屑分類，價格與成份（芝加哥 1 噸的行市）

3. 嚴選之低磷鋼屑

經嚴選之低磷鋼屑，磷含量在 0.004 % 以下，可供酸性電氣爐或特殊鋼製造用，計有如下幾種：鹽基性平爐造之鋼片（Bloom）小鋼片（Billet）製條屑，軌道屑，製鐵屑，旋盤屑，壓鍊屑等，於歐美各市場上有帶帶保險的 0.004% P 以下的鋼屑在販賣着，然而日本國內，唯有大工場僅得自給自足，在一般市場上想求得帶保險的鋼屑是不可能的。

經過嚴選的鋼屑中往往亦含有着 0.3% 左右錳，尤其是錳很不容易被氧化除掉，故當製造高炭素工具鋼時須要注意，最近由於特殊鋼製造頗盛的結果，鋼屑中雜有錳的傾向益發大起來了，欲想製造出絕不含錳的鋼材，則必須使用以轉爐或平爐，從生鐵製成的材料。

4. 合金鋼屑（Alloy steel scrap）

合金鋼屑之主要者為錳或鉻錳鋼屑，錳雖能完全回收，但鉻則易被氧化除出，倘若跑到鋼滓內去，作業便困難了，尤其是不銹鋼屑等對於作業是不利的，所以單純的錳鋼屑極被賞用，此品若在歐美市場上就有帶保險的販賣着，而於日本國市場上則不得見，唯有大工場才能得到。

使用錳鋼屑，比用低磷鋼屑加金屬錳製成的製品成本低，故當製造錳鋼的時候，大多都使用錳鋼屑，唯在不足時，以金屬錳補充之則可，鉻、鉻錳、鉻錳等之鋼屑在實行無酸化溶解，即以白色鋼滓僅行溶解時是可以利用的，所以將壓鍊屑或製條屑等良好的分開有用的地方頗多。

高速度鋼屑可用再熔解，此屑的價值雖極便宜，但操作上頗須熟練，合金鋼屑，能以手裝入大小者居多，多為壓鍊工場或汽車工場之產出品，除壓鍊屑以外大部份屬齒輪，人字軸，車軸，Billet 及鋼棒切斷鋼屑等，因為這些都是無銹或無鐵皮等較清淨的鋼屑，故甚有

利於電氣爐。

5. 生鐵 (pig iron)

生鐵有以裝入材料而加入的場合和製造高炭素鋼時以最後的投入物而添加的兩種場合。兩者皆須用低磷生鐵，磷及硫黃都須在 0.025% 以下。過去日本曾用着瑞典生鐵，但最近則用本溪湖或兼二浦的低磷生鐵，也有的地方使用着山陰地方（日本國內）的木炭生鐵，其價格方面，前者每噸為 85 圓左右，而後者在 150 圓以上，其成分大體為 3.8~4.2% C, 1.0~1.5% Si, 0.5~1.0 Mn, 0.025% P 以下，0.025% S 以下。

第二節 鐵合金 (The Ferroalloys.)

1. 概 說

鐵合金是向鐵內添加鋁，鈣，鉻，錳，鉬，鎳，硅，鈷，鎢，及鈳等金屬之一種或數種而造成的，這些東西於製鋼作業上是必需的，一定要用其一種或數種，而這些東西於製鋼作業上最少有二種作用。

- 1) 以脫酸劑用之，於精鍊作業中會增進化學反應。
- 2) 由於所加鐵合金量與性質，而會給予鐵以特殊的物理及化學性質。

鐵合金可大別之為普通品與高級品，前者可作炭素鋼用，後者可作特殊鋼用，而前者亦可用於特殊鋼的製造上，例如錳鐵，既可用於炭素鋼，又可用之製造錳鋼，屬於 1. 之鐵合金有鏡鐵，錳鐵，硅素鐵，及鋁鐵，屬於 2. 之鐵合金有鎳鐵，鉻鐵，鎢鐵，鈷鐵，鉬鐵及鈳鐵等，大多是在精鍊末期加入的，而鋁及鈳鐵則專以脫酸劑在出鋼前或出鋼當中加入之，更將各種鐵合金詳述之於後。

2. 鏡鐵 (specular iron)

鏡鐵為錳含量少的錳鐵，共含 10~25% Mn 與 5% 左右炭，主要用於轉爐，平爐及電氣爐不常用，價格每噸在 95 圓上下。

第 2 表 鏡鐵的成份 (%)

3. 錳鐵 (Ferro manganese)

錳鐵奪氧力極大，又即使成為氧化錳亦能被鐵中的炭 (C) 而還元

再成爲錳進入金屬內，同時氧化錳即使存於鋼中亦有提硫之作用，故甚爲有效之元素，因之於製鋼業上頗廣用之，其含有量大體以 35% 爲界限，錳含量在此以上者總稱之爲錳鐵，含 80% 左右錳與 7% 左右炭素者爲最普通使用的，然而這將會添增鋼的炭素量所以在製造特殊製品時是不大好的，尤其是製造錳鋼時最須注意，製造極軟鋼或低碳的不銹鋼時須用 1% C 以下的錳鐵或金屬錳，錳合金的價值表示之於下。

第 24 表 錳合金的價格 (後面)

4. 硅素鐵 (Ferro silicon)

硅素鐵亦同于錳鐵，在製鋼作業中以硅素加入劑及脫酸劑用之，其硅素含有量爲 20~30%，日本國內，75% 左右者最普通使用之，而歐美各地則多用 50% 左右的。

硅素鐵的性質如第 25 表及第 26 表般，其含有硅量越高比重越小，熔點越高所以高級品有漂浮於熔解面上之虞，當然脫酸力是很大的，50% 左右的硅素鐵因恰居中庸，所以諸外國方採用它的。

第 25 表 硅素鐵的比重

第 26 表 硅素鐵的熔點 (後面)

普通說硅素含有量越少越易於崩壞，但其原因並不是由於硅素含有量多少的問題，而是因爲其中所含有的磷形成了，磷化氫氣而發散的關係，往々有些人說 50% 的硅素鐵容易崩壞所以極難處理，但根據研究的結果 50% 的硅素鐵反而是最安定的，此種的崩壞奇現象主要因爲是磷在作祟，故須盡力使材料中的磷量減少之，以後此種困難自會被克服！” Bechet 氏亦這樣說着。

其價格：75% Si，每噸爲 370 圓左右，25% Si 爲 140 圓左右。

第 27 表 硅素鐵的成分 (%) (後面)

5. 硅錳鐵 (Silico spiegel)

硅錳鐵是硅素和錳以種々成份配合起來的東西，可爲脫酸劑用。

第 28 表 硅錳鐵的成份 (%)

第29表 硅素錳鐵的成份 (%)

6. 硅素錳鐵 (Silico manganese)

硅素錳鐵因含有比較多量的錳與硅，而炭量較少，故適於低炭素鋼及高級品等的製造方面，同時又比硅鐵、錳鐵單獨加入時便利得多。

7. 硅素鋁鐵 (Ferro silico aluminium)

硅素鋁鐵對脫氧化物方面，既迅速且完全，出鋼時放到盛鋼筒內或當注入模型時加入之，結果頗佳，它和鋁的作用相同，甚至比鋁更為有效，能分成普通品與高級品二種，後者的脫酸，脫硫力量雖然很大，但價錢極貴。

(1) 硅，錳，鋁，

| Si | Mn | Al |
|----------|----------|---------|
| 18 乃至 20 | 18 乃至 22 | 9 乃至 12 |
| 9 及 11 | 9 及 11 | 4.5 及 6 |

(2) 硅，鈣，鋁，

| Si | Ca | Fe | Al | C | Mg | Mn | S | P |
|-------|-------|-------|-----|---------|------|------|------|------|
| 50~55 | 18~22 | 12~15 | 4~5 | 1.0~1.2 | 0.35 | 0.22 | 0.75 | 0.08 |

8. 鉻鐵 (Ferro chromium)

鉻鐵是將鉻鐵質 (FeO, Cr_2O_3) 於電氣爐中還元而得到的，其成分含 60~70% 鉻與 7% 以下 C，但普通多用含炭量在 6% 左右的東西，然欲製造炭素量在 0.2% 以下的不銹鋼時，勢必要使用 0.4% C 以下的鉻鐵，其價值之高低，根據其炭素含有量之高低大有不同，大體如第 30 表般。

第30表 鉻鐵的成份 (%) (後面)

9. 鎢鐵 (Ferro tungsten)

鎢可供進高速度鋼的製造用，其含量在 20~25% 左右，一般的鎢鐵含鎢量在 50~85%，大體上的數目字如第 31 表般。

第 3 1 表 錫的成份 (%) (後面)

10. 鉬鐵 (Ferro molybdenum)

鉬和其它金屬如錳、鉻及鎢等共用之製造工具鋼，鉬鐵共有鉬含量在 45~55% 與 70~80% 的，美洲地方使用着金屬鉬及氧化鉬石灰，後者為 $\text{CaO} \cdot \text{MOO}_3$ 的形狀，用於電氣爐極易熔融，但甚易被還元。

第 3 2 表 鉬合金的成份 (%) (後面)

11. 釩鐵 (Ferro Vanadium)

最近又發見了，少量釩加到鋼中去時會改善鋼的性質，高速度鋼材中多用之，釩鐵中含有着 25~50% 釩與 0.3~5% C 等，其平均成分如第 3 3 表般。

第 3 3 表 釩鐵的成份 (%) (後面)

12. 鈦鐵 (Ferro titanium)

爲了除却鋼中的氮氣時加鈦鐵到鋼中去，但鈦對於鋼的機械性質並沒多大影響。只能微增鋼的抗張力，並有使延伸率減少的傾向，至於對彈性限與衝擊的抵抗，不很變化的，每噸約值 1000~5000 圓。

第 3 4 表 鈦鐵的成份 (%) (後面)

13. 鎳 (Nickel)

Nickel 差不多都是以純金屬鎳而用的，但有的時候亦以鎳鐵用之，其純者爲 99.98% Ni 但 98~99% 者爲普通，金屬鎳 1kg 約值 3,40 圓許。

今日又用 Mond Nickel 或電解鎳。

第 3 5 表 鎳的含有成份 (%) (後面)

14. 鋁 (Aluminium)

鋁於鐵冶金工業上以脫酸劑使用之，其純者含有 98~99.5% Al；鋁鐵合金亦可供爲脫酸劑用，此合金中的鋁量在 10% 以下時對鐵的原熔點是無多大影響的，但在這以上時則急之變化，鋁占 50% 的合

金鐵熔點為 1150°C ，鉛量在這以上時益發低落，70% Al 時，則為 1132°C ，量越多其合金的熔點越低，純鉛的熔點為 653°C ，每噸價值 1500 圓，而再製品則值 1300 圓左右。

第 3 6 表 鉛的成份 (%) (後面)

15. 磷鐵 (Ferro phosphorus)

磷對生鐵的影響問題一般都很清楚，即能降低熔點，增加流動性，此性質特別是在薄物以及美術品的鑄物上非常重要，同時在製鋼作業上為求磷酸肥料而特地希望鋼滓中多磷的時候，以及製造薄鋼板用之，為了防止由於加磷鐵而形成的低熱，也有用磷化錳的，磷鐵每噸價值 150 圓左右。

第 3 7 表 磷鐵的成份 (%) (後面)

16. 稀有鐵合金

銅 (Copper) 可以和鎳一樣以金屬形狀加入之，用於電氣爐的時候很少，以轉爐及平爐等造成之覆蓋用薄板或製造其它耐銹用製品場合用之，於鋼中之含量為 0.2~0.3%。

鈷鐵 (Ferro cobalt) 在高級高速度鋼製造上是不可缺的元素，此元素同鎳，銅一樣因不氧化故能完全進入熔鋼中，有 80% Co 的鈷鐵與金屬鈷二種，前者每噸價值 13,000 圓，後者值 15,000 圓。

鈾鐵 (Ferro uranium) 以 40~60% 鈾及高 C 的合金鐵用之，因此金屬甚易氧化，故頗難進入鋼中，最好的辦法是將少量的粉末鐵合金放到盛鋼筒內去，即使這樣其損失量亦要在 50% 以上，因此更好的方法就是使用高鈾低炭的合金鐵，來代替 4% C 的合金鐵。

第 3 8 表 鈾鐵的成份 (%) (後面)

鈷鐵 (Ferro Zirconium) 除在製造高速度鋼時用它為脫酸劑之外不常用之，今日在市場上見到的合金中不純物極多，所以究竟是否是鈷的影響才致脫酸得很好，這還是不很清楚的，每噸價值 1,35% 含量的，為 7500 圓左右。

第 3 9 表 鈷鐵的成份 (%) (後面)

硅化鈣 (Calcium silicide) 為強烈之脫酸劑，與氧結合成為硅酸鈣 (Calcium silicate) 會較容易的進入鋼液中，普通都是在出鑄時放到鋼流中的，使用量對鋼每噸為 0.1~0.3%，若用此物則可得到極健全的鋼，能增加強度與伸性的，20%Ca, 60%Si 的，每噸價值 1700 圓左右。

17. 其它的合金鐵

鐵冶金作業中所用之合金鐵，除以上所述者外尚有 如第 40 表般的合金鐵。

第 40 表 雜合金鐵 (%) (後面)

第三節 造滓材料

1. 石灰石及石灰

石灰石 (Limestone) 盡量要用不純物較少的，即氧化鐵 Al_2O_3 及 MgO 等不純物要在 3% 以下，無水硅酸要在 1% 以下為佳，其塊以 100mm 大者為最佳，最大不得超過 200mm 以上，同時小於 25mm 亦不好，石灰石主要用於熔鑪及生鐵爐中，然酸性平爐及酸性電氣爐有時亦可用之為熔劑，每噸價值 3 圓左右。

石灰 (Lime) 於鹽基性爐上是最重要的東西，良好品中的 MgO 及氧化物等須少，尤其是硅酸分應該盡量減少，其量若過多時，造滓作用及脫硫作用等都要受害的。

第 41 表 石灰石及石灰成份 (%) (後面)

大工廠內用的石灰可以自已用石灰窯來焙燒，小工廠用的石灰若行貯藏，則致崩壞故多從大工廠或專門工廠購買盛於鐵桶內的東西，自燒者每噸價值 3 圓左右，後者則須 1.5 圓左右。

2. 螢石 (Fluorspar)

螢石在增加鹽基性鋼液的流種性作用上是極重要的東西，雖有脫硫作用，但使用過多時是會侵害爐蓋，所以應當使用石灰量的 8% 以下平均在 3% 左右為佳，其成份以氟化鈣，(CaF_2) 為主，須為含 90% 以上氟化鈣與 0.2% 以下硫黃的東西，熔點為 $985^{\circ}C$ ，每 T 價值

22圓左右，以上海產者為佳。

螢石之代替亦有使用砂子與玻璃粉的，砂子雖然便宜，但沒有那樣除硫的能力，且會減低鹽基性度。

第42表 螢石的成份 (%) (後面)

3. 其它的造滓材料

除前記以外，用於電氣爐造滓材料的尚有還元鋼滓時用的骸炭，代替螢石而使用的硅砂以及同目的所用的玻璃粉等。

造滓用之骸炭的性質問題不是很重要的，有許多工場使用着廉價的近乎粉狀的骸炭，不管在何種場合，使用10節目以下的粉末是最好的，因大塊者反應慢若以塊狀直留到最後出鋼時，是會增炭的——成爲豫定以上的炭量——故用小者為佳，只是必須要沒有水分，因之先應該充分預熱，除掉其水分為要。

硅砂用於酸性平爐，含 SiO_2 在95%以上者為佳，碎玻璃亦有和硅砂相同的作用，只要是在25mm以下的話，沒有特行粉碎的必要。

為使還元後的熔鋼鎮靜，有時使用粉末硅素鐵，但有的和石灰混合起來使用，亦有的裝入到石灰上面使用之。

第五章 酸化劑，脫酸劑及與炭劑

第一節 酸化劑

酸化劑主要使用鐵鱗石、鐵皮 (Scale) 及屑鐵等，鐵石應該用磅分少，之優良的赤鐵礦，鐵皮比鐵石猶含有着多量的氧氣，不純物亦少同時價錢亦便宜，但是在含有着多量硫黃，然而鐵皮中的硫黃與鐵石中的磷分及土類是互有不利，若屑鐵的表面生銹同時其中亦存在着氧化物若干，使用量極多的時候，就勿須另外加鐵鱗石作為氧化劑了。

第43表 酸化劑的成分 (%) (後面)

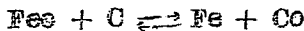
第二節 脫酸劑

1. 概說

氣孔或氧化物等的存在對金屬，特別對鋼的性質非常為害，所以應當盡力除却之。故此在精鍊階段，務必要防止鐵的氧化，同時要使熔液內已有的瓦斯體及氧化物等都變成氣體逃出去，不然使之成滓從熔液內給予分離之為要。於生鐵中的氧化物倒無何致命的影響，但對於鋼却有着非常嚴重的影響，故只關於鋼這方面述記一下。

欲除此瓦斯體及氧化物等有二種方法：即由於精鍊當中爐內的化學反應及滓的自然沉降方法與加上脫酸劑而使之除掉的方法等為是。

自然沉降作用的第一個東西是鐵中的炭，因為炭和氧化鐵有着如下般的可逆反應，能使過分的氧化炭以氣體逃掉，隨之則能達到脫酸的目的。



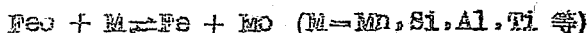
於此式中，須行脫酸的左方，向右方的反應是個吸熱的反應，故此熱度必須充分上昇之，因此鋼在爐溫越高時越會被脫酸得很好的，另外的一個，由於滓而進行脫酸的是正像鹽基性電氣爐那樣，以炭化鈣鋼滓和鋼中的氧化物互相反應變成一氧化炭逃脫之，而達到脫酸目的。



像以上所談般，以自然鎮靜法而進行的脫酸，因全都是變成了氣體逃脫了，而不留下任何固體，故可說是極理想的辦法，但有很多的場合，單靠自然靜法是不可能脫得很充分的，此時則須要加入固體的脫酸劑，使用脫酸劑時其脫酸生成物，——如無水硅酸，氧化錳及 Al_2O_3 等的固形體會凝固起來，介在鋼中，隨之對鋼質就頗有惡的影響，因為這些關係，凡製造優良鋼材時盡可能少用脫酸劑，而多行自然鎮靜為妙。

2. 脫酸劑的種類

能為脫酸劑用的東西皆為比鐵易於氧化的金屬，——如錳，硅素，鋁，等，將這些金屬加入到熔液內去的時候有如下般的反應，而其脫酸生成物不溶於熔液，漂浮於液上，大部份會浮化的，但倘有餘剩金屬時，則會進入到熔液中去的，次式中所記的 M 者代表金屬， MO 者為其氧化物。



今試將普通所用的脫酸劑，錳，炭素，鋁等的脫酸能力作一個比較，若據 Campbell 氏的研究結果如下。

| | | |
|-----------------------------|--------|-----------|
| 和 3.44 % 錳結合時須要的氧氣量，為 | 1.00 % | MnO |
| “ 鋁 “ | 3.01 % | Al_2O_3 |
| “ 硅素 “ | 3.98 % | SiO_2 |

由此觀之，鋁為錳的三倍，炭素則有錳四倍的脫酸能力，然而若據 Brinell 氏的研究結果來說，其能力上大不相同（和上記之研究）

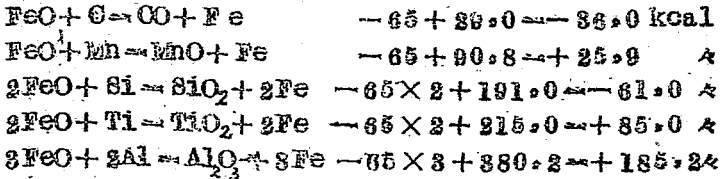
$Mn + 5.33Si = T$ 在此式中 $T = 2.05\%$ 以上的時候，氣泡已然不存在，但收縮管頗大， $T = 1.66\%$ 的時候收縮管已減少，且氣泡亦減少至無害的程度，然而若用鋁來脫酸，亦做到和後者差不多的成績時，只須加入 0.0184% 即可——這樣說着，這樣硅素為錳的 5.3 倍，鋁則為錳的 90 倍，為炭的 17.3 倍，更淺言之，若只用錳時須要 1.66% ，用硅素時則須要 0.32% ，而用鋁時非常少，僅以 0.0184% 即可。

第 4 表 脫酸劑的發熱量

同時這些脫酸劑，又正像以下所記 Landolt 氏的研究那樣，金屬

發熱反應，所以若放到盛鋼筒去的時候能提昇溫度而增加流動性的。

反應式



以前亦說過，此等脫酸劑會生成脫酸生成物，介在鋼中有惡的影響，故對其使用量應該充分的審核之，錳普通是以 80 % Mn 的錳鐵使用之，但鋼中須要 0.5 % 左右的錳量，向時的脫酸生成物 MnO 亦易於浮游到滓中，所以對鋼的影響很少，因此就不很須要着想其脫酸劑的限量問題。

硅素普通是以硅素鐵而用之，於日本多用含量在 7.5 % 的，外國却應用 5.0 % 左右的，硅素鐵在脫酸的同時又能防止氫氣的析離，可是若形成了無水酸而介在鋼中的時候是有惡影響的，所以不能使用過分的硅素，因此通常是和錳鐵一起同時加入的，即使在不須要鍛造或熔接的鑄物上，其量若過多了，亦會影響鋼質的，據 Osann 氏的研究中說：「0.5 % 以上的硅素，則會使鋼質脆弱同時又會減少韌性的；0.2 % 以下則不能達到脫酸的目的，最適量，在鹽基性鋼上，最少要在 0.35 ~ 0.4 %，酸性鋼時則應在 0.2 ~ 0.3 %」；但若根據著者的經驗來說，酸性鋼以 0.25 % 左右，鹽基性鋼以 0.3 % 上下即為適當，然而鹽基性電氣爐的場合若能充分的造出，CaC₂ 鋼滓實行脫酸的話有 0.1 % 則可。

鋁是用普通金屬的，其脫酸效力雖然很大，但其脫酸生成物 Al₂O₃ 若介在鋼中時是極不好的，就是說它 (Al₂O₃) 能使鋼的可鍛性以及鍛接性降落，同時收縮率亦會增大，致有助長收縮管構成的傾向，因此鋁的使用量，在鑄物上以 0.1 % 為最大量，鋼塊時則以 0.06 % 為通常，Geiger 氏說「平爐每噸鋼用 50 ~ 150 g」，轉爐用 80 ~ 120 g Gleilenkirchen 氏說：「1 噸鋼用 0.02 ~ 0.05 %」，Harbour 氏說：「1 噸鋼用 0.02 % 最好，平爐時用 0.05 ~ 0.14 %，轉爐用 0.16 ~ 0.23 % 為最普通」，又據 Treuheit 氏說：「平爐時用 0.02 ~ 0.05 %，轉爐以 0.05 ~ 0.1 % 是最好的」。

總起來說最適當的量，平爐時以0.05~0.1%，轉爐以0.1~0.3%，電氣爐時以0.02~0.05%為最適當，（最近全然不用鋁的地方很多，請看第十四章第五節）

此外也有用鈦及鋁合金的，但極少，其詳細處，於鐵合金部份因已述過，故從略之。

8. 加入方法

脫酸劑中，如硅素鐵及錳鐵等類，應待爐熱充分的昇高，精鍊作業已接近完竣的時期，添加到爐中去。酸性爐時將錳鐵，鹽基性爐時將硅素鐵當出鋼之際投入鑄鋼筒中去亦可，後記辦法之損失量雖少，但磷及硫黃等有被還元之虞。鋁常要在熔鋼已傾出 $\frac{1}{3}$ 左右時投入鑄鋼中去的，但在電氣爐的場合，因恐被鋼滓所阻住，所以還是放到爐中去的為佳，其加入方法是將鋁纏於鋼棒之一端上，暫時插入爐內去的。

使用脫酸劑之前，先行提昇爐熱較好，這樣其反應會快的。今熔鋼的溫度為1600°C的話，尚此中加入冷劑或熔劑時，此兩種場合對熔鋼溫度的影響，根據大石源治氏的研究則如第45表般。

第45表加入脫酸劑時對鋼溫度的變化 (後面)

目前表中即可知道，硅，鋁等即使以冷劑加入熔鋼的熱度亦會上昇因此能夠保持長時間的流性，但生鐵，錳鐵及錳鐵等若以冷劑加入時，熱度則會下降，為使脫酸劑迅速的起作用，故選用熔融溫度較低者為佳，蓋因溫度高時，瓦斯分離比較困難的關係。

第三節 增 炭 劑

增炭劑可用生鐵，骸炭，無煙炭，電極及洗滌生鐵等，(Washed iron) 其中的磷，硫含量皆須在0.025%以下，這些材料之中，電極最好，因為它比骸炭的灰分少，又不像無煙炭那樣揮發分多，並且電極之破片亦可使用故甚有利，骸炭雖比較便宜，但因灰分過多所以不很好，可是用它的地方頗多，電氣爐用的電極做增炭劑用時，其重量的70%能成為C進入鋼中去，電氣爐的場合大體上和增炭劑的比重成正比而增炭的，尤其是在精鍊末期，比重較輕如骸炭之類的物

質，即使加過入亦無多大效用，鋼滓除出之後加入無煙炭或電極等尚可，但及至精鍊末期，若仍用電極或無煙炭的話，是沒有效力的，此時應該使用比重大的生鐵或洗滌生鐵等為要。

第 4 6 表 洗滌生鐵的成份 (%) (後面)

洗滌生鐵是含有 3~4% C 的純精品，是很好用的，其成份見第 4 6 表。

第六章 電氣煉鋼爐的種類

電氣煉鋼爐，由於其電熱方式，能劃分為次記三種。

1. 間接弧光式 (輻射弧光式)
2. 直接弧光式 (弧光抵抗式)
3. 誘導式

間接弧光式如第 1 9 圖般，是由爐內二極間所生之弧光的放射熱與從爐蓋或爐側等的反射熱而加熱的爐子。電極同熔解金屬的表面傾斜成 30~45 的角度而固定着，「斯大薩諾爐」(Stassano) 及「倫那肺爾得爐」(Bennerfelt) 等為此式之代表者。

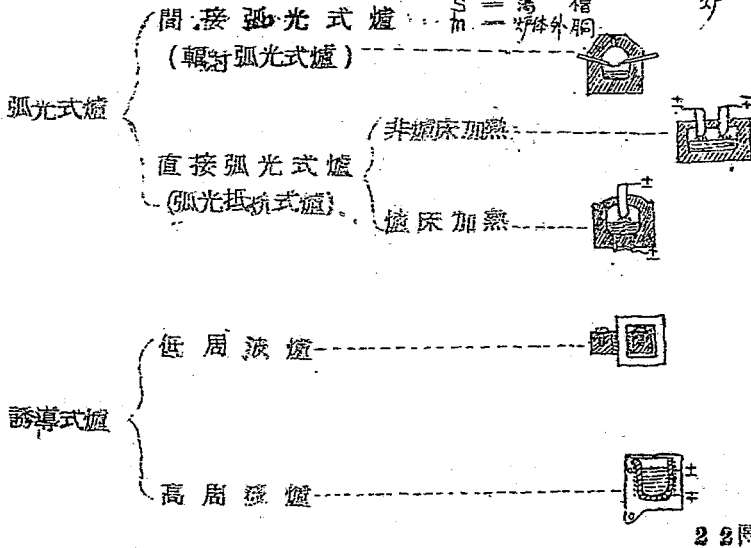
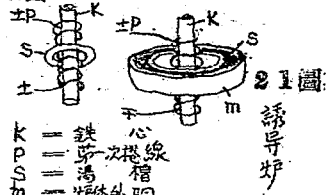
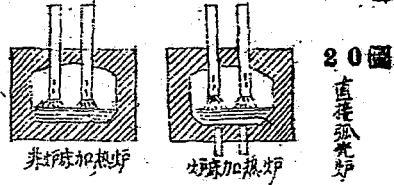


直接弧光式是利用着，電弧及電流等通過熔解物中遇抵抗而生熱，有一根或數根電極從爐蓋上面懸垂到材料上面。其一電極和熔解物之間發生電弧，更通過熔解金屬而從另一極放電的，屬於此式者如第 2 0 圖般有兩

種全是由上而下的，和一部份設於爐床上的二種。前者最初是在爐蓋電極與材料之間生出弧光，通過材料之間再與另一極生弧光而放電的，後者則是最初生成的電弧通過了材料，向爐床電極放電的。為區分這一種故稱前者為非爐床加熱式，後者為爐床加熱式，此二者中的前者雖為弧光式但不同於間接弧光式，是向着材料生出直接電弧的，然而後者若和前者比較的話，因為是通過材料全部而向爐床放電的關

係所以能够充分的利用抵抗熱，故稱前者為直接弧光式，後者為弧光抵抗式，「隘路式」(Heroult) 爐為前者之代表爐，「基勞式」(Girod) 為後者的代表爐。

誘導式者是以誘導電流而加熱的爐子，如第 21 圖般，該爐恰同變壓器的作用，向一次回線送高壓電流，以其電磁誘導作用二次電流會被誘至裝入物中，由於其抵抗而生熱的，「傑倫式」(Kjellin) 與「老甸號查式」(Bodenhauser) 等爐最為普通使用的東西。



以上各種爐皆有其利與不利之點，但直接弧光式爐尚比較好些，此中爐床上有電極的爐子開始作業困難些，並容易發生故障，當然不能

說沒有爐床電極的爐子就是最理想的，但在構造上簡單操作容易，並且比其它式爐缺點少，因而用者最多，而隘路式及其改良爐約占一切爐的半數，鋼全生產量的過半是以這些爐製造出來的，自第47表及第48表中亦可看到，今日之隘路式在全世界上使用最廣，其它的爐亦多屬此爐的改造者，尤其在日本幾乎全是隘路式爐，正因為這樣普遍所以此後專關於隘路式爐詳細的記述下去，其它者只止於概述程度了之。

| | | |
|------|------------|------|
| 第47表 | 北美及加那大的電氣爐 | (後面) |
| 第48表 | 各種電爐的發展情況 | (後面) |

更將今日所用的主要電氣爐名稱列記於下，以供參考。

- (1) 間接弧光式爐 (輻射弧光爐)
1. 否 路 大 (Volta)
 2. 斯 大 薩 諾 (stassano)
 3. 崩 那 (Bonner)
 4. 倫那肺爾得 (Rennerfelt)
 5. 巴薩 尼斯 (Bassanese)
- (2) 直接弧光式爐 (直接弧光式非爐床加熱爐)
1. 隘 路 (Heroult)
 2. 崩 保 爾 (Vom-Baur)
 3. 路 得 朗 母 (Indlum)
 4. 陸 阿 (Moor)
 5. 弗 阿 得 (Fiat)
 6. 魏 卜 (Webb)
 7. 否 路 大 (Volta)
 8. 案 窄 力 尼 (Anjelini)
 9. 任 大 斯 得 力 爾 (Industrial)
 10. 布 朗 保 比 利 (Brown-Boverie. B. B. C.)
 11. 巴 克 (Burker)
 12. 傑 斯 大 (Gesta)
 13. 得 麻 哈 (Demag)
 14. 牛 尾 式

15. 大同式

16. 住友式

17. 三菱式

(8) 弧光抵抗式爐 (直接弧光式爐床加熱爐)

1. 基勞 (Girod)
2. 克拉 (Keller)
3. 賈破列得 (Chaplet)
4. 那斯狹斯 (Nathusius)
5. 固力布斯, 埃茄爾 (Greaves-Etchells)
6. 固龍肺爾, 的克宋 (Gronwall-Dixon)
7. 保斯 (Booth)
8. 斯得碧 (Stobie)
9. 古淋 (Green)
10. 史奈大 (Snyder)
11. 比芝, 佈爾固 (Bitsburg)
12. 魏路 (Will)
13. 哈甸 (Harden)

(4) 誘導式

1. 傑倫 (Kjellin)
2. 弗力克 (Frick)
3. 列西淋, 老甸號查 (Roehling-Rodenhauser)
4. 西奧爾斯 (Florth)
5. 嘎下, 嫁拉梅克 (Gassius-Jaramec)
6. 阿嫁克, 魏阿特 (Ajax-Wyatt)
7. 傑尼拉, 埃力克得力克 (General Electric)
8. 高周波 (High-frequency)

第七章 電氣煉鋼爐各論

在前章中已列記許多，因其種類雜多，倘一一詳言，則會受到紙面上的限制，故僅關使用最廣的爐子記述下去。

第一節 輻射弧光電氣爐

1. 斯大薩諾式電氣爐 (Stassano electric furnace)

斯大薩諾式電氣爐的構造是以耐火磚為裏之鋼板製好的圓筒形而成的。爐體傾斜成7度左右。軸的周圍用電動機與齒輪裝置使其回轉之。外筒用氧化鎂做裏。炭素電極幾近乎水平的通過爐側伸擡到爐內。在爐內中心處合成一起，而此電極須以按裝於外筒（外層）的水冷管圍繞之，用手或水壓等裝置調整之。爐內發生的瓦斯自爐上方氣道逃出之。熱是由於三電極間的電弧及其放射作用而發生的。電流為三相25周波，100~135 Volt, 1500~1800 Amp.。

參照23圖。

爐的壽命，鑄鋼物的話約為三週間，在24小時內1.2噸（每爐）能煉出5~6噸。鋼1噸所須電力為800~1000Kwh，所用電極若為鉛製者時1噸爐使用徑50~65 mm 3噸爐用80~100mm，炭素電極的話，須用200~300mm徑，對裝入物1噸之電極消費量為7.5~10 Kg。

此種爐3噸以上者很少，大爐時溫度的調整不正確又困難，此爐雖適於用鋼屑來製造極軟鋼及鑄物，但在電力方面較其它爐是不經濟的。

第48圖 斯大薩諾式爐 (後面)

2. 崩那式電氣爐 (Bonner electric furnace)

此爐大體上同于斯大薩諾式爐的構造，所不同的地方只是回轉裝置，此爐的回轉裝置與隘路式爐同。爐底部有半圓形的底台，能前後傾動，傾動時用電力，電極孔部覆蓋得很周密，能防冷風的侵

入，故電力的消費量很少，容量1~1.5噸為最適當。

參照 24圖

3. 倫那弗爾得式電氣爐 (Rennerfelt electric furnace)

鍊鋼用的此爐有三根電極，其中之兩根水平的或稍有角度的由側壁伸到爐中，而另外一根通過爐蓋垂直的懸着，爐體由圓筒形的鋼

參照 25圖

板製外筒而成，爐體為皿形，以耐火材料作裏，尚有以按設於筒體中央的軸為中心可以前後傾動的設備，此爐的利點，在於水平二極間所生的電弧能被垂直電極直接擊落到金屬上。

爐的操業方法最初只是使之生成電弧，待爐熱之後裝入冷材熔融之，隨着它的熔融而使電弧降落之，及至裝入物全部熔解，為獲得強烈的還元鋼滓，須使水平電極傾動起來，使電弧直接的接觸鋼滓，同時中立電極亦降下使之接觸到鋼滓上面，再以普通的脫酸及脫硫鋼滓實行精鍊。

參照 26圖

第27圖為電弧的各種狀態，此中之(3)是中央電極過高的場合，其中性線差不多沒有通着電流所以形成了漏負荷，爐內溫度是不會上昇的，(6)是原料裝入過多的場合，此時從左右一極直接的向裝入物生成電弧，以致中央電極通不上電流，這即是說倫那弗爾得式爐必須很正確的保持其電弧位置的，同時又極須熱鍊。

爐容量從300Kg到6噸，製鋼用以小者為適當，今關於用1噸爐製造鑄物時的作業須知略述一下，電極大小，若屬黑鉛電極時須用75~100mm徑，炭素電極時用100~120mm徑為要，其消費黑鉛量為0.3~1Kg (每噸)炭素製者為0.75~1Kg。

參照 27圖

電力的消費量，冷材時每噸為700~900 Kwh，熔解時間為3~4小時，普通用單相變壓器二個，使之為Scott接線(三相變三相的接線法(或開三角接線法(△))，在熔解當中為二相熔解後

使之爲三相的，所用的變壓器根據爐體大小選用100~1800KVA之間的以70~90 (Volt)電壓操作之。

參照 28 圖

第 28 圖即爲其電氣的接線法，中性點結於垂直電極上，其外的一極結於水平電極，作用於二水平電極間的電壓比垂直電極與水平電極中間的電壓高出 $\sqrt{2}$ 倍，流過垂直電極之電流比其外者大出 $\sqrt{2}$ 倍，此爐最適於鐵以外的合金製造用，煉鋼除小規模的生產外是不適當的。

參照 29 圖

第 29 圖爲該爐配線及各種計器的關係位置圖。

使用電壓：在水平與垂直電極間爲80~100 Volt，二次方若用閉塞線輪 (Chocking coil) 時各相間的電壓使之爲150 Volt，然而此電壓只是在正常負荷的時候，電弧，電壓異常下降的場合使用之，負荷是以水平電極對垂直中性電壓變動而行調整的，調整方法用手動或自動裝置等爲之，水平電極因能上下活動所以亦能使二個電弧接近熔融金屬，即能成爲直接電弧式，而垂直電極也可以同樣的使之接近金屬面上。

各種大爐上所用的變壓器容量如下表般，但在正常全負荷時的力率普通爲0.9，這是爲了防止大的動搖或短絡電流，而充其量將回路的交流抵抗 (Reactance) 加以估計了的。

| 第 30 表在指示着使用各種 大小的點燃電爐來製造工具鋼 及鋼鑄物等時的電極消費量。 | 爐的大小 (Kg) | 變壓器的容量 (KVA) |
|--|-----------|--------------|
| | 200 | 75 |
| | 350 | 125 |
| | 750 | 250 |
| | 1500 | 400 |
| | 3 ~ 3.5 噸 | 800 |
| | 4 ~ 4.5 噸 | 1000 |

第 30 表

4. 巴薩尼斯 (Bassanese) 式電氣爐

此爐的電極傾斜能夠種々變化，直接或間接弧光式兩者皆可，1噸爐可用單相，3噸爐用二相，利用 Scott 接線法可以從三相裏供給電，電壓為 150~170 Volt 的高壓，故須使電纜及電極等小些以減少電力的消費量。

第二節 直接弧光式電氣爐

1. 陰路式電氣爐

(1) 概 說

陰路式電氣爐在製鋼爐中為最廣泛使用的爐子。其電爐多屬由此誘導改造的，尤其是今天煉出來的製品中 80~70% 是靠陰路爐而造成的。只是製造迅速便宜，及冷材熔材兼用等特點較多，所以各國皆爭用此爐。 參照 § 10 圖

現在所用的陰路式爐是 1900 年 Paul Heroult 氏發明的。其爐形恰如可傾式的平爐狀，二根電極由上而下，以調整機得以上下調整之，電流先通過一極進入爐內，在熔鋼面的鋼滓與電極中間發生電弧進入金屬中加熱之更經過另一極而放電，即利用電弧或電流通過熔鋼時的抵抗熱而行精鍊的。

陰路式在未被改良以前的數年間，各種直接弧光式爐都是把爐床塗上炭裹子，而將此接續到單相電路一方的端子 (Terminal) 上去的。然而陰路式又廢却了爐底的炭裹子，更為了防止不使炭直接的被吸收到熔鋼中去所以才像今日這樣，使二電弧直列的發生之，並將裝入物當作二電弧間的回路，這樣，爐床上的塗裹問題，便迫切須要某一種適當的耐火爐材了，終於於採用了焙燒的苦灰或氧化鎂。

陰路氏本人最初的目標是鹽基性平爐法，只想到利用電熱來代替瓦斯燃料的一個構造極簡單的爐子。目的是達到了，但是由生鐵除去炭再製成鋼，這若用電氣爐來作，其費用頗大，因此以後便以鋼屑為原料熔融精鍊之，減低了炭量又得以縮短了其精鍊時

間，同時因為又發現了電氣加熱能夠造成強烈的還元氣氛，遂至製造還元鋼碎來保護熔鋼並使進行脫硫與脫酸等作用。

參照 3 1 圖

另外亦曾想到把金屬製的電極插入耐火爐床間來代替炭製的爐床電極，但是因為電弧回路還是和爐床分開的好，所以這樣的想法終歸於失敗了。

該爐裝入冷材的有 1, 2, 3, 6 最大為 15 噸等，然而對熔材的精鍊則有 15, 30 或 30 噸大的，尤其普通的為 3, 6 或 30 噸，鑄物用 3 噸，製造鋼塊用 6 噸爐最為適當，這種爐在實際裝入時差不多都可以超過裝入 10~30%，甚至 50% 左右。

參照 3 2 圖

(3) 爐體構造

爐體，爐底皆用鋼板製成，底部為平面或微圓形，胴部備有 1~2 個裝入口與 1 個出鋼口及流鋼嘴子，側部或後部設有支持電極的直立鋼柱與調整裝置等圓形爐蓋上設電極挿入孔三個，為冷電極須在爐蓋上方和支持電極的地方設一緊貼於電極的冷却水管，管內流有冷却水，電極支持器是以鋼柱把持在爐側部或爐體後部的，其上下的運動用個別的電滾子或水壓裝置。

參照 3 3 圖

(A) 爐體 (Furnace body)

爐體是根據電極的數目多少或圓或橢圓的，若為三相三電極的爐時，因圓形的熱效率最好，多採用近於圓形的爐子，裝入口及出鋼口各分別設備着，小爐時則配置於前後相對方向為普通，大形爐設有一個裝入口，此部份的爐門鐵梁子用堅固之鑄鐵或鋼板築造之，有防止爐體變形及增強等作用，更為了防止高熱變形及火焰的腐蝕作用等特設有流水冷却裝置，同時爐門兩邊的鐵格子上須適當的設有承受鋼棒的架子，熔解室的直徑與深度比例頗為重要，倘過深時則熔解時間長，若寬而淺時熱的分散狀況則不佳，近來更為了迅速熔解而增高電壓，又漸有使熔解室寬淺化的傾向，但這些問題若在優秀鋼材的製造上來看是值得考慮的。其面積普通對鋼 1 噸要 $0.5 \sim 1 \text{ m}^2$ ，深度為 200~600 mm，液面到爐蓋中間的距離務必小些這樣在熱效率上是好的，但過低時材料又裝不了許多所以使之

為 400~500mm 比較合適，熔解室容積的 80% 為熔鋼所占，所餘之 20% 為鋼滓所占，更詳細處於第八章述之。

參照 3 4 圖

(E) 爐 裏 及 爐 床

隘路式電氣爐的大部份為鹽基性，酸性較少，其使用材料，爐底，壁的上半部及爐蓋等和平爐相同，全用硅石磚，而爐側的下半，須用氧化鎂，然而日本國因氧化鎂磚的價錢很貴，所以有的地方全用鉻磚築造之，但因鉻會被還元進入鋼中，故於製造正規鋼的工場是絕對不採用的，爐裏 (dining) 的厚度為 330mm，只底部的弧形部份厚為 500%，在某一種場合下半部氧化鎂磚的地方由 115mm 的硅石磚與 330mm 的氧化鎂磚而成，(爐側部若用鐵管氧化鎂，以苦汁或釘子搗固極其堅固，能有二倍的壽命，故用此品的地方頗多，爐壁亦同於爐床為氧化鎂搗固極其堅固，這些留待第八章詳述之)

此爐裏的壽命長短問題根據當地情況與技術等而不同，就一般來說，晝夜繼續使用時，最少能用 75~135 次，換言之以正常狀態操作的話，1 個月須要修理 1 次，能夠充分的留意使用時底部能保持 1000~1500 回，最容易破損的地方為鋼滓面和裝入口附近。

爐床 (Hearth) 同於平爐有搗固法與燒結法之一種，但電氣爐則專用搗固法，用於爐床上的材料有 $MgCO_3$ 或苦灰石等經過培燒的東西，總之以氧化鎂最多，細處容後第八章詳談。

參照 3 5 圖

(U) 爐 蓋 (Roof)

爐蓋的構成是將鋼製環的內部以磚砌成的，當砌爐蓋時先將電極穴用三根木柱塞上，後向周圍部砌磚的，磚與磚之間放入薄馬糞紙，在操作開始時會燃燒留有間隙，能給磚本身的膨脹以頗大的調整，爐蓋和爐體用螺絲把住勿使活動為要，爐蓋須有備份品 1~2 個，倘有破損等事即刻換用之，調換爐蓋約用 30~60 分鐘。

爐蓋的壽命問題雖然根據磚的厚度及熔煉對象或裝入材料等而不同，然而普通磚厚為 9 吋 (230mm) 的場合，鹽基性爐裝入材料為冷材的話則有如第 5 表般的關係。若用 13 吋 (330mm) 厚的磚 1.5 噸爐能使用 50~100 回。

於電極貫通爐蓋磚的部份，應備有冷却一特別構造的孔口裝置，即所謂吸熱器 (Economiz) 為是。

(D) 電極昇降裝置

電極應按在固着於爐體的鋼支柱上之能自由滑動的電極把持臂上，能以滑滾子或齒輪等裝置上下運動，支柱的下部各裝置着電動捲上機 (Winch) 經過數個滑車以鐵繩使其昇降，另外有一個鐵錘 (對重 Counter Weight) 懸垂於支柱中間，又有一種是按裝於把持臂上的鋼桿利用齒車裝置而能上下的，但普通利用鐵繩子的最多。

(E) 電極把持器 (Electrode holder) :

電極把持器有和電極把持臂在一起的，有全然個別設備着的，前者是以磷青銅造之其中實行水冷，後者是用把持器來握住電極而以支持臂來支持着把持器的，此時把持器多用磷青銅或特殊合金鋼等，把持臂為鑄鋼製。

(F) 傾動裝置 (Tilting apparatus)

本爐的傾動裝置，舊式的是將爐底作成圓的，而加上一個重的鑄鋼製的半圓齒桿該齒桿向着按裝於基礎台上的水平齒桿前方回轉之 (第 36 圖) 傾動爐體的時候，由電動機來推動齒輪，小齒輪及傾動用臂等而進行的，傾斜度越大熔鋼的流出量越多，故對其調節與操縱等須要注意，而新式者，為了免掉此一番手續，只於爐台上以樞軸頂住它，維持其中心線恰好到熔鋼流出口的下面，如斯乎爐體向着流出口那方面傾動時，能保持一定的出鋼量，且在使鋼全部流出的中間沒有移動盛鋼筒的必要 (見 34 圖，37 圖)。在這個裝置上，因為設計得很好，爐的重量亦能很順利的前進，故傾動時以小型電動機則是，更為了防止由於楔子的破斷以及其它等原因的發生而致爐體急激的倒轉，所以於此傾動裝置中特設有鐵錘 (Counter weight) 此裝置上所用的電動機應設於爐體的後面或爐體下面的坑中，齒輪，小齒輪及傾動用桿等亦設於此坑中，爐體向前能傾斜 $35 \sim 50^\circ$ ，向後能傾斜 $10 \sim 20^\circ$ 則可。

其外尚有用水壓機或將傾動裝置設於側部辦法，但用的較少，尤

其是設於側部的辦法，在構造上雖簡單須要動力亦小，可是在製鋼作業上來講，因為裝入口和出鋼口等已佔着三面，實際上無地安置此裝置的。

參照第 36 圖 37 圖

(3) 電氣的裝置

最初建設小型隘路式爐時，必須使之為單相，但若從多相變成單相的話，勢必要用電動發電機，而發動機則不僅價錢高，其電氣效率又低，並且又有招來三相發電所之負荷不平衡等不利，因之隘路式爐終至被改成以三相電流而操作，使三根電極於裝入物上生成星狀（斯大）接續的電弧了。

此爐上的電氣附屬品，過去有着三個單相變壓器，接成得路大（△）或斯大，得路大的接線法，因為接線法簡單，故三個變壓器可以都用一樣的。但為了意外的準備，另外有一個備份的，然而今日只用着一個變壓器。

鹽基性爐在全負荷的時候電導線的電壓以 84~72 Volt 為普通，電弧的地方因交流抵抗而稍高，若為酸性爐的場合，因矽酸質鋼液的電氣抵抗大，所以有把電壓增高些的必要，電導線普通 110 Volt 為全負荷之際，電弧電壓則約為 63 Volt，待第八章詳述之。

(4) 電 極

隘路式爐一般使用着三根電極，三者的位置形成正三角形，由各頂點直插入爐中，又有一種明形爐，它的電極成為一直列，過去的小形爐為單相並且只有一根電極，但是 1 噸以上的爐，欲想良好的操作，還是三相三電極的較好，所以今日皆為三電極，通常若是使用 40~50 amp/in² 的電極時，其電極的安插位置可以次式決定之。

$$D = 2d + 100$$

D → 通過三電極之中心的圓直徑 (mm)

d → 電極的直徑 (mm)

電極為圓形，徑為 120~300 mm，長為 1500 mm，兩端切有螺絲口能够接聯起來使用的，留待第九章詳述之。

2. 崩，保爾式電氣爐 (Vom Baur furnace)

此爐和隘路式爐完全相同，只是像第 33 圖：39 圖那樣爐形為

卵狀，且電極排成一列，這一點是不同，隘路式——正方形或圓形爐，的熱分布不很均勻，而這種卵狀爐的熱會分布得很均勻的，因為三電極中中央的一根送有多量的電流，同時又能使熔鋼的循環良好化，所以比前者的效率要大一些的。

此爐同於倫那，弗爾得爐，在熔融中為二相三線，但精鍊中亦可以用閉得路大或 Scott 接線法而變成三相三線，兩端的電極又可以任意的更換其位置，且可用石綿製半球狀的塞子密閉起來，爐的大小在 0.5~10 噸者用之最廣。

參照第 3 3, 40, 41 圖。

3. 路得朗母式電氣爐 (Ludlum furnace)

路得朗母爐的形狀同于崩，保爾爐為長方形如第 40~42 圖般，三電極形成一列，亦為三相，其爐床為較淺的橢圓形，為使鋼滓與熔鋼良好的接觸，並設計得能使熔鋼良好循環，此爐的熱效率好，溫度分布均一故電力消費量極少，平均每噸約為 500Kwh，此爐是以爐的兩側進行裝入或出滓的，同時修理亦很便利。

參照第 4 3, 4 3, 4 4 圖。

4. 陸阿式電爐 (Moore furnace)

陸阿爐同于隘路式為三相三電極，如第 4 3 ~ 4 4 圖所示般，爐為圓形，故電極放成正三角形，流出口在兩側，左為出鋼口，右為出滓口，回轉裝置給出鋼及出滓等操作以極大的方便，能傾向出鋼口方面 45 度，出滓方面 30 度，為減少爐的熱損失爐體多為球狀，爐蓋以水冷却之，又因電極和其保持器能一起左右傾斜，故爐蓋極易拆卸，修理時頗便利，此爐大小有 $\frac{1}{8}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, 3, 6 及 12 噸種，其操作甚速，鑄物一天能出鋼 12~14 次，爐的回轉用人力，電力都很容易。

5. 弗阿得式電氣爐 (Fiat furnace)

弗阿得爐亦為隘路式的改良品，所不同的地方只是電極保持器和其冷涼裝置，電極被爐蓋上方之圓筒的鐵套圍繞着，在此中間上下之，所以不能直接接觸空氣，同樣的空氣亦不能進入爐中，故其消費量少，即在操作中間亦能安全的昇降，更換時有三十分即可。此爐使用三

相為星狀(斯大)接線，其中性線接續在爐床及大地上，爐床有三個接續端子，皆配列成和上部電極相似的形狀，冷材裝入的場合此小型爐1天能出10次，大爐6次，故電力消費量少，每噸為600~700 Kwh，電極的消費量問題黑鉛製者每噸為2.8Kg，炭素製者為3Kg，使用電壓比普通爐略高，熔解中為130 Volt，精鍊中為75Volts。

參照第45，46，47圖。

第52表 (後面)

6. 魏卜式電氣爐 (Webb furnace)

魏卜式亦和隘路式差不多，但因以高電壓操作故操作時間甚短，構造亦簡單，掌握與修理都很方便，熔解中電壓為230 V，精鍊中普通為200V，但却有用280V來操作並且得到了好成績的列子，又有的說可以無任何危險的升高到440V進行操作，因為所用的電壓高，故能完全以人力加以調節，亦為此爐特徵之一。

參照第8圖

第48圖為此爐的斷面圖，中央電極垂直的伸入爐中，而兩傍的電極斜插着，因為使用高電壓，所以電極用小者即足用，其消費量亦隨之減少，更關於操作時間與電氣消費量問題略記一二，冷材裝入的場合須要3~4小時，電力每噸為600~650Kwh，電極消費量為3.76Kg，熔材裝入的場合須要 $2\frac{1}{2}$ 小時，電力要550Kwh (噸當量)。

7. 否路大式電氣爐 (Volta furnace)

否路大爐亦為隘路式的改良品，其構造既簡單又堅固故作業修理甚為容易，其大小為1, 3, 6, 10及15噸種々。

8. 案窄力尼式電氣爐 (Angelini furnace)

案窄力尼爐的構造形成電極相互間及電極與金屬間亦能生成電弧的爐子，因為採用高壓電流，故即使沒有裝入物亦能加熱，再者鋼滓的流動性非常好，電極的消費量亦小，爐體是不固着於基礎上的，而是能自由的在其重心的周圍振動的，因為能夠自由的傾斜，所以只以人力即能很容易的攪拌熔鋼，熔解作業與出滓作業皆很迅速。

9. 任大斯得力爾式電氣爐 (Industrial furnace)

任大斯得力爾式爐同于隘路式，為三相三電極，而爐蓋設計成能開閉的形狀，由上面裝入之。側方的爐門常為密閉着故爐及電極等的壽命長，有節約勞力及熱量等的特點，作業時用高壓及高流電，但亦可以將裝入物先以油，瓦斯及煤炭等豫熱之後再裝入的。

10. 日本國產電氣爐

日本國內的製作所計有大同電氣製鋼所，菱美商會，牛尾製作所及住友新居濱製作所等，住友製有 B, B, C 電氣爐，菱美商會則掌握着三菱電機會社製的爐子，其電極調整裝置以及電氣的一切設備等皆為 Westing house (英國之大電氣會社) 所製，否則就是三菱電機製作所的仿造品，大同電氣製鋼所製者為純日本產，調整裝置同於 B, B, C 為水壓式。

這些爐皆為隘路式，只採取以上各爐的長處而加以改良的，第 49 圖為牛尾製作所製電氣爐的構造，第 50 圖為大同電氣製鋼所製品的外觀，第 51 圖與 52 圖是從住友新居濱製作所的目型錄上拔選出來的，第 53 圖及 52 圖為三菱式電氣爐。

參照第 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56 圖

11. 籠裝入式電氣爐

最近得麻古 (Demay) 及 B, B, C 等廠將電氣爐之最感不便的裝入方法，為使之迅速化而設計出籠裝入式的電氣爐，第 54 圖即為得麻古式爐的外觀及裝入方法，第 55 圖為 B, B, C 式，第 56 圖為西門氏式爐的說明圖，據說可以把爐蓋拿掉，從上面將已豫備妥當的裝入籠落下，只用 5 分鐘即能裝入完畢，但是爐蓋的破損很甚，是好是壞尚為疑問。

第三節 弧光抵抗式電氣爐

1. 基勞式電氣爐

(1) 概說

基勞式爐 (Girod furnace) 與隘路式差不多為同樣的構

造；所不同的只是電極的設備法而已，即有一根電極從爐蓋上吊下來成爲陽極，又有以軟鋼棒而成的電極從爐的下部通過爐底而露出爐床的，底部電極式的爐子因電流能貫通爐內，所以熔鋼的流動性是極好的，比之陰路式是有其獨到的地方，但是在常溫材料的場合，爐的開始操作極爲困難，亦是技術者們最苦的時期，因而又造成了如第 5 2 圖般經過種々改良的爐子。

(2) 構 造

基勞爐的一般構造如第 5 7 圖般，其外觀頗似陰路爐，外板爲鋼製成爲圓形或是距形，爐壁採用鹽基性爐材，同樣的備有裝入口，出鋼口，以及出滓口等々，爐體由傾動台上的電動機或者由水壓機傾動之，爐蓋爲硅石磚砌造亦可以卸下來，又備有鐵製的水冷箱，電極從爐蓋插入之，電極數由於爐的大小而定，電流爲直流或交流，由上而下於電極先端和鋼滓中間造成電弧，經過熔鋼而到爐底的鋼製電極，此電極之上端接觸熔鋼，在作業中間其上端略會熔解，而另一端則以水冷之。

鋼棒在小型爐上有 6 個，大爐上有 16 個能使電流普及到裝入物全體，有使熱分布均一的利益所以作業情況是良好的，下部電極因不斷有水在冷着，所以即使操業數個月亦不會熔化到 50~75mm 以上，爐之大小與陰路式同，以 0.5 噸-25 噸左右，小型爐用 30~35 Volt，大型則用 70~75 Volt，4000~6000 Amp，電力消費量，冷材的場合爲 350~750 Kwh，熱材（熔材）爲 250~350 Kwh，電極消費量 12~15 Kg，作業時間 4~5 小時。

爐壁及其它部份使用的耐火材料，如第 5 0 圖般，單相式爐的場合從來雖用着氧化鎂，但有的地方已用 Dolomite 了，熔材精鍊爐的爐床及爐壁厚爲 450 mm，約耐 120 回的精鍊，其間約損耗 50mm，爐蓋用硅石磚造之，更爲了易同氧化鎂或 Dolomite 等爐壁分離而用石棉，爐蓋的壽命爲 60~70 次。

參照第 5 8，5 9 圖

爐底部電極由於水冷而被奪掉的熱損失，經過深刻的注意，把流入水量及前後的溫度測定的結果，知道鋼每噸僅等於 2.9 Kwh 的電力消

費。又在電極把持器部的水套處測定的熱損失每噸當量^{5.7}10.5 kWh，損失量是比較少的，爐底電極冷却時所要的水量每噸鋼為0.26m³而上部的電極把持器處之水套則要0.65m³的水量，若能將爐底的鋼製電極適當用水冷却的話，其上端的熔解程度則會僅止於爐床面以下25~50mm的深度，故不至於過分損害爐床的。

(3) 電氣關係

基勞爐用¹⁰相或三相的低電壓操作之，第61圖指示着給予電極以單相電流時的回路，圖中(1)為最初設計出來的東西，其導電線雖可以極其縮短但是電弧會向前頭方向傾斜下去，裝入物就不能被均一加熱了，並且對着電弧的爐壁亦易於破損，可是如(2)那樣接續時亦形成了和(1)同樣的結果，起初(1)(2)的爐底電極是和爐體互相絕緣着的，但以後如(3)般，將爐底電極接續到爐體的外鐵板上又將導電線之一端於熔鋼面以上接續到鋼板上這樣以後加熱亦均一了。電弧因成爲渦狀，故電極的消費亦爲均一，比之(1)(2)兩式據說能節¹⁰10%左右的電極。(參照第62圖)

因電弧全屬平行所以該爐以低壓作業之普通爲60~70 Volt，頂部電極爲炭素製，備有自動調整機，第62圖爲電路的實地構造(單相)，在自發電所的母線引入點處分成一組，各在和爐的傾動軸同高的地方以可撓性板接續在電極及爐體上，此接續點以下的三皮鋼板，因受到了同強度並且相反相乏的交流影響，故磁力作用互相抵消，隨之生於炭素電極周圍的回轉磁場頗被削弱而能使入物及爐壁的加熱均一化。

(參照第63圖)

三相爐的接續法極爲簡單，三個低電壓的相如第63圖般接成星狀(斯大)，各相之一端接向炭素電極而星狀接續點更接續到爐底電極上，三個電弧間的負荷成平衡，沒有流過爐底電極及返回路導線間的電流，電弧電壓約爲65 Volt。

2. 固龍姓爾式電氣爐 (Gronwall furnace)

此式爐備有一根上部電極與爐床電極，但其爐床電極是由炭素塊而成的，且因以鹽基性爐材覆蓋着，故沒有像基勞式爐那樣的危險，又因爲使用着特別的電極節約器故電極的消費量少，每噸鋼當量約爲7

左右，使用單相變壓器一個，弧光在二根 上部電極與一根 爐床電極中間無相互關係的發生着，所以即使其一方面的弧光消失而另方的弧光可以照常發生的，這是本爐的長所。

(參照第 64, 65, 66 圖)

此爐為二相二線，其共通歸線結於爐床電極上，另外之兩端結在上部電極的，爐床電極最初為中性極的作用，而其外場合皆為普通的歸極作用。

(參照第 67, 68 圖)

3. 克拉式電氣爐 (Keller furnace)

克拉爐為基勞爐的改良品，但爐床的構造不同，於金屬板上立有多數的鐵棒，其空間以氧化鎂與 tar 等的混合物搗固之，其特點如下：

- 1) 爐床的傳導率好 (因氧化鎂為高溫故會增加傳導率的)
- 2) 爐床不變形不裂
- 3) 電流的分布均一。
- 4) 爐床的壽命長。
- 5) 只要把爐床表面的薄層搗固了則可，故修理較易。

4. 賈破列得式電氣爐 (Unaplet furnace)

賈破列得爐是把基勞式簡單且堅固化了的東西，有一根電極 (炭素電極) 由爐蓋懸垂而下，又於側壁中豎有鋼棒電極，以鐵棒或是電纜將兩者連絡起來的。

(參照第 69 圖)

電流是由上部電極經過熔鋼中，更通過爐床下的鐵棒而至另外電極的。

5. 那斯狄斯式電氣爐 (Nathusius furnace)

本爐於爐蓋及爐底部各設有三根電極，熔鋼的溫度均一，爐上電極使之位於正三角形的頂點，爐床電極為鋼製和頂部電極相對立，為了盡量減少熱損失，爐體為圓形，其大小為 3, 3.5, 4.5, 6, 8, 10 及 12 噸等各種。

變壓器的中性點不結到一點上而是結到底部之三電極上的，故此爐中的電流分布得極其複雜，即除於頂部電極和底部電極間以及頂部電極相互間之外，底部電極相互間亦流有電流的。

(參照第 70, 71 圖)

6. 固力布斯埃爾式電氣爐 (Greaves Etchells furnace)

此爐三相之中二相接續到上部電極 (見第 7 3 圖), 外一相接續到爐床及大地上去。整個爐體形成一個大電爐的作用, 故此熱的分布極為良好, 本爐的電氣的及機械的能率很好, 操作亦簡單容易, 又能均一的加熱, 故熔解及精鍊作業的進行極為迅速, 普通使用 60—80V olt, 每噸鋼的電力消費量在 500kwh 以下。

其電氣的接線法如圖般, 三變壓器之一次方結成三角形, 二次方結成星狀 (斯大), 二爐蓋電極結到各變壓器的二次方, 而爐底則結到另一變壓器的二次方, 用斯大 (Star) 接續時為使各變壓器受到等負荷, 各端子間的電氣抵抗則必須相等, 但是實際上使爐底「塗裏」的抵抗和弧光的抵抗相等這是不可能的, 隨之其負荷亦不平衡, 此爐之接續到底部的變壓器, 不使之和外二個變壓器作成一樣, 而應將捲數比特殊些的, 現正在使二次方的構造特別化, 以求得負荷的均等比。

(參照第 7 3 圖)

7. 保斯。號爾式電氣爐 (Booth Ball furnace)



保斯。號爾爐備有補助電極與爐床上的鑄鋼製格子, 而使加熱作業良好化, 從 0.5 噸至 6 噸者為二相, 備有二根主電極與一根補助電極及二個鑄鋼製格子, 6 噸以上則用三相備有主電極三, 補助電極一, 與鑄鋼格子三個, 將共通線接續到「鑄鋼極」上開始作業, 待爐內有相當熱時, 補助電極便提昇起來代之以爐床電極, 其開始的時間 (鑄鋼電極實行預熱的時間) 冷爐的場合需 30—40 分, 熱爐的場合為 15 分左右, 爐的大小為 0.75—16 噸, 小型爐為圓形, 大爐為卵形, 構造既簡單又堅固, 爐蓋的壽命為 150—200 回。

8. 史奈大式電氣爐 (Snyder furnace)

史奈大爐是將基勞爐的爐蓋改良成能開閉式的東西, 可由上面入故其裝入時間以及勞力大可節約, 此爐又使用着高電壓及強電流, 故作業時間頗得縮短。

(參照第 7 3, 7 4 圖)

9. 古淋式電氣爐 (Green furnace)

古淋爐為圓筒形的爐體, 以水平軸支持着, 以備於爐後方的水壓筒回轉之, 爐蓋則用特別築造的古淋式雙弧型 ( 而不是  型)

爐蓋覆之，而爐蓋上備有一個以上的栓，將此除掉後即可行裝入及修理工作。淺弧型爐蓋的壽命長，電極排成一列，故熱的分布極好。

10. 比芝·佈爾固式電氣爐 (Bittsburg furnace)

比芝·佈爾固爐為三相，有三電極由上而下，對其每個上部電極各備有爐床電極，故電流的變動少，同時上部電極排成一列，因而熱的分布很均一，流出口設於兩側出鋼與出滓都很方便。

(參照第75圖)

第四節 誘導式電氣爐

1. 傑倫式電氣爐 (Kjellin furnace)

傑倫爐恰如坩堝法上應用着誘導電流而作業的東西，略述其構造於下，熔融室為環狀以蓋密閉之，內部中央有一種變壓器，外部以鐵板圍起來。

爐體皆以耐火磚築造之，爐床主要用鹽基性材料搗固，由於輪狀爐床中央的一種變壓器的誘導作用，向爐床中通電流，以其抵抗而生熱，變壓器的鐵心 (Core) 用紙絕緣，而將軟鐵板疊起，通空氣冷卻之，更用二重的黃銅製圓筒將變壓器圍起，圓筒中用水或空氣等冷卻之，第一回線，交流電流在流過線圈 (Coil) 時會感應線圈中的磁氣。

(參照第76圖)

操爐之先須充分加以乾燥，普通是把適當大的鐵環挿入爐床中，通上電流使之發熱再裝入冷材或熔材的，生鐵及屑鐵等不能直接加進去的。

同時誘導電流若過低時，因不會生出充分的弧光，故不會熔解的，熔解終了後雖可出鋼，但若欲連續操作時必須在出鋼之際微留熔鋼，使足夠維持其完全的回路為要，熔解時間須要6—8小時，此爐恰同坩堝的操作法，不受瓦斯及氧化等的作用，亦無化學作用，故須使用與坩堝法同性質的原材料。

一次電流的強度等於一次電流乘捲線數，小型爐如供給500—280 A的電流給線圈時，則能誘導出 ∇ ，2000 A的電流，有輪狀湯槽的爐中如須精鍊的材料過多時湯槽的切斷面則非常大，隨之其電氣抵

抗就小，即是電力率甚惡將給予發電所以極大麻煩的，欲改善電力率可將所用電源的周波數減小一些，而使二次的電氣抵抗大一些，所用周波數隨其裝入量而不同，但普通1.5噸爐為15周波，3噸爐為10周波，8噸爐則為5周波。

(參照第77圖)

2. 列西淋·老甸號查式電氣爐 (Roehlig Rodenhauser furnace)

此爐是老甸號查·蕭納娃兩氏1905在列西淋製鐵工場研究考案出來，而是將傑倫爐的缺點加以改善了的，傑倫不能大量操作，例如一回熔解三噸以上的時候湯槽的容積則大，結果電力率會降低的，同時又因為不能作出充分有流動性的鋼滓，以致脫磷，脫硫是不可能的，將傑倫爐的缺點加以改善者即為本爐，本爐的誘導溝有2—3個，使其各連通之，將其共通部分放寬些以便於精鍊，故裝入材料量比較多，其抵抗亦不像傑倫爐那樣小，然而中央湯槽的廣場比較其它部分的電流密度小，難以加熱，所以另外用一補助二次線輪，以此誘導之電流使之直接通到熔鋼內求得溫度的均一，且能防止其力率的低下。

(參照第78圖)

其主要的構造一如第79圖—81圖般，有一個一次線圈(H)，H線圈的周圍被盛裝入物的環狀溝C而圍繞，中央的共通部為寬廣的場所(D)，其斷面為∞字形裝以補助二次線的粗銅線，捲線(A)放到一次方(H)與B的中間，將B連結到廣場的兩端爐壁中的極板上，此極板為波形鑄鋼品，以氧化鎂或得勒密特(Dolomite)及tar的混合物覆蓋之，於常溫下此被覆為不良導體，但至高溫後則成為良導體了，加熱熱力之70%以直接誘導供給之所餘之30%由銅的二次線圈而供給之。

(參照第79, 80, 81圖)

有三個誘導溝的爐，如第83圖般，備有三個一次線圈形成T形，它較二個溝的加熱情況好一些，前者為單相交流，而此者為二相或三相交流。

本爐內裝入常溫的原料時因為抵抗大，故爐的電力率能保持極大的數目字(90%)然若用融液時則極為低下，只有50~60%，通常熔解冷材1噸所需電力為700Kwh，精鍊需要200Kwh，1.5噸的冷

材熔解和鍊一起共需要 3~5.5 小時。

(參照第 8 2 圖)

此爐在誘導爐當中雖為最好，但尚不能說是完善的，最重要的缺點還是因為受到磁界的作用運動極甚，因之爐裏極被侵蝕，故此在修理上頗費時間。一個不小心融液則會有侵入一次線圈內的危險。

3. 弗力克式電氣爐 (Erick furnace)

弗力克爐亦是將傑倫爐改良了的東西，其形狀同樣為環狀，只是一次線輪的設備不同，即是將捲成圓板狀的回線放到環狀溶解室上下各一個改善了回路的。

4. 西奧爾斯式電氣爐 (Liorth furnace)

西奧爾斯爐是將老甸號查爐(二相者)加以改善了的，爐下部與上部各備有四個一次線輪，結成串連，其上部的線圈能夠上下移動，在作業中使其接近溶解室的覆蓋，作業休止後則能提昇起來，而下部線圈則埋於爐床中。

(參照第 8 3 圖)

5. 葛下，噶拉梅克式電氣爐 (Gassius Jaramec furnace)

此爐亦是將傑倫爐加以改良了的東西。

6. 阿嫁克，魏阿特式電氣爐 (Ajax Wyatt furnace)

此爐是在變壓器的上方設有熔解室的直立爐。

(參照第 8 4、8 5、8 6、8 7 圖)

7. 傑尼拉，埃力克得力式電氣爐 (General Electric furnace)

此爐是北美這樣代表的誘導爐，參照第 8 5 圖，爐體為圓形第一次線圈全部設於湯槽上部，這樣可以防止爐的破損，第 8 6 圖是 6 噸爐用重量為 85 噸之變壓器的外觀，8 7 圖為湯槽的切斷面。

8. 高周波誘導電氣爐 (High frequency Induction furnace)

高周波電氣爐在鐵以外的金屬熔解上其性能已被證明了，但用來鍊鋼尚為最近的事，1916 年美國的 Edwin. W. Northrup 氏初次考

案並造成此爐，呼之爲 Ajax Northrup 爐，此爐的原理，將高周波流入一次線圈。即爐的線輪內時，其內部則成爲變換磁界。此磁界內若放置放導電性的物質時如 89 圖會生出由於導磁作用的渦電流，此電流對物體會生起急激且高率的熱作用。而進行熔解裝入材料的。在這個場合和低周波相反，它的第一次線圈又有二次線圈的作用，湯槽如變壓器的心鐵殼，以鐵製環子連結之，88 圖及 89 圖爲此關係的說明圖，由此可以知道高周波爐主要是由於一次線圈而成的，因爲最近又出現了利用低周波的電氣而有同於作用的爐子，所以將本爐總稱之爲無心鐵誘導電氣爐 (Coreless Induction furnace) 高周波。(參照第 88, 90, 89 圖)

此爐的構造如第 91 圖般，一次線圈即爐線輪是將銅管——內部能通過冷卻水——捲成螺旋狀的，而塗有耐火材料的四圍中間插進坩堝，銅管內部的云母爲電氣絕緣物，耐火材料爲硅砂，鉻鐵礦及氧化鎂等，這是預防坩堝萬一破損，熔解物洩漏時的最後防綫，有的不用坩堝而只像普通電氣爐那樣將前述的耐火材料充分的燒結起來，使爲鹽基性或酸性而操業的。

第 92 圖爲此爐的電氣接線圖，220 的電流以變壓器提昇到 6600，而此高壓的電氣，如第 92 圖般，被送到有着火花間隙 G (使用水銀)，蓄電器 C 及加熱線圈 L 的三個振動的電路上，更簡單的將其原理說明之：高壓電氣，在達到某一個電位中間雖能被蓄於蓄電器中，但超過其電位以上時，火花間隙便破斷而放電，此時由於此回路的定數而生起一定的電氣振動，於是此高周波的電流若流過線圈時，其內部則會生起很急烈的磁界變化，故此線圈中間若放入電氣良導體時，馬上會誘起渦電流而被加熱的，前面所謂回路的定數者是有關於其電氣抵抗，蓄電器的容量以及自己誘導係數的，今電氣抵抗爲 R，容量爲 C，自己誘導係數爲 L 的話，發生於回路上的電氣振動的周波數如下式，其周波數越大溫度的上昇越快，但普通爲 15000 ~ 20000 周波左右。

(參照第 91, 93, 92 圖)

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{CL} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2} \quad \text{但是 } R^2 < 4 \frac{L}{C}$$

因爲電氣抵抗一般很小所以也可以換成次式，

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

根據這個式子若能適當的規定出 L 、 C ，則所求周波數的振動即可得之，第 9 4 圖為 Ajax Northrup 爐的外觀，除加熱線圈以外的裝置，皆容於鐵網的籠中，特將這個接地放着以防由高壓的危險，變壓器用空氣冷卻之，放於鐵網之下部，高壓方的接續端子從這裏出來，間夾着水銀的火花間隙直到蓄電器。火花間隙是在水銀壺的上部垂有炭素或銅等製之二個極與水銀之間發生火花的，水銀的水平面由於附屬的一個器具而可以任意調節的，極與水銀間的距離越大越能以大的電壓發生火花，因之被送到振動回路內的電力亦漸增加。隨着火花的發生水銀漸會被氧化致而發生各種故障，故須每分鐘使之滴下 15 滴酒精以防止其氧化，水銀壺中的水銀面由於另外的一個水銀容器 θ 之上下而可以適當增減的，近來又使用（如第 9 6 圖般）送氫氣的裝置，代替了酒精的防氧化法。

（參照第 9 4、9 5 圖）

蓄電器為雲母製，全容量有 0.24 瓩（百萬分之一法拉特），加熱線圈為銅管製以水冷卻之，向其中的石英管中放入盛試料的坩堝。

坩堝耐火粘土製或黑鉛製者皆可使用，但是如為了防止够的混入可用耐火粘土製的坩堝。

使用高周波誘導電氣爐來煉銅最感困難的一點是爐裏的問題，如用粘土及黑鉛坩堝時只能熔解 15—20 回，最近有的文獻上說氧化鎂坩堝如能良好修理使用，能有 300 回的壽命。也可不用坩堝而用鋼製導體的型板作成爐底的形狀，更以乾燥良好的耐火物覆蓋之，然後向誘導線圈內通過電流時型板會被加熱，終至熔解，耐火材料本身亦成爲半熔融狀態，而被燒結，於是則能得到如爐底形狀的坩堝。

（參照第 9 6 圖）

酸性裝置在 Bochum 市使用 Pfalz 洲產的粘着砂，其成分爲 89 SiO_2 ，0.5% CaO ，7% Al_2O_3 ，1% MgO 及 3% FeO 等，硅酸與粘土的比率，像型砂般，粘土分不得過多，因爲假使過的時候坩堝的收縮較大，容易生成裂紋就不會乾燥得很好如能接上記比率來配合時，最初先用來熔解鑄鐵這樣則能燒結得極好，據說能有相當的壽命，第 9 5 圖為 Ajax, No. thrup 式芝浦製高周波電氣爐的 35K7A

變壓器與25號甲塢的落下線輪式電氣爐，這個爐能將30K的黃銅以冷卻狀態開始在1小時內熔解了。第96圖為55KVA變流裝置的外觀，第97圖則是指示着其內部關係的。此周波數為500~50000周波，向放電間隙通上氫氣瓦斯，而使火花易於通過，同時又能使其靜電放電的。

特將爐的大小與爐的特性示於第53表上。

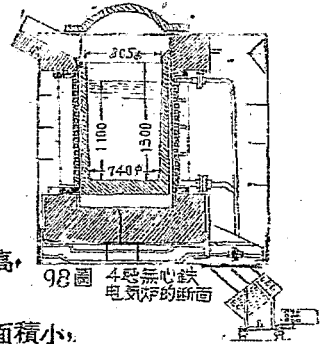
(參照第97圖)

第53表 熔解特性表

(後面)

今將高周波誘導電氣爐，於工業化煉鋼作業上的利點列記二，三於下。

- 1). 熔解槽會激被攪拌，
- 2). 溫度調整容易，
- 3). 所製鋼的性質良好，
- 4). 金屬的損失少，
- 5). 永能獲得一定的組成，
- 6). 能够防止碳不使混入鋼中，
- 7). 於短時間內能使爐溫提昇得頗高，
- 8). 不受有害瓦斯的影響，
- 9). 此爐比其它爐所占之熔解工場面積小，

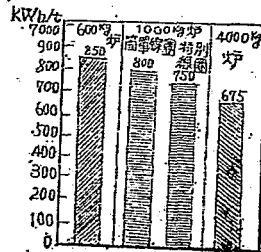


10). 易保持工場內的清潔，

(參照第99圖)

500Kg以下容量的高周波電氣爐，已榮獲優秀的成績，已確實的發揮了其實用價值，但是此容量以上的爐子尚在試驗中，不過據說德國早已有1~4噸的爐子工業化了，從一向的經驗來說，比較大一點的爐之設立早已啓示我們是可能的了。在德國當製作4噸爐的時候已確知使用500周波是適於目的，以這個周波原有的蓄電器亦能用於大形爐上，同時就是原有的爐子亦可用新設的機械操作之。全部需要時間爲了爭取2小時以內熔解，據說特設1250KW的發電機。

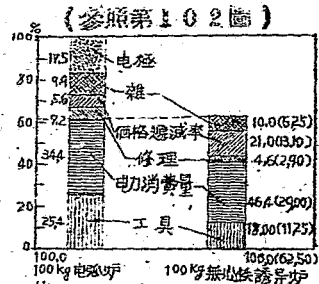
(參照第100圖)



第100圖

無心鉄誘導電氣炉之平均電力消耗量之比較圖

各種爐的平均電力消費量對工業家是極重要的資料，故於第101圖上特示其比較圖，從此看起爐子若大，此種無心鐵的誘導電氣爐正和其電氣爐的場合相同其電力消費量的減少是很明顯的。舉於此圖中的結果是從熔解至出鋼間的電力消費量，而所裝入的材料完全是普通品，並沒經過什麼特別的選擇。



第103圖 熔解原鋼比較

細看4噸爐與1噸爐兩者間的熱計算比較，可供我們參考的地方頗多，於此最值得注意的是大形爐的總作用度為68.9%，而1噸只為62.7%，有利的作用度則為變壓器損失的減少，變壓器損失在250KW發電機の場合僅不過16%而已，過去的300KW發電機為24.4%，Case(外皮)損失及滲水損失等大型爐為小，可是線圈的損失在這個場合是更大的，從經驗上來看大型爐的總作用度可能還會增大的。

最後的一個問題尚沒有談到的是經濟方面的價值問題，一般人對此無心鐵誘導電氣爐，普遍的認為是一個極貴的熔解裝置，可是我們現在不妨將長時間相互使用着的1噸弧光式爐與1噸無心鐵誘導電氣爐的成績比較一下，正像第103圖般，在兩種成本相比當中已把絕對的數目字除除了，這是因為絕對的數目字(經費)是根據每個經營方式各不相同的關係。此兩者間的比較是將弧光式電氣爐的成本作為100%和無心鐵誘導電氣爐的成本進行比較的，這樣同為1噸爐時後者的原價值為62%。

當然在新設無心鐵誘導電氣爐上所產生的一些特殊困難或事故等，並沒列入此比較以內，後者所以比前者的成本低，只是在於無心鐵誘導電氣爐不用電極同時操作簡單，能率大更因為熔解工的費用少等，結果非常經濟，後者又沒有頗高貴的爐蓋損失，因此設備費亦得以減輕，以上是在Bochum市實行的研究成績，又發表過說：大形的無心鐵誘導爐在冶金學方面也好，經濟方面也好，都是很有利的，特別在鋁銅的製造上，可說除此爐以外其它者是絕對不可能的。

最近在三菱電機株式會社神戶製作所，對低周波（60周波）的無心鐵誘導電氣爐試造已得成功；據說價值只為高周波電氣爐之一半；著者也曾參加其試驗熔解，鋁及鋼的合金不數分即可熔解，並得到優良的製品。但鐵鋼的熔解尚不確知，是為今後的問題，著者迫切希望其成功的為期不遠。

第八章 弧光式電氣爐詳細構造

The Constructional detail of Electric arc

第一節 爐 體 furnace

The Furnace body.

爐形一般為圓筒形，但亦稀有橢圓形或四角形等，爐體以鋼板造之，底部用鋼板造成平面或微圓形，用堅牢的20mm以上厚的鋼板，以鉚釘鉚起來使用之，或是熔接造成之。材料的裝入口及出鋼口等須用鑄鋼製的框子架起使之堅固些，此框同時又能防止爐體的變形成為一種增強材，更大的爐子，可以適當的增強用型鋼按在外板上使堅固化增強其對高熱變形的抵抗，若不將這些地方注意得更周到，以後由於耐火磚的膨脹，電極重量局部的灼熱或類似的情況則會蒙受到嚴重的故障。

爐的外鋼板以及爐蓋的大鋼圈等，不僅能使爐體保持平正，亦不能由於爐體的歪斜致使爐門打不開，電極把持器與爐蓋的電極穴等，在一定的位下，又必須正確的為垂直，如果電極碰上爐蓋的話電極則易破壞，也許整個爐蓋被碰壞了。

於爐的外板（Shell）及底板（Bottom Plate）上須穿許多20mm以上的小孔，在乾燥新爐的時候用以使水分或tar蒸氣易逃散的。

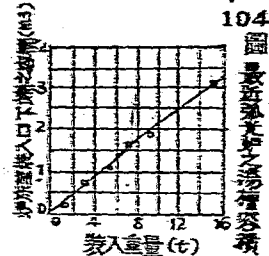
關於各部份的詳細地方，由次節起順序的述說下去，於此更把著者認為最適當的爐體標準尺寸特表記之於下。

第二節 熔解室的寸法

The Dimension of Melting room

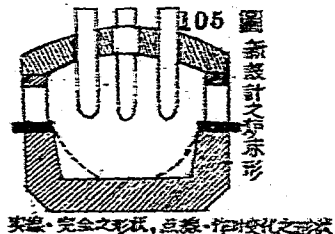
熔解室：即爐床到裝入口下面中間的容積，是根據爐的形狀及大小而裝入適當量的裝入物的地方，大體像104圖的曲線所示那樣，本計算是將鋼滓量以5%，比重為2.5，熔鋼佔全體的80%而計算的。舉個例子，6噸鐵水其容積為1.10m，可是此容積如從理論的計算上講，相等于8.5噸鋼的容積，但是在實際不斷作業的當中，想永久維持此理想的爐床形狀是困難的，而總會逐漸變化的，在修理鋼滓面的時候氧化鎂或得勒密特等被投入後落積于爐床上成為如第105圖之點線般的形狀，容積漸小，終於成花盆狀。

鐵液槽的深度，即從裝入口下端到爐床最深部的距離，如第106圖般，1-15噸爐大體為250~550mm，根



104圖

量取弧光之熔渣容積

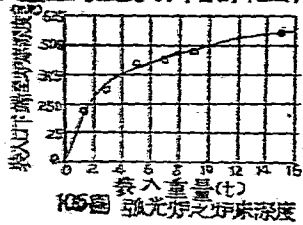


105圖

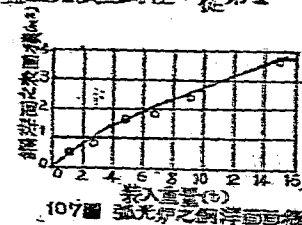
新設計之熔床形 實際完全之形狀，點線-作變化之形狀

據上述的容積與深度關係上能得到如第107圖般的爐床面積，此面積在電極的特性及爐蓋的強度等所容許範圍內盡量寬廣些為佳，從第107圖的面積

上如果爐床為圓形的話，其直徑則如第108圖般。

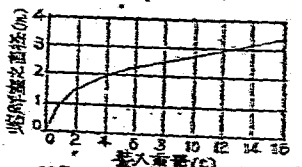


106圖 弧光熔之熔床深度



107圖 弧光熔之鋼液面積

鐵液槽的深度如果深，裝入物多能在電弧下，直接受熱所以裝入物的熔解會快，但如過深反而會慢，過深時電極勢必降到側壁的近處，這樣能侵蝕側壁，同時爐底亦易陷于低熱所以



108圖 圓形熔之裝入物的直徑

在實際作業上比較困難的，甚至於有時因為電弧不能涉及到下部，致而底部凝固。如果是基勞式電爐，另外有爐床電極的話尚且無關，不然特別是在操作中向爐內投入熔點較高的合金材料時，就會沉於爐底不能良好熔解，故此臨路式爐的爐底過深是值得考慮的。從冶金學的立場上看，精鍊本來主要是在熔鋼和熔滓間以化學反應而進行的，所以如不使液面相當寬廣，精鍊是不會進行得很迅速的，故此爐床寧寬勿深是要。

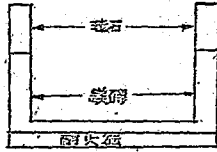
同時如過淺——面積亦隨之寬——熱的分布不好，中心部雖熔解得很快，但是邊部則難熔，即使熔解熱度亦難得升高，過去會有一個時期為了要迅速的達到熔解目的，特增高電壓，又將熔解室作得寬而淺，但是正像以上所說那樣，因為熱的分布不好，又有時會將爐床燒壞等不利，結果並沒能達到迅速熔解的目的，製造普通的鋁鑄物不須要極力精鍊的場合熔鋼是可以深些而成為花盆狀的，但是在製造優秀鋼時，須使熱能夠充分平均，深度要適當，即使費時間長些，亦該緩慢作業之。

爐的容積即裝入口下面到爐蓋中間越低，熱效率越好，可是太低則裝不了許多材料，裝入口為125mm厚的拱門，裝入口下面到爐蓋距離2~5噸爐的場合為400~700mm，6~9噸爐為500~900mm，10~16噸的場合為600~1000mm，這個距離對爐蓋的壽命與熱效率等問題是大有影響的，其所謂影響，即爐蓋低則局部的加熱大隨之爐蓋的壽命短，如爐蓋高，電弧熱則不能直接射到爐蓋故壽命則長，但若過高爐體的表面積就隨之增大，這樣熱的放散亦大，會損失更多的電力。

第三節 耐火性的爐裏 The Refractory lining,

鹽基性電氣爐的爐裏，應該照第109圖或110圖那樣來作，爐床上主要用得勒密特或氧化鎂，酸性爐可用銀砂（硅石砂之最良品），爐床上須要亭先砌上磚，然後以粒狀的耐火材料塗上一層裏子搗固之後燒結之，爐床的厚度，正像第111圖那樣，2噸爐的場合約用400mm，12噸爐的場合約用600mm，若為鹽基性爐的話，底部最小要砌

上65mm厚的耐火磚，磚上更積氧化鎂磚，最上面再用 tar 苦灰或 tar 氧化鎂（苦灰或氧化鎂用 tar 攪合者）實行搗固之。

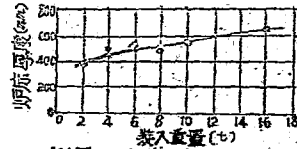


109圖 炉床及側壁部的塗法



110圖 炉床及側壁部的塗法

爐床作好後，再疊爐壁，爐壁可以吊磚疊成之，亦可以和爐床相同，實行搗固法，壁厚要根據爐體大小，按第111圖般為適當，從爐蓋到爐床間的爐壁須使之稍有傾斜，否則直立者是難以搗固的，同時亦難以修理，爐床及爐壁的厚度問題主要按其作業方式而有所不同，即不連續操作時爐壁厚些為宜，蓋因能使爐表層溫度的放散損失極為之減少的關係，但亦不盡然，譬喻作鋼鑄物的爐子有的時候一天只操作一二次，其後一直休息好多天，爐溫極冷，此時重行熔解時為了加熱很厚的爐壁而費掉的熱損失如和表面溫度的放散對比起來，也決不在少數，更具體些說5噸的鹽基性爐其壁為330~450mm厚，爐床為660mm，爐蓋厚為220mm，該爐經過了18小時的休息後，再度加熱到作業溫度時實際上須要約550KW的電力，由此觀之，間斷作業的場合比較連續作業是要浪費許多電力的。



111圖 强光灯炉床的平均厚度

爐壁的構築材料一般勿論酸性爐或鹽基性爐，鋼滓面以上120mm的部份應使用硅石磚，鹽基性爐上倘用酸性材料為爐裏時，會被石灰質所侵蝕，磚本身會減耗而流落，隨之則會破壞了鹽基性的鋼滓，便不能順利的繼續操作下去，特別是製造高級鋼材的時候，需要長時間在高熱下操作，這時若使用異性爐材時在整個的操作上，是會招到嚴重的不利的，單為鋼鑄物爐的話，因為所要溫度低操作時間亦較短，故用較便宜的硅石磚代之尚可，但若為高級鋼用爐的話，不論是爐蓋或其它部份都應該用鹽基性材料的，在歐洲大陸有的使用着Badex磚（前既出），可是日本却沒有這種材料，所以只得在側壁部使用氧化鎂的鐵管子，如想更作得完全一些的話，爐側部分亦應該和爐

床相同，實行搗固的，有些地方在壁部氧化鎂磚與硅石磚中間使用着銻磚，但銻銻會還元而進入鋼中，故最近已不用了。

爐裏的強度問題（壽命問題）主要看作業方法之得當與否而定，如果時常注意加意修理的話，能使用得很長，又須利用換爐蓋的時候或是星期日等的機會修理鋼滓面附近，爐裏如果構造得很完善同時又能不斷的進行修理時可以無限制的使用下去，爐側上部——即使外觀上還好——年中一二次須要將其100~200mm的部份鏟掉重行搗固為佳，如為有爐床電極的爐子，為了保持其爐床的堅固，應提早修理是必要的，許多弧光爐的壽命如下：

| | |
|-------|---------|
| 得勒密特壁 | 約 75 回 |
| 及 爐床 | 及 400 及 |
| 氧化鎂壁 | 及 140 及 |
| 及 爐床 | 及 650 及 |

常見有用得勒密特加藍青混合起來作為爐材的，此為古英國式的方法但壽命是不長的，製造一些莫關重要的東西用之尚可，高級品製造爐是絕對不能採用的。

氧化鎂爐裏的壽命為得勒密特爐裏的一倍，築造和修理在一起，其消費量每噸如下：

氧化鎂爐的場合鋼1噸為17Kg，得勒密特爐的場合為50Kg，氧化鎂如果單說是有耐火力，不如說是在各方面都是有利的，1噸鋼之爐裏費用究竟氧化鎂與得勒密特那個有利，這尚要受當地的情況而支配的，日本一般都用氧化鎂而不用得勒密特。

爐裏的種類，厚度及壽命等的檢討，只就得勒密特及氧化鎂的場合談述之，酸性爐的場合留待以後再談。

築造得勒密特爐裏的場合，起碼須將得勒密特破碎至大豆大，充分的篩除細粉不使風化那樣使用之，得勒密特須同8%重量之無水分的所謂製鋼用tar混合之，混合之際在大煉鋼工場內有的用磨粉機，但電氣爐用的場合機械混合等事很少，欲以良好方法求得完全的混合物，可按次記辦法製造之，將盛tar的容器以弱火加熱到100°C左右，此時tar將會成為流動體，又能使水分逃散，此時得勒密特可置於薄鐵板上，下面用木炭或瓦斯等燃料很簡單的加熱到60°C附近，得勒密特與tar兩者以均一的比數混合之，更使至適當的溫

度，如 tar 量適當成完全的混合物後則呈深暗褐色，無 tar 的光澤，切記勿使過度高溫，因 tar 會燃燒炭化而失掉 tar 本性。

在向爐中塗抹此混合物之先，爐床的耐火磚上先塗抹 tar，然後再撒混合物於其上，塗成約 80mm 層，搗固操作須用 5 氣壓的空氣壓縮機為之，搗固器的先端予先赤熱之，直繼續搗固使層充分堅固，如用 tar 過多，在搗固時極軟，成粥狀，結果飛散各處難以牢固，tar 量少亦難能牢固，一搗則成碎粉，當行搗固之際須將表層全部取出後，再用混合物操作之，表層必須除得乾淨，兩者（氧化鎂，得勒密特）皆然。

用 tar 氧化鎂混合物搗固的方法和用 tar 得勒密特同，只是 tar 的使用量比前者微多，tar 對氧化鎂量不為 8 而為 10~12%，氧化鎂爐最上部的爐床起碼須搗成 200mm 厚，Barton 氏稱 爐床材料內以 1:12，甚至 1:6 之比，加入鹽基性平爐鋼滓（粘結劑）結果頗好，但如果這樣的話因有的耐火性亦為之減少了，所以是值得考慮的，鑄物用的爐裏上用之尚可——也許是有利的——但高級鋼塊的製造爐上應該絕對的禁用，同時粉狀氧化鎂亦須禁用，10mm 大的粒狀氧化鎂強行搗固結果最好。

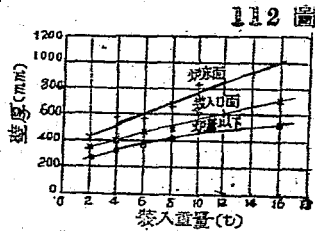
搗固作業進行到爐床面附近時，爐中放入適于熔解室形狀的薄鐵板搗固之，外板與鐵板中間，即壁部也以爐床同樣的方法充分搗固之，爐口的隔板亦用氧化鎂磚，得勒密特爐亦然，爐體外板的內面貼上石棉或斷熱磚，給予氧化鎂以膨脹的空間。

爐床搗固所要的時間：晝夜不息的操作，3 噸爐要二天，15 噸要四天，需要材料，3 噸爐的場合氧化鎂 2 噸，tar 60 立，15 噸爐氧化鎂 10 噸，tar 300 立，而爐壁搗固所要時間及需要材料，3 噸爐的場合要三天，氧化鎂 2 噸，tar 60 立，15 噸爐的場合要五天，氧化鎂 10 噸，tar 300 立，用氧化鎂搗固的爐壁，堅固是很堅固的，但是操作極費時間，所以有的地方使用鐵管氧化鎂代替之，鐵管氧化鎂可以利用工作之暇作出一些準備着，使用時以極短時間即可。

裝入口及出鋼口如用氧化鎂磚好是很好，但只是易於剝落，所以歐洲各地使用着 Radex 磚，鋼滓面以上的部分與鋼滓面以下的部分各用 Cornhartwhite 與 Cornhartblack，著者對此兩種磚的使用

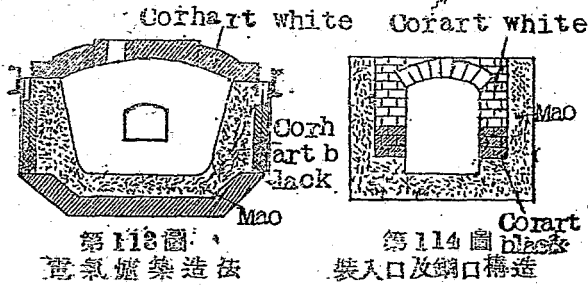
會獲得極良好的結果。

爐壁築造完畢後於最上上層壘起 Corhart 磚二層，將爐蓋放到此上，爐蓋如為 Corhart 或鹽基性材料的時候是無防的，但如為酸性材料時爐蓋流落而侵害搗固了的爐壁，故最上部有用中性磚或鹽基性磚的必要。



以上這些工程完畢後，只剩乾燥與燒結的工作了，乾燥時先放入木材極緩慢的乾燥一天半，於 500~600 °C 的溫度下只除却其水分，然後再加該炭進行乾燥之，該炭可用電流來點火，電流僅止於點火，並不是全部用電氣來進行乾燥的，通電約及 5~15 分鐘後，該炭燃燒時斷其電

流放置 1 小時左右，這樣通電停放繼續一天半，最後通上長時間



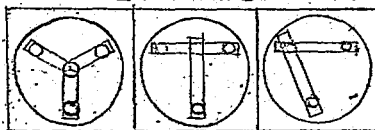
第 113 圖：電氣爐築造法

第 114 圖：裝入口及鋼口構造

的強電流使其昇至 1200 °C 左右，該炭的加熱時間，根據 MgO 層厚而不同，大體上 24~48 小時為適當，乾燥完後因 tar 層會不斷的發生 tar 蒸氣，損害鋼質，故初次的熔解應該用碳略高的材料緩慢的操作，爐床面上應將鹽基性鋼滓與糖蜜或者 tar 混合起來撒布之。

另外 Barton 氏極力推獎用電極來燒結，但是我認為以前的方法是最確實而有效的，茲略述其要以資參考，將補助電極根據裝入口的形狀，像第 115 圖那樣，配置得距爐床磚上之搗固層 5~6 吋高，向這上面通上電流提昇熱度，其上更放上氧化鎂與鋼滓的混合物 (6:1)

115 圖：爐床燒結用電極配置圖



(A)小爐用 (B)大爐用 (C)強行燒結時

加熱之，待這些充分燒結後更加材料加熱之以至完成。直到爐床達到所望的程度，須將電極片數次取出再放入之。重複操作，燒結500mm厚的爐床約用48~60小時，第一次的熔解，在使爐床良好化的目的下，熔解鋼屑與生鐵的合成生鐵為佳。

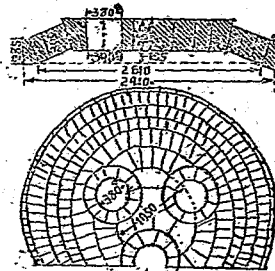
第四節 爐 蓋 The Roof

爐蓋為弧光電氣爐中最重要的部分，所以在不防碍操作的條件下，能隨時更換那樣為要。一般是由鋼鑄物或鐵板而成的鐵圈內砌滿耐火磚而成的。此鐵圈上須備有耳環，準備在必要換爐蓋時，掛鎖鑰子用的。普通爐的磚層與爐蓋之間須留出60mm厚的中間層，鹽基性爐的話此中間層上填之以氧化炭粉，酸性爐的場合放上硅石粉。另外爐蓋必須用掛鉤或用鉤釘綁在爐體的外板上，以防爐體傾斜時爐蓋滑落。第116圖是一個連爐蓋一起支起的小型弧光爐。此種形狀者在爐體修理及裝入操作等時都是很便利的。

(參照第116圖)

爐蓋構築材料差不多只用硅石磚，其它材料很少用的，最近稍見有使用Carhart磚的，這是一種極能合理操作的材料，有普通者二倍以上的壽命，爐蓋用磚全為異形磚(117圖參照)在築造作業迅速化方面上看，使用大磚雖快且便宜，但是過大的磚還是不用的好，用大型磚造成幾次都完全一樣，的爐蓋，是較比困難的，同時大型磚又不能均一的燒到中心部，於是此部分的膨脹則會使蓋磚破損了的，磚長等於爐蓋厚度，約為200~300mm，蓋縫大體皆用硅石Mortar(膠泥)：如為Carhart磚時須用同質的膠泥。形狀充分正確的磚，可以不生成不利的裂紋而能繼合起來。

第117圖 爐 蓋 磚



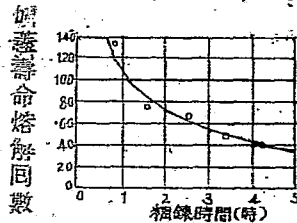
硅磚在受熱時長度能膨脹 2.5%，所以如不給予適當的空間，膨脹壓力會擠碎了磚的。故當砌磚的時候各接縫處預上 1 mm 厚的木片。以後自會燃燒而留以自由膨脹的餘地。以同樣的目的各層之間亦可以插入些薄的馬糞紙，爐蓋的鐵圈中亦要留出膨脹的空間。爐蓋的鐵圈子分為三塊，爐蓋開始膨脹後木片或馬糞紙等燃燒了能適當的調節磚的膨脹。

爐蓋磚時可於木型上操作之電極穴的位置須要充分正確些，不然當電極昇降時會碰到磚上則易拆斷。電極穴與電極間的空餘須要正確的一黑鉛電極的場合—留出 10—20 mm。炭素電極的話，因多屬不很正確故須留出 25—30 mm；電極穴的下部須格外放寬 10—20 mm。這樣已砌成的爐蓋可以毫無困難的從型上拿下來。

電極穴的周圍多有用特別的圓狀磚壘成的，這樣在圓狀磚破損了的時候，能夠很快的把它除掉，於熔解的中止時間內即時可以換上新的。

爐蓋的壽命問題，鹽基性爐，製造特殊鋼的場合能作 60—80 次，鑄物的場合因為精鍊時間短一些，故為 50—140 次，第 118 圖為硅石爐蓋在冷材場合的平均壽命，鹽基性熔解法由於精鍊時間的長短關係略微不同。爐蓋硅磚的消費量，每噸鋼為 10—40 Kg。酸性爐的場合因不受石灰的影響，故有二倍的壽命，Oerhart 磚，在鹽基性爐上有硅磚二倍以上的壽命，但就著者的經驗來說，鑄物與特殊鋼操作各半的時候壽命為 150—200 回，經費雖較貴些（二倍）但是需要的修理回數及故障等少，結局是有利的。

已經很薄了的爐蓋，用吹風機等類的冷却裝置強行使用，或以其它的手段冷却之企圖拖延爐蓋的更換時間這是極不經濟的，這樣因為熱的放散很甚，電力之消費量很多，熱力的損失是很大的，即使略微節約了一點硅石，結局是不利的。

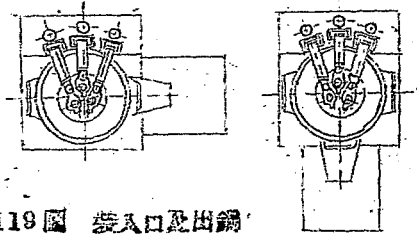


第五節 裝入口及出鋼口

The Charging door and Taphole

爲要裝入材料，檢查爐體及監視熔鍊作業等於爐壁處必須設一裝入口，至於設幾個多大？及如何配置等問題，原則上有第119圖般的二種方法，第一種場合出鋼口和裝入口佔着相對的位置，電極支持柱恰位于和裝入口與出鋼口形成 90° 的位置，所以應該設於和變壓器成 90° 的位置，即電極支持柱這面，第二種場合，出鋼口設於對着導電裝置的一面，而側面的一個裝入口互相對立着，與出鋼口及電極支持柱成爲 90° 度。

此二式各有其利與不利，出鋼口與裝入口位於反對方向的比較簡單，以次記的方法很容易裝入，此時的裝入口亦可以供出滓之用，所以爐體形成能向後面傾斜，二側面有着相



第119圖 裝入口及出鋼口之配置圖

對裝入口的，修理時簡便，熔解作業亦較便利，同時人力裝入很迅速，有的時候可以將合金鐵放到裝入口上面實行予熱，過去有一個時期從熱效率的打算上，有過減少裝入口的傾向，但大型爐從各方面來看這樣是不可以的，就連小型爐在製造特殊鋼的場合，絕對須要設成二個口（採取直角或兩側連同出鋼口共設三個口）這樣可以從各面進行充分的攪拌並不斷的進行檢查。

爐門是以稻字鐵製或鑄鋼製的框子內用硅石磚壘成的，小型爐的場合此爐門，用鐵錘滑於橫杆上，以人力開閉之，而大型爐則有用電力或水力的一種，特別是用電力的較好些，又爲了在必要時能夠迅速且容易的拿下爐口故於鐵門框上按一鐵環，得以掛上鉤把爐門提昇起來，更爲了操業中不使熱放散，門扉上面適當的設一擋住門扉不使離縫的裝置，務使爐口完全密閉爲要。

在裝入口部，固着於爐體外板上之長方形的鑄鋼製框子上應設有如第120圖般，承受出滓棒及鐵鉤子的裝置，操作床以上至裝入口下端的高度，爲熔解師立着以適當姿勢能操作那樣的高度即可，即操作者身長之 $\frac{1}{2}$ 以下，日本人的場合600mm 上下爲適當。

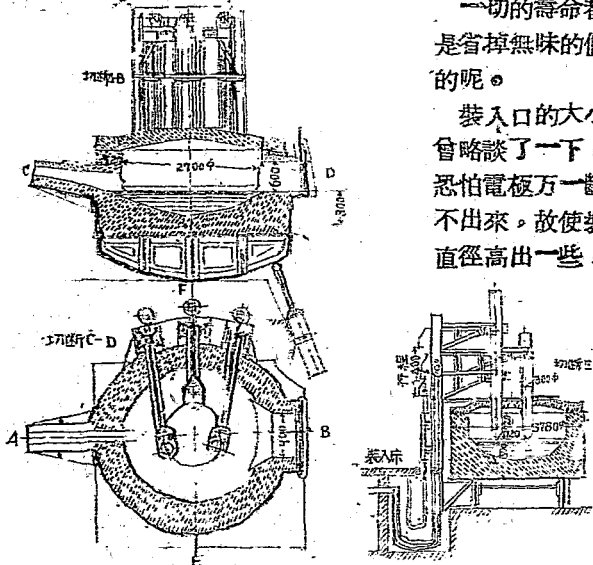
爐門在熔解作業中因要時常開動，同時生成了鋼滓以後又要受火焰的燻燎故此耐久力必須要大，因之一般的爐門部份須用水冷却之，有

人說：如用水冷卻的話，被奪掉了的熱力損失比節約修理事業還要大。但是水冷卻的結果確是良好的。值及傾動裝置（8噸 Brown-Boveri 式 弧光爐）。

勿論爐門或裝入口的磚等其一切的壽命都會長，何況只是省掉無味的修理也是很有利的呢。

裝入口的大小問題，前面也會略談了一下，在過去主要是恐怕電極萬一斷落於爐內時拿不出來，故使裝入口略比電極直徑高出一些，但是今日已不再像過去那樣使用着很粗的炭素電極，差不多都用直徑較小的黑鉛電極，所以對爐門和電極間的關係，

已勿須再作任何考慮了。應該根據爐體的大小加以規定的，更由於使用屑鐵之比率亦有不同，只有一個裝入口的爐子，其口寬及高度如下：



第120圖 裝入口，出鋼口電極支持裝置及傾動裝置

| | |
|--------|----------------|
| 3~5噸爐 | 480 × 360 (mm) |
| 5~7噸 | 750 × 480 |
| 7~10噸 | 850 × 520 |
| 10~15噸 | 920 × 620 |

有二個裝入口的爐，其口大小如下：

| | |
|--------|----------------|
| 3~5噸爐 | 480 × 360 (mm) |
| 5~7噸 | 520 × 480 |
| 7~10噸 | 600 × 520 |
| 10~15噸 | 800 × 620 |

出鋼口形成平爐式的出鋼孔或扉式出鋼口的構造，出鋼孔像第 120 圖般直徑約為 100mm，熔解中以得勒密特或氧化鎂閉塞之；扉狀的出鋼口和裝入口同高，寬為其 $\frac{1}{2} \sim \frac{2}{3}$ ，而此式的出鋼口和裝入口一樣，也設有扉門可供出滓之用，扉式出鋼口較出鋼孔使用者多，在出鋼的時候出鋼孔能使熔鋼和熔滓分離開，在這一點上是有其價值的，此項評論容後再談。

用燒成粉磚而疊起的出鋼湯道，在出鋼的時候，有適當調節出鋼口與盛鋼筒間之距離作用，故須設計得使爐內鐵液能夠傾注無遺，同時爐體後面的電極支持等也不要阻礙了吊盛鋼筒的鐵繩子或掛鉤等為要。

電氣爐在今日一般都設有可以傾斜的裝置，其傾動方法用水壓或用電動機，兩者皆可，如果工場內有水壓的話利用水壓既簡單又圓滑，爐的傾斜角度，向前為 35—50 度，向後即裝入口面為 10—20 度。

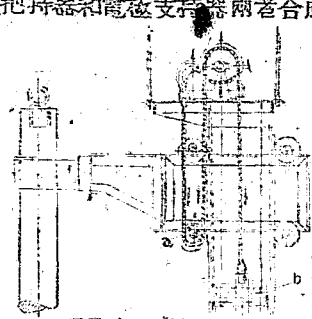
按裝爐體時將固着於爐體底部的二扉形台架放置於帶齒的底台上，用以支住爐體，扉形台架以鑄鋼製或用鉚合的鍛鋼作成之，爐體傾斜時，只是沿着此帶齒的軌道來回傾斜的，出鋼時只使其作下降運動即可，所以根據此運動，台架的灣曲度是可以決定出來的，傾時為了不使爐體滑落，須使台架與平軌的二齒形相互交錯起來為要，爐體兩側的把手可支於台架上，恰成為搖籃般的形狀，於今日這些僅用於小型爐而已，這種按設法，對重者是不安定的，因傾斜後須要莫大的力量來支持它，又如前述般於爐體側部有傾動裝置的爐子，由於其齒車心棒的關係而會使爐體歪扭，所以除小爐外是不適用的。

第六節 電極保持裝置

The Electrode holder

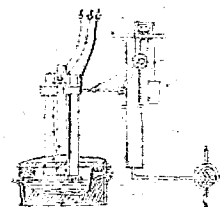
電極保持裝置有二種，即固定於爐體上的和同爐體分開設備着的，前者是將幾個支柱按置在爐體的側部，以電動機借鐵纜及車輪的幫助使電極昇降的（121圖），或者用水壓 Piston 使之上下的（122圖），支柱支臂以及電極的重量等由爐底板來負荷，小型爐的場合屢見使用灣曲支柱（按設於爐體的外板上）此物在大型爐上所以不採用的理由如下：即用大型爐的場合，它的重量頗重，更由於爐熱會使固定的灣曲支柱過度的灣曲，又會將爐體的外板凸起來的關係，按裝在爐床鐵板上的支柱，如第 34 圖，及第 123 圖般。

其次電極保持裝置的構造，是由電極把持器和電極支持器兩者合成的，亦有此兩者併成了一個的，前者只把持電極而作通電之用的，而後者只屬支持作用的，把持器如後所述般，為鋼或銅合金製，然支持器則須為鋼板製，只是支持器的先端部即把持電極的地方，為銅合金製，此品按裝于鋼板製的支持臂上，另外用銅板通電流的。新式爐子大多都是二者分開的，只舊式爐兩者併用在一起。



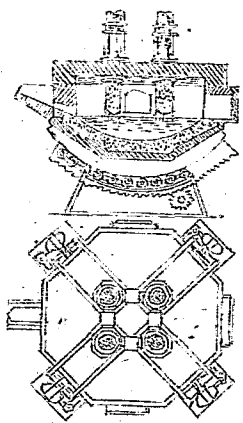
第121圖 由電機吊昇降之電極保持裝置

又稀有如圖124及第42圖那樣，以設於爐蓋上面的架橋而支持着電極的，此支持電極的保持器設於架橋中，專靠捲電極的電動機移動之，換爐蓋時全部可以自由以吊車吊換之，而備有支臂的爐子，當更換爐蓋時，只把支臂提起來即可換電極時亦同。



第122圖 由大吊車吊昇降之電極保持裝置

電極的保持裝置及吊上裝置等又有種和爐體分開個別設備着的，請看第123圖及第127圖，電極把持器以滾子或小滑車懸吊着，活動在爐上面的水平軌道上，有此種設備的鑄浴在出鋼的時候，爐體傾斜靜止，電極的內落下來。出洋的時候，因為傾斜的程度不甚無故吊出之必要。



第125圖 15噸新式電極

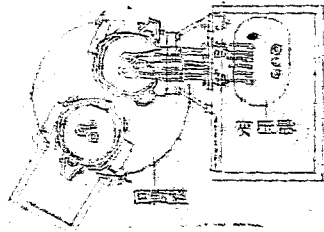
(參照123, 124, 126, 127圖)

儘管自由懸垂式電極有許多便利的地方，但沒有固定式使用的多，正因為永是懸掛在爐體上面，所以此一吊上裝置全體會從爐中奪熱的，又有的時候在微傾之際，只爐體傾斜而電極不傾斜，致而折斷了。

電極的裝手。再者高熱的電極，被吊上來暴露於大氣中時，其消耗量是很大的。除這些較小的缺點外，更有些嚴重的不利，即是爐蓋傾斜時爐體會很快冷卻的。爐蓋傾斜時，已被開放了的電極穴形成了煙筒的作用。冷的空氣從裝入口以及出鍋口等處吹進去，携熱由電極穴逃散。爐蓋爐壁極被冷卻後，下次修理時修理材料則難以完全燒結。雖正在努力的研究着。在電極抽出後，將電極穴以蓋覆之，以除掉此種不利。但是大爐的場合總是困難的，直到今日尚沒發現操作安全且簡單的裝置。

(參照第 128 圖)

更有一種特別的裝置，(參 128, 129 圖設)即以一個變壓器與一個電極支持器的一組來操作二個爐的簡單裝置，二個爐共設於回轉盤的兩方面相對着。電極保持器滑走在懸於爐上的支柱上。一爐在熔解之間。另一爐則進行修理及裝入工作。出鍋之後迴轉盤直接迴轉 180 度，於是電極離開了頭一個爐，而至另一爐上開始熔解予熱過了的屑鐵。此種方法特別是在小型鑄物爐上很有效，極能縮短熔解與精鍊時間。然而熔解的時間如果過長，即超過了另一爐之修理及裝入等所要時間以上時，那麼在等待着的中間爐之熱放散損失是很大的。所以由於不接設第二者的電氣設備，而得到的固定費之節約結局也是沒有多大益處的。



第 129 圖 二爐設備之配置

電極的上下行程，如第 126 圖設，盡可能須使電極保持器與爐蓋間以及蓋與爐床間的距離求得適宜些。又於熔解進行中以無時間上損失那樣進行操作是必要的。在裝入材料的場合電極應該提得高些，以免撞擊，又在熔解的時候，須使弧光下的熔解帶(穴)一直熔到底部(爐底)為要，熔解室的內部，須以電極弧光，能均勻的分布得爐床全面為要。如為圓筒形爐的話，只要能將電極的位置定得適當，即可達此目的。電極中心線的直徑應該使之為裝入口面之熔解室直徑的 0.45 倍左右，電極偏在邊部時，弧光先將側壁部的屑鐵熔解了，中心部留成一小山，然後逐步的熔解，相反的如果電極的位置過於集中時，結

果是中心部的溫度很高，而不易分布到邊部，以致熔解慢，甚之邊部的鋼滓終是硬的，會無變化的留到最後，倘有這等事時，應該馬上變換電極的位置，在談到關於爐體構造的例子亦曾說過，電極排成一列的爐子因其爐體為橢圓形，故須不使留有弧光作用不到的隅角部為要。

第七節 電極把持器 The Electrode holder

電極把持裝置（第130圖及第131圖），即把持着電極，並由接觸而作導電作用的，多將數個組成起來使用之。而以絲槓把住之，如全體為一塊鋼製成的東西時，可以左右切有絲口的心樑或者其之類同的裝置。簡單的更換電極，或在鬆了的時候把緊些，單只有此把持電極的器具時，則須設備一個支持總機器聯支持器，再不然的話就是支持器（臂）的先端成為把持器，二種之中前者從各方面看都是合理的，即是說二者分開了的裝置，為了使電極能正確的插在爐蓋內，支持器的支持裝置勿論向那一方面都能輕易的移動。

把持器所用的材料為鋼，銅鑄物，黃銅或鐵等，銅，銅鑄物或是黃銅等在電氣方面也好，電力的消費量方面也好，都很有利保持裝置與電極間的通過抵抗，第一要看接觸如何，即是，電極越圓，保持裝置亦為能自由變形的裝置時，Energy能的損失是越少的，電極保持自體內的電流傳導問題，即使使用鐵的場合，亦應使用由於電流的過負荷，而未被所熱程度之大者為必要的。

欲減少通過抵抗，以下的第二狀態復重要的，即將接觸面盡力作得平滑一些。銅合金被熱時表面層會生成氧化層，故傳導能力極為減低，從這方面看，生於鐵上的氧化鐵皮為害倒是不大的，因此銅製的電極保持器形為凹面，且必須以水流冷却之，然而鐵製的電極把持器如能造很完善的話，即使電流強度在很高的時候，亦不須要冷却。

電極把持器因能接受到變壓器電壓的幾乎全部，故爐體和相連結着的支柱及支持器等之間必須完全的加以絕緣，於此目的之下，將保持臂分離開，且於其分割面上置放雲母板或石棉板為要，電極車的滾子部亦有設絕緣裝置的時候，於爐體上方如有直接接受的熱屬連結物時，

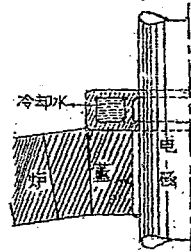
亦有更將電極把持器以薄銅製的 link Belt (鎖鏈帶) 把起來的。

第八節 電極節約裝置及爐體冷却裝置

The Electrode economizer and Cooling device of Furnace

在電弧爐之電極通過爐蓋的地方，皆設有水套加以保護着，此謂之電極節約器，是可以防止熱從電極穴逃散的裝置，爐蓋的電極穴周圍的鐵管中通上冷水而加以冷却的，如果無此所謂節約器者時，電極穴與爐蓋的間隙，將成煙筒作用，冷風從爐門等處吹入會將爐內熱瓦斯從爐蓋間隙部帶走的，隨之電極被熱，同外氣的接觸部氧化極甚，逐漸剝落，終至細小，所以如能阻止不使電極氧化，熱的損失亦自可以防止，隨之不但能節約電力，電極的消費量亦少，亦即等於增大了爐的熱能率。

總之電極節約器有三個目的，第一，保護爐蓋減輕爐蓋的熱負擔，第二，適當的密閉電極與爐蓋間的間隙，第三，防止爐內瓦斯逃出，不便烤了爐蓋以上的電極，即防止爐上部電極的氧化剝落，冷却環的給水管及排水管，用膠皮管和爐體絕緣之，同時相互之間亦要絕緣起來，否則各相之間或者相與爐體之間會短路的，冷却水的排出法，以噴出法導向漏斗形的排出管為佳電極自由懸吊式的爐子，使爐體傾斜的時候，要防備勿使冷却環滑落，以絕緣起來的支柱角保護之為要。



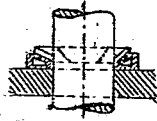
第 112 圖
電極節約器

除電極之冷却環以外，爐蓋的支柱，爐口鐵框，爐的拱門 (arch) 等處亦有實行水冷的，此類的冷却裝置都是為了增加爐體上危險處的耐久力而採用的，但是多數的煉鋼工場却沒有認清這樣作的好處，探其原因有二，一個是，此類裝置雖屬有效但同時又會奪走了很多的爐熱，留後詳言之，第二個原因是，如果此裝置有漏水等情時，水進入爐內，則會使所煉鋼質被受影響。

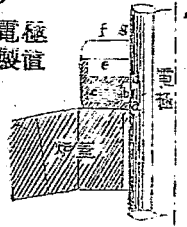
最後再歸于電極在爐蓋處的密閉裝置問題略談一二，對此部份，最近的數年來很風行使用填塞物，然而實際上，已得到證實的優點是很

少的，最好又便宜，並且簡單的密閉方法，是使用完全正圓形的電極，此電極通過冷却環之中，僅給其周圍留上不超過5mm的空隙，冷却器使之能够微略移動，冷却器部勿被擦傷為要，如果漏出火焰時，可用繼合起來的平型磚圍（133圖）放到冷却環上作為蓋子即可。

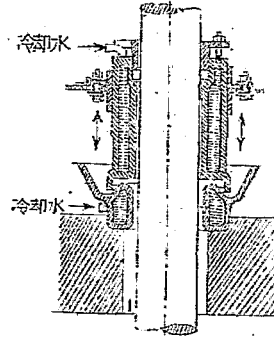
美國所採用的比較簡單的方法，如第134圖般，從該環的空隙裏以過壓而出來的火焰，集於冷却環上方的空間，以不致給電極惡影響的程度實行冷却之，更複雜一些的例子，有如第135圖般的西門斯式者，而前述之 Flat 式（47圖），亦屬此類，但是此類裝置，因保護電極所得到的一點利益，尚沒有所蒙受到的損失大，所以現在早已不大用了。



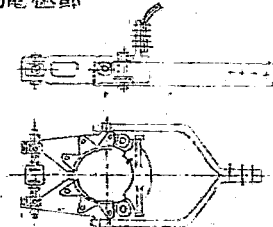
第133圖 簡單的電極
棒入口密閉裝置



a 爐瓦斯之出口
d 第一膨脹室
c 水冷却
d 第二環之間隙
第134圖 有膨脹室的電極節
縮裝置



e 第二膨脹室
f 鐵板蓋
g 爐瓦斯出口
第135圖 電極棒入口之
密閉裝置（西
門斯）



第130圖 電極把持裝置之構造例
（此圖第八章七節）

第九章 弧光式電氣爐的電氣設備 The Electric arrangement of Arc furnace

第一節 概 說

電氣煉鋼爐的弧光為交流電。直流電當然也可以作熱源用，但是在爐的作業上是困難的。第一個是因為直流發電機所產生出的電壓比較小，故導體的切斷面必須大，因而 Energy 的損失大，操作費用亦高。

交流的發電費用便宜，並且能將高壓電於爐附近使其變化，故送電費便宜，但是用交流電亦屬需要過分費用的麻煩方法，即須使用變壓器或水銀蒸氣整流器而變壓的，此項費用及其看視費用等亦決不在少數。

直流比之交流有獨特的利點。即在直流電貫通熔解物之際，由於此性質會起一種獨特的運動，這是眾所周知的事實，以此種運動熔解物會分解，隨之其成份亦有變化，以此作用，氧氣能從鋼中被除掉的，這個理論雖然知道，但是此理論的應用爐尚未出現，不過一般人都深信着在最近的將來總會成功的，然而電弧爐的場合只以交流為對象，並且因為電氣技術已很優越故幾乎全為三相交流。

第二節 電力供給

The Power supply

弧光式電氣爐在作業上使用低電壓，高電流的電力，日本一般的用約 10,000 v 的電壓送電，但外國有用 25000V 的高電壓而送電的，但是絕緣困難所以對使用高壓是值得考慮的，以前從發電所送來高壓電 (10000V)，一度以變壓器變低，更變低適合爐作業之適當電壓，這樣使用了二組變壓器，但最近却用一個變壓器從高壓直接的變成低壓。

第三節 爐電壓的選擇

Selection of Furnace voltage.

在弧光式電氣爐的作業上，操作者得以安心操作之必要的電壓範圍

爲80~200 Volt,於三相之間如有200 Volt的電壓時,相互接觸的中心點,和大多數電氣爐的場合相同,其單一相和地面間的電壓則爲 $200 \div 3 = 115$ Volt,然而此電壓是屬於概略的,但在非常不利的狀態下,如導線和異常潮濕的地面或同另外的良導體碰到一起的時候,以及導電部份偶然同二個電壓接觸時,熔解入則須注意此危險。

電壓如果高,電弧的長度則增加,所以對爐的耐火壁的作用,尤其是對爐蓋的作用極大,故此熔解中,如果電弧被屑鐵覆掩而不能自由的放射到爐蓋或爐壁上去的時候,則可通過較精鍊時尤高的電壓,此種除應照顧到耐火裝置之外,更應該注意 承受到均一的電流。

電流電壓越高,抵抗變化時的電流衝擊, (Current surge) 越強,而電流衝擊,是由於裝入物成爲一體後生於電流回路中的。

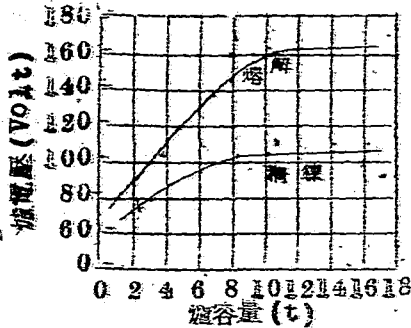
爐用電壓之最低位者,是要對通電流之導體部份的長度加以考慮而規定的,使用之電壓越小,要想獲得同一的加熱作用時,越須送以高電流,送高電流時需要切斷面積大的導體,向變壓器以及爐與電極等通電流之導體,如果在爐用電壓小的場合,則成爲不必要之大,成本必然要高。

爐的電壓在往時,熔解精鍊共爲100V左右,但近來爲了要迅速熔解與電力的經濟化,熔解時的電壓已顯著的增高了,即以200V左右爲普通,甚之使用着200V以上的電壓,然而實際的作業,以200V以下爲佳,第55表上所記的數目字最爲適當,如據Krits 氏的調查稱:鹽基性的操作以第136圖的標準爲適當,然而在還元狀態下的酸性鋼滓的場合,因沒有重金屬的氧化物,且傳導能力小,所以酸性爐的精鍊時,電壓須高一些較好。

第55表 爐大小與電壓的關係

| 爐大小 (噸) | 1 | 2 | 3 | 4 | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 熔解時(Volt) | 100 | 110 | 125 | 135 | 150 | 165 | 175 | 180 | 185 | 190 |
| 精鍊時 * | 90 | 95 | 100 | 105 | 110 | 115 | 117 | 118 | 119 | 120 |

其次送電後用稍低的電壓,俟電弧之變動少時再用高電壓,及至完全熔解後再用低電壓,這樣的操作實際上是好的,又熔解生鐵的時候,比熔解鋼的場合,應用低下10%的電壓操作。



第136圖 以鹽基性銅萍作業時電氣爐的適當電壓

第四節 變 壓 器

The Transformer.

1. 變壓器的作用 (Action of transformer)

前面已說過，在電弧爐的操作上須將高電壓的交流於爐的附近變成低壓而作業的，所以從中央發電所來的一定電壓之交流電必須以變壓器予以變壓，變壓器是由於一個鐵心而成的，而鐵心又被二個分離着的線圈捲起來的，進入到一個線圈內的交流電，以感應而於鐵心上形成了磁氣交流，交流磁界向第二個線圈誘起同大的電流，此二次電流的電壓對一次電流的電壓，和一線圈的捲數成正比。

因為二電流為同等能力所以電流的強度，當然是和電壓與捲數成反比的，總括的講，通過弱電流高電壓的線圈，是由橫斷面小多捲數而形成的，而電流強電壓低這方面的線圈則是以橫斷面大少捲數而形成的。

變壓器的鐵心，是以相互絕緣的硅素鋼板而成的，硅素鋼的特點是毫無渦流電流及履歷等損失的，又當交流之非磁化之際，由於溫度的變化，差不多不會失掉磁力，勿寧是能無所遺力的有用於二次電流的誘導上。

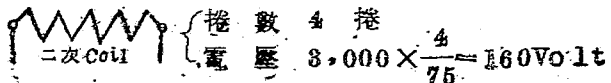
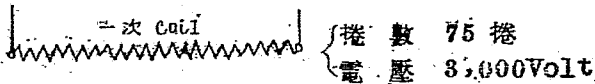
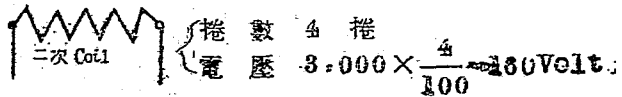
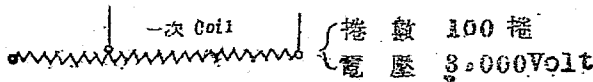
在上述的溫度中（溫度的變化）除有由於磁氣變化而生起的履歷（Hysteresis）損失外，尚有由於鐵心本身的渦流電流的發生而生成的損失，此渦流電流同時亦會變成熱的，欲減少此損失的因素，將變

壓器的鐵心分成單個的薄空圓板是必要的。

三相交流的場合，三相中之每相都單獨的成爲由 高壓線圈鐵心及低壓線圈等而成的一套，所以對其每個相都能裝成一個單相的變壓器。以前三相交流的場合本來是使用着單相變壓器三個的，而今天已將此三組收納到一個鐵箱內，只使用着三相變壓器一個。

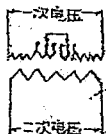
在電氣爐操作上，能够利用不同的低電壓是很重要的事情，爲使熔解迅速，現在已盡量的希望着高壓（1噸爐約150V，8噸爐約170V），另一方面，在精鍊期間中，如爲中等大小的爐子則用100~115V的電壓爲適當，變換二次電壓有二種辦法，依靠 tap 或者，依靠切換和第一次線圈間的連絡。

一次電流，二次電流與電壓等和線圈的捲數成正比，今如果將一次線圈的一部份從電流回路給切離時，二次線圈的捲數，比其所殘部爲大，隨之二次電壓則大，由於設備爲導入一次電流的不同 tap，根據第137圖能作出所期的二次電壓。



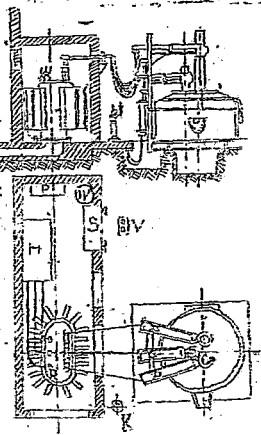
第137圖 一次 Coil 的 tap 提高變壓器的第二次電壓方法
切換電壓的方法有種々，但最簡單且普通所用的方法爲第138圖的方法，於變壓器的一次方留出所要的 tap，以此 tap 變換捲數比而

調節二次電壓， taP 的切換以電門（開關）與調整齒輪等為之， taP 應該置於一次線圈的中央，而不可置於一端上，這是因為當關閉電門時

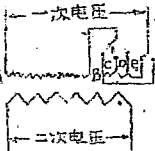


第138圖 電壓切換法

- V 入力調節器
- H 高压变压器
- W 空氣管
- K 傾斜裝置
- R 低压变压器
- S 配電盤
- P 馬達崩下



第140圖 變壓器和爐的接續和構造



第139圖 電壓切換法

瞬間的電壓分布，集中於線圈的終部，所以有時有破壞此部分絕緣體的可能，故此雖然在製作上困難些，也應該置於中央部的。

第141圖是將變壓器和爐接續起來時的配線略圖。

三相交流的連絡法有斯大（Y）連結（Star Connection）及得路大（ Δ ）連結（Delta Connection）等二種，斯大連結，

像第141圖般，是將

三個一次線圈的三個

尖端結於一起的連結

法，如第142圖般。

得路大連結，如第143

圖般，是將各一次線圈的終點連結

到次一線圈之始點上去的，如第144圖。

用開關又能將變壓器

的第一次線圈，從

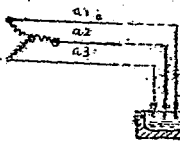
得路大連結切換成斯



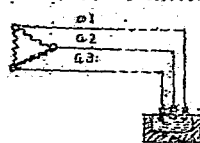
第141圖 斯大結線



第143圖 得路大結線



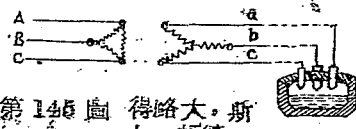
第142圖 斯大結線



第144圖 得路大結線

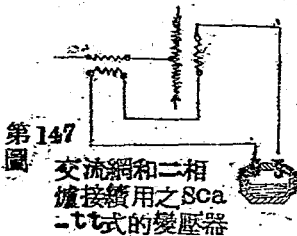
大。由於這樣的切換，第二次的電壓成爲 $3:1$ 之比，爐變壓器之二次方普通接續在斯大連結上，其接續法和第一次線圈的切換時一樣。

今試舉第 145 圖和第 146 圖相切換的例子，即是，爐變壓器如爲得路大，斯大接續時，從 3000V 的一次電壓能生成 173V 的二次電壓，而斯大，斯大接續的場合，僅能從 3000V 的高壓，得到 $173 \div 3 = 100V$ 的低壓而已。



熔解時間的最初的 $\frac{1}{4}$ 大多用第 145 圖得路大，斯大接續的低電壓操作之，蓋因高電壓的電弧，在爐冷裝入物亦冷的情況下，燃燒不安定且易間斷的關係，熔解期之最後的 $\frac{3}{4}$ 用得路大接續的高電壓，待裝入物熔解完了後再度換成斯大接續，以低電壓的短電弧操作之，這樣不至於破壞爐蓋。

電氣爐的變壓器，有時尚用特殊的接續法，今簡單的關於其特點述



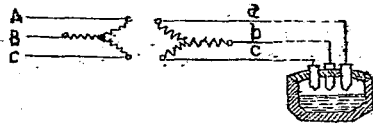
第 147 圖

交流網和二相接續用之 Scott-tt 式的變壓器

說一下，將較小的 $\frac{3}{4}$ 噸以下爐接續到三相交流網上，但是小型爐有時只用 2 根電極亦能將爐內均一的實行加熱，這樣因爲少了一個電極穴，故能少傷爐裏，且操作亦簡單，想這樣作有二種辦法，即爐上如送有力量大的三相交流時，可將兩電極簡易的接續到二個相上，第三相的負荷雖被省

略了，但爐的能率亦不很低下。

大體上無防的，如使用能力小的電流屬時，類此不同的負荷是不容許的（顧慮到另外的電流消費物），此種場合使用所謂 Scott 式接線的變壓器，此接續法的基



第 146 圖

斯大，斯大，接續

本是在二個的一相式或一個的二相式變壓器中，像第 147 圖那樣。第一次方的高壓三相交流，使之變換成二次方的低壓一相交流或是二相交流的，爐回路中的二個交流相的負荷，能均一的分布到三個的高壓方之三相交流相中，Scott 式接續自不須講，即使相反的理想將高壓

方設備成二個相而低壓方三個相的時候也要使用此法的，而可將三相交流爐接續到交流網上去。

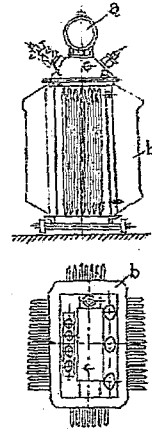
2. 變壓器的構造 (Construction of transformer)

變壓器有着被絕緣起來的一次捲線及二次捲線的變壓器鐵心，放於滿盛着油的鐵箱 (Shell) 內，此油有一種目的，一為絕緣劑，二能將發生熱很快的從銅導體及鐵心部運到遠處去，隨變壓器內溫度的昇降，油的表面亦昇降之，故於變壓器的上部置放一平均油槽，此槽必須常調節得使油完全能充滿變壓器的外板箱。

從銅線圈及鐵心上所生的熱，移向油內，必須使之很快的放散出去為要，蓋因線圈之植物性材料的絕緣體在 $80 \sim 100^\circ\text{C}$ 的溫度下便開始破壞的關係，變壓器的冷涼方法有種々，單就爐用變壓器的一個例子談述一下，一個是用空氣的自冷式，另一個是從外部的水冷式，自冷式的變壓器是將鐵箱內已很熱的油使它昇到上部，通過外部的管子，放散了熱而再度回到箱內的底部，這樣循環着的，另外也有在箱的外壁上設有許多冷却格子 (rip) 的，此物將會放散熱，使油自行空氣冷却的，(第148圖)。而水冷式則是將被熱了的油，排到變壓器箱的上部，使之通過水冷器，更以小型筒導入變壓器中去的(第149圖)。

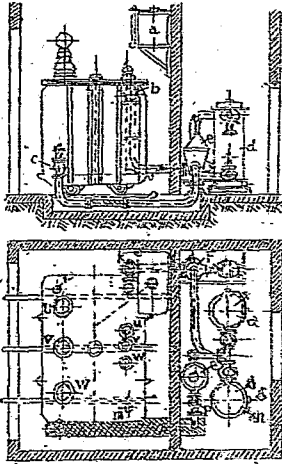
前二式者對於爐的操作上各有一長一短，自冷式的變壓器，必須按設於換氣良好的地方，但在煉鋼工場的经营上，於爐近處給此變壓器以大的場所是不容易的事，假使範圍小且通風不佳時，在夏季其油在放散熱方面需要頗長的時間，變壓器則不能全能充實荷電或油油的冷却時間，此變壓器間的停止時間要變長，於是對設備是重要，而外都亦除此的變壓器上則以下節要談至為重要自動斷開裝置，自鳴信號或在油的溫度超過了一定度以上時，能自動遮斷的裝置是必要的。

以前在爐用變壓器上時常使用着的冷涼裝置，即於變壓器內設備上



a 油平均槽
b 帶放熱器之變壓器箱
第148圖 自冷式變壓器

水蛇管，現在已知道這是不適當且難以操作的裝置了，冷水蛇管因時常漏水，在監視上須要很長時間，又有時很多水會侵入變壓器中，這時變壓器的電氣負荷強度極被傷害。



a 油平均槽 b 油流出
c 油流入瓣 d 管冷却器
e 空氣遮斷器 f 馬達扇
g 冷液流入口 h 冷水流出口
k 油量表示器 l 充油絲
m 掃除孔 n 報知裝置
第148圖 由外部水冷之變壓器

故當決定接設何種變壓器之先，關於其性能及其定各點都要詳細的參考製造會社的注意事項為宜。

爐用的變壓器必須從專業的製作所採買之，蓋因唯有第一流的好變壓器才能供給爐作業上以必要的能力，且能耐久的，因每一次的電流衝擊 (Current Surge) 由於電磁力的關係銅線圈會被移動，此時的絕緣若不堅牢的話，電纜的先端及支點等處隨時間的經過會弛緩的，這樣各處的絕緣致被磨壞，便有發生短接等致命的危險。

3. 變壓器的監視 (Attendance of transformer)

製作很正規的變壓器，概無須監視。變壓器上唯一的破壞危險是絕緣體的磨損，或由於絕緣的變質而短接，欲防止此二種危險的發生，必須以自動作用的安全裝置制止不使變壓器過負荷為要，此種不可缺的

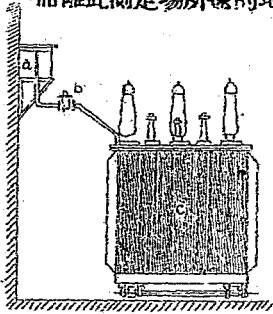
安全裝置上，如油開閉器上有自動消滅器，用以將變壓器接續到電流網上去的，此自動繼電器 (relay) 由以電磁力而動的計算器與發條 (Spring) 而成，此器在適宜的電流超過了強度限界以上時會使油開閉器切離的。

隨着時間的經過，絕緣體的各處仍會被侵害時，(第149圖) 則須設備一個自動警報信號，即能適當防止災害的早知製置，此類較簡單的警報裝置，在常利用變壓器箱中的溫度計。

此類溫度計在油溫昇過了一定溫度以上時，作用到電鈴上，而以鈴

報之，當然此類的裝置只能將測定局部之時 t 的溫度指示出來的，而離此測定場所遠的地方，萬一發生過熱現象時是不能替之警報的

(參照第 150, 151 圖)



彌補了此項缺陷的有簡單且完善的所謂「布弗駟爾之」式的保護裝置 (Buchholzschutz) (第 152 圖)，該式裝置的原理：如果絕緣體中生有缺陷時，即使是小的缺陷，亦使它發生火花 (Spark) 及弧光，而油的一部分將分解發生蒸氣，油蒸氣昇到上部集於小管中，積滿後則刺戟了警報器及油開閉器而報知的。

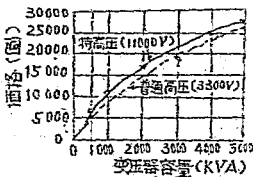
- a. 調節器
- b. Buchholz 保護裝置
- c. 變壓器

像以這那樣，能防止過負荷，而自動的警報短觸危險的變壓器須變換時，

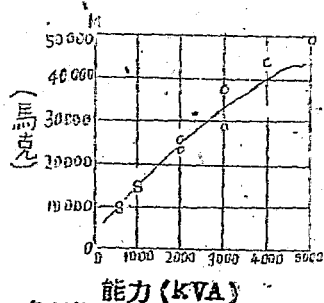
第 152 圖 變壓器用 Buchholz 式保護裝置
將油注出進行清掃，如使用期間太長，從絕緣體上脫落下來之渣滓會沈殿下方而此種部份的堆積有使熱停滯不得迅速放散的危險。

4. 變壓器的選定 (Determination of transformer)

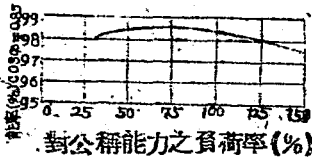
按設電氣爐時，對變壓的選定最為一重要問題，能力不大的變壓器，會使熔解時間遲延得很大，這正像平爐上的瓦斯發生能力小的場合是一樣的道理，如果熔解時間長生產成本則高，熔解時間是和生產噸數相關的，總之如長則能將爐熱放散損失了，工價貴，補助材的費用，亦自高起來的。



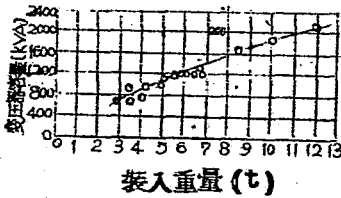
第 153 圖 各種能力之電用變壓器的概價 (日本)



第 154 圖 各種能力之電用變壓器的概價 (德國)



第 155 圖 不同負荷時爐用變壓器的作用



第 156 圖 德國弧光式電氣爐從來使用之變壓器能力

先談述一下變壓器的容量問題。因熔解中的電流變化很甚，故須設計得比理論值大一些。如過於嚴格選定恰好的變壓器，熔解中既不能使用其全能力，且使購入費亦陷於不必要的高價。但是根據第 153 圖及第 154 兩圖上來看，即使這樣（嚴格選定）總還比相反の場合即變壓器過大，是要經濟些的。建設費良好且無過負荷的變壓器，能保持 15 年以上的歲日，所以成本的利息及折舊額，亦不是很高的。更根據第 155 圖來講，部分的使變壓器負荷比全能力負荷的作用度不為不佳，所以當選定變壓器的公稱能力時，綽裕一些的變壓器是比過小者好的。往時裝入重量 1 噸採取着 250 KVA 左右的容量，但最近為了要迅速熔解，亦已逐漸增大了。

兩者相比如第 56 表般。

第 56 表 變壓器的容量比較

| 電氣爐熔解量 (噸) | 往時容量 (KVA) | 每噸容量 (KVA) | 近時容量 (KVA) | 每噸容量 (KVA) |
|------------|-------------|------------|------------|------------|
| 7 | 300 乃至 400 | 300-400 | 450-600 | 450-600 |
| 8 | 700 - 900 | 250-300 | 1200-1800 | 450-550 |
| 10 | 1800 - 2500 | 180-250 | 3000-4500 | 330-450 |
| 15 | 2250 - 3000 | 150-200 | 4500-5500 | 300-400 |

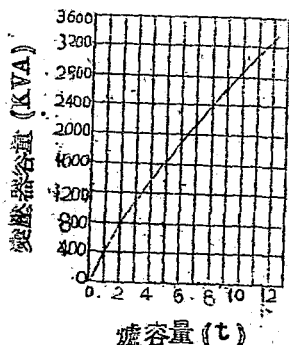
德國以前像第 156 圖所示那樣選用着的，即對裝入量 1 噸使用變壓器能力 180-200 KVA 為普通。以此能力裝入物約 3-4 小時可以熔解。然而最近 5 年來做意大利的先例，又知道更可以縮短熔解時間，更能減低生產品的成本。前面亦說過這樣能減少爐的放射損失，隨

之Energy 的消費亦可減輕。德美等國又利用了此節約能力將新設爐上設備了强有力的變壓器。這樣熔解時間縮短至2—3小時。他們更進行將現有弱力的變壓器改造或換成強力的。第157圖在指示着某一種變壓器適合今日之固體裝入物爐的操業。超過了此以上亦不好。比第158圖上所示的電弧能力猶強的場合，如果電弧已不能為尚未熔解的屑鐵所覆掩時，則會侵害耐火壁的。

此外如對成本方面作一考慮的話，即在獲得電流的方法上會生出限制的。從電網網上以正規順序得到電流的變壓器，例如在熔解中平均為2500KW精煉400KW，而中間休止中毫不負荷的變壓器發電機內常須貯存着2500KW的能力。

將電力錢劃分為蓄存KW的準備費及所用的KWh的固定價格或不定價格等事即使從來一般沒有這樣作，可是在能力使用量大有上下的場合下，電力供給者是會將這種不均一之負荷影響，加算到其成本上，而作許多考慮的。

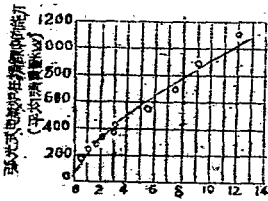
由於按設巨大變壓器而得到的熔解中之節約，蓋因此場合所用的價格很貴，所以致被重新消費了的。用數字表示之更易瞭然。今有5噸電氣爐，於熔解期平均消費了1000KW，精煉中平均消費500KW的話，製品每噸的消費量為800KWh。而另一種5噸電氣爐（變壓器大的）假定於熔解中消費了2000KW，精煉中消費500KW電力的話，製品每噸的Energy消費量為730KWh。適於熔解時間短縮化。此兩方面的電錢都為一樣來計算。蓄存KW的準備費年為30圓，1KWh為2分5厘。第1爐年產5500噸，第2爐年產7200噸。第1場合的電力計算如下。



第157圖 冷熱用電弧爐上之適大變壓器

$1000 \times 30 = 30,000$ 圓外加上準備費，則為
 $5,500 \times 0.025 \times 300 = 110,000$ 的 KVA 原
 價。而生產品 1 噸之 Energet 的消費量為 $140000 \div 5500$
 $= 25.45$ 圓。第二場合各為 60,000 圓及 131,400 圓
 故生產品每噸的 Energet 消費量為

$$92,400 \div 7,200 = 26.60 \text{ 圓}$$



第 158 圖 弧光式電氣爐在
 精煉中的平均能
 力

固體裝入物的場合亦能略經濟些進行熔解。欲變換操作方法，變壓器則須為能將固體裝入物以 3—4 小時熔解程度之強力者。變壓器的選定可以根據第 159 圖而為之。該圖為變壓器能力與裝入重量與熔解時間的關係圖。

原來規定只用熔材來操作的爐子，隨着逐漸的需要，由於各種情況亦會有不得不用固體裝入物進行操作的必要。故須設熔解時間只用 2—3 小時，且能使熔解成本減低的強力變壓器。如可以使生產量微許減少的話，可採取反對的辦法，即改造爐體，使之容量減少。對於使用變壓器能力之適當裝入重量亦可以從第 159 圖的數值中求得之。

更為了參考將從來一般文獻上所記載的變壓器之設計法略述於下 KerPely 氏從理論上誘出以下的式子。

$$N = \frac{m E_p I}{1.000 \cos \phi} \text{ KVA}$$

m ----- 週期率， E_p ----- 相的電壓

只用熔融狀態的裝入物來操作的爐子，以比較弱力的變壓器則足用。精煉所需要之時間，主要的受到化學冶金學的經過時間之左右，即使加強導入電流，精煉時間亦不是可以縮短的。（詳細處後出）。

第 158 圖上指示着電弧爐的精煉中的能力平均消費量。然而變壓器在以熔材裝入物操作的爐上，用第 158 圖的能力來測定是不可以的。

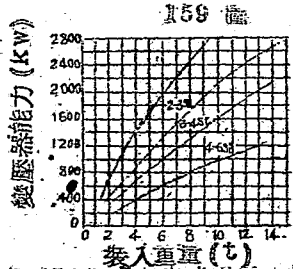
I 電流, cosφ 力率

更將德國鐵冶金學會所調查之變壓器設計法示之於次。變壓器的容量由於理論的工作(即有效的工作)與損失的工作之和被力率除之而可得到的。

$$N = \frac{LG}{\cos\phi} + S$$

- N ---- 變壓器的容量 (KVA)
- L ---- 使 1 Kg 冷材熔解之理論的電力量即全有效工作 (KWh)
- G ---- 裝入重量 (Kg)
- T ---- 熔解所要時間 (時)
- S ---- 熔解上之損失工作, 即全損失工作量 (KWh)
- cosφ ---- 力率

於德國鐵冶金學會, 對冷材裝入的場合, 將以上各項進行調查之結果如第 5 7 表般。此表中工作當量的 340 KWh 值是 R. Durrer 氏從軟鐵的比熱上計算出來的, 而力率的實驗值為 58%。從次表中可以知道, 時間如短損失工作量則比較比多。如是根據熔解時間的長短而變壓器的容量亦自不同是一定的。



第 159 圖 弧光式電氣爐之變壓器能力與裝入量及熔解時間的關係

第 5 7 表 關於變壓器容量設計之要項

| 爐噸數 | 裝入量 G (噸) | 噸 熔量 G (KWh) | 熔解時間 T (時) | 噸冷材熔解所 要理論工作 量 L: (KWh) | 全電力損 失量 L-R (KWh 時) | 熔解期間 之全損量 S (Kwh) | 平均工作 量 C/T (KWh) |
|-----|-----------|--------------|------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------|------------------------|
| 3 | 2960 | 645 | 3.60 | 340 | 305 | 254 | 179 |
| " | 3500 | 725 | 4.25 | " | 385 | 317 | 170 |
| " | 3500 | 536 | 3.50 | " | 196 | 196 | 153 |
| 4 | 4000 | 700 | 3.75 | " | 360 | 384 | 187 |
| " | 4125 | 612 | 4.70 | " | 372 | 289 | 130 |
| " | 4670 | 650 | 5.08 | " | 310 | 279 | 128 |
| " | 4890 | 564 | 4.75 | " | 224 | 251 | 119 |
| " | 5150 | 598 | 4.08 | " | 258 | 325 | 149 |
| " | 5500 | 580 | 2.92 | " | 240 | 452 | 199 |

| | | | | | | | |
|----|--------|-----|------|---|-----|-----|-----|
| 6 | 6.080 | 542 | 5.00 | • | 209 | 246 | 108 |
| • | 6.480 | 520 | 2.16 | • | 180 | 520 | 240 |
| • | 6.500 | 676 | 5.50 | • | 336 | 368 | 123 |
| 7 | 6.740 | 580 | 4.54 | • | 240 | 356 | 128 |
| 7 | 6.960 | 585 | 2.75 | • | 245 | 623 | 213 |
| • | 7.210 | 513 | 2.80 | • | 173 | 446 | 183 |
| • | 7.280 | 486 | 3.30 | • | 146 | 322 | 147 |
| • | 7.440 | 452 | 3.28 | • | 112 | 250 | 138 |
| 8 | 8.500 | 520 | 5.35 | • | 180 | 287 | 98 |
| 10 | 10.000 | 720 | 7.25 | • | 380 | 525 | 100 |

又E. F. Russ氏在德國的鐵和鋼雜誌上所發表之3噸爐的變壓器容量如第58表般。

第58表 變壓器容量之對電力消費量及製鋼之影响

| 變壓器容量 (KVA) | 平均消費量(Wh) | | 平均製鋼時間(時) | | | | | | |
|----------------|-----------|--------|-----------|------|------|------|------|------|--|
| | 冷材原料 | 冷材原料 | 冷材原料 | | | | 熔材原料 | | |
| | | 換滓回數 | 換滓回數 | | 換滓回數 | | | 換滓回數 | |
| | | 1回 無 | 3回 | 2回 | 2回 | 3回 | 1回 | 無 | |
| | | 時分 | 時分 | 時分 | 時分 | 時分 | 時分 | 時分 | |
| 550 | 775 | 204233 | 6 25 | 5 55 | 5 18 | 3 00 | 2 28 | 2 00 | |
| 600 | 800 | 300210 | 6 06 | 5 35 | 5 08 | 2 54 | 2 20 | 1 50 | |
| 800 | 700 | 300220 | 5 06 | 4 20 | 4 10 | 2 20 | 1 50 | 1 40 | |

然而，於最初已述說過，今日已逐步的使用着大的數值者，所以以上諸式所求得的數目字過小些。以著者的經驗及從諸種例上總合之，大體上1噸的爐子要500KVA，每噸當量3噸爐的場合450KVA，6噸爐為400KVA，10噸爐為350KVA，15噸爐為300KVA是較比適當的。

5) 變壓器的過負荷容量 (Overload capacity of transformer)

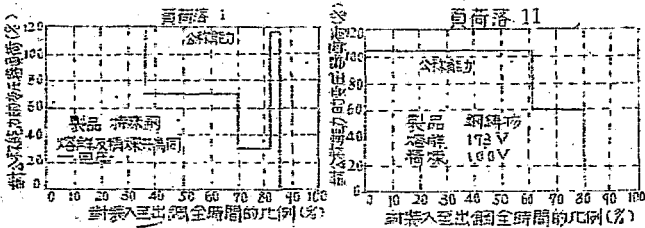
電弧爐的熔解操作中常有短時間的電流衝擊。這是因為正在熔解着的屑鐵相互間的接觸部份生有電流而短絡的關係。裝入物的形狀愈大，電弧的電壓愈高而電流強度之急々上下是愈激烈的。又於熔解中投入添加物的場合亦會生起的。此謂之 Pinch effect。用自動電極調整器，或閉塞線輪 (chooking coil) 以及其他裝置等雖能使電流衝擊略微弱化，但不能完全止住他。故此變壓器被負荷着短時間的電流強度。此電流強度大大超過了他的公稱能力，如此其壽命致被縮短，操業的安全性頗被傷害。然而類此等的顧慮在構造良好的變壓器上是不需的，交流電流之電氣關係是即使二相或三相間的直接短絡場合，他亦只使電流強度昇至一定的最高值而已。變壓器與爐間的電流導體上有所謂自己誘導。這將會使變壓器成爲其公稱能力之倍值的適宜的電流密度不能熔解了變壓器的銅捲線，只止於將銅強熱而已，所附生的熱量被油奪去更被冷涼劑 (空氣或水) 奪去而放散。

操爐間的普通之電流衝擊大體皆不屬電極間的完全短絡，而是電極間之部份短絡。隨之則不能使公稱能力超過 50-70%。熔解之際電流強度突然上昇之後馬上會降到最高值以下的，所以變壓器油及捲線絕緣體上不至於發生值得考慮的熱度。可是電流強度如果在很長的時間下繼續着不可容許的高度時前述之自動遮斷器便起作用，向變壓器之送電則中斷。

電流衝擊的結果，尙會向變壓器的銅 Coil，作用着電磁所生的反撥力。此反撥力會使接觸部弛緩或將特別預備處磨壞了的。構造完善之變壓器，只要留心其捲線，此項危險是可以迴避了的。總之在電氣爐的熔解作業中實際上所起的電流衝擊，如爲良好的爐用變壓器的話，對其負荷能力及壽命上是不會有惡影響的。

爐用變壓器的負荷方法，除如前述般突然之電流衝擊外尙有值得一言的性質。即是熔解時的全負荷及精煉時的部分負荷等。於二熔解間的中間休止中靜止下來，此二負荷交替之。此種交替作業對負荷能力是個有利的作用，即能使變壓器油在全負荷之際所得到之熱之一部份，利用部份負荷及靜止中間放散出去。這樣變壓器的溫度大爲之低下，而再送電時，即使之全負荷或略做過負荷亦無關緊要的。其負荷程度，熔解時間及休止時間等對精煉及裝入時間愈短，

熔解時由於過負荷的變壓器之溫度上昇度愈小。隨之熔解時間長而精煉時間短之場合比相反的場合，於熔解時間內能够通過的過負荷容量小。次將不同製品場合之負荷方法之特徵示之於第 160 圖中。從此圖中得知製作特殊鋼之極端場合，其熔解時間已為全體時間的 25 %。熔解中的變壓器之平均負荷值即使超過其公稱能力之約 20 % 亦無妨礙。然而反之如鑄鋼物之場合那樣，精煉時間比較短，即佔全體的僅 40 % (熔解時間 60 %) 者，在熔解當中，即使有 10 % 的過負荷亦會使變壓器持有高溫，陷於危險狀態的。



第 160 圖 電弧爐變壓器負荷的種類

第五節 電弧爐的電流線輪及功率

The Reactor and Power Factor of Arc Furnace

固體裝入物熔解時突起的電流衝擊，大抵是由於二電極間之短絡而生起的，也稀有三電極間同時短絡的場合，這將使變壓器的能力增高數倍的。如有好的電極調整器的話，即使在負荷激變的時候亦會與以限制。所以即使其尖頭負荷不會破壞了變壓器，也要從其他的理由上設一制動裝置的。通爐之電流發生裝置的能力越小，對於爐能力之最大值給與限定越是必要的。比較長時間的高尖頭負荷（高峰部之負荷）會很容易的超過較小中央發電所的過負荷能力。所以勢必中斷其電流供給。勿論在何種場合下與尖頭負荷高的同時，由於弧光的動搖而其他使用電力的地方會受影響。

此弧光的動搖是來自電流網的電壓動搖的。

爲除掉此種不利，故須於向爐之電路上設備，塞流線輪 (Reactor) 或閉塞線輪 (choking coil) 卽是以這個使操作中的電弧安定，特別用以防止熔解初期之電流激變的，俟造出鋼滓，電弧安定後再行短絡開放之。近來電流電壓在增高着，變壓器的容量亦在增大着，且有使熔解作業迅速化，提昇熱效率的傾向，此外送電線網的容量亦大了其電壓亦增高了。結果，類此之塞流線輪 (Reactor) 已成爲不可缺的裝置了。今試將 Reactor 的作用方法略述一下。當通過導體之際，勿論是什麼交流，其合成抵抗卽 Reactance 都是由有效抵抗 (Resistance) 及 Inductance 而成的。有效抵抗亦謂之歐母 (ohm) 抵抗，有關於電流回路的材質和橫斷面及長度的。將電氣 Energy 的一部份變成熱的電氣爐，如果在達到爐的中途卽在變壓器中及爐外部之電極部分消費了的話，此變化將爲 Energy 的損失。

導體之誘導係數 (Inductance) 捲線管之螺狀線的 Inductance 最大。Inductance 不等於有效抵抗，他既不會變化成熟，又不會變成其他的 Energy 而損失。Inductance 者換句話說卽是將電流的一部分返還向電流發生器中去的。故此所謂無效電流者向來是沒有工作，只往復動搖於電流發生器與消費場所中間的。電流之實效能力 (卽向導體中或向熱而消費之處所的能力，或是以其他之 Energy 形式作用的能力) 與電流發生器內被送出的皮相能力 (實效能力與無效能力之和) 問題關係，已說過了卽是力率，以 $\cos\phi$ 表示之。而其關係式如下。

皮相能力 (KVA) \times 力率 = 實效能力 (KW)

電流供給器之力率低是不好的。這是因爲電流供給器由於無效電流在電流發生器以及通電導體上作些無益的負荷，而實效能力不得完全的被利用，結果使電力的開支成本增高。今對此問題更以數字加以說明之。中央發電機的機械完全負荷的場合公稱能力或皮相能力爲 10,000KVA。而電流消費場所不生有自己誘導 (Inductance) 時其力率爲 1.00 所以由電流網能得到 10,000KW 的實效能力。然而力率如僅爲 0.60 的場合 (例如分給三相交流電動機之電流網多的場合)，由全負荷之中央發電所僅能得到 10,000 \times

0.60= 6,000KW 的實效能力。

故此欲獲得10,000KW時，中央的發電機則必須使之為有20,000=0.60= 17000KVA 的公稱能力者。隨之則必須附加使用一個7000KVA的發電機。從這裡看起1KWE 的價格，和力率是非常有關係的。力率低時電流供給器的KWE 價格便高，力率高時則便宜。一般之電弧爐裝置，力率是好的。因有0.80 0.90故電弧爐裝置的負荷是好的。故此操爐時的一些不好的副現象即熔解中的電流衝擊以及於裝入熔解，精煉中所起的種々現象，在某一種程度下是無防的。電流衝擊在電網線上將成為光的浪費原因，又使機械會過負荷而成為防害電流的原因。然而如設有塞流線輪時其障害頗能緩和之。塞流線輪的作用若就力率上說明之即在於能夠緩和電流衝擊。而電流衝擊亦可以說無非是生於接爐導體中的自己誘導 (Inductance)。由於電流衝擊若電流強度增大時，力率則急之減少。然而此時倘有塞流線輪，負荷即使激變，發電所亦很少得以感知。

塞流線輪由銅的螺狀線而形成的。被置於貯有油的箱內且本身圍捲着一個鐵心。塞流線輪大多都接續於變壓器的一次方。這是因為電壓高方之電流強度小，且銅的橫斷面小隨之設備費亦低的原因。若結用塞流線輪時力率會低下。所以於該線輪上接 tap與塞流線輪短絡用開閉器，用此類的裝置在裝入物熔解後，電弧安定時，將塞流線輪遮斷之。

選用塞流線輪時，應該根據生於爐之 Inductance 的高度，及負荷之磨變程度而為之。這個倘若不超過變壓器能力的2倍以上時，熔解中的力率以約0.35 即足用。此力率即便沒有塞流線輪，只要將變壓器與爐中間的電導做得適當即可得之。反之在負荷的大小不得超過其公稱能力的1.75倍或1.5倍以上的場合，則必須連結上經過很好選定的塞流線輪而將熔解中的力率降至約0.80或0.70。

第59表 弧光式電氣爐用Reacter容量

| 爐容量 (噸) | 變壓器容量 (KVA) | 全Reacter容量 (%) |
|------------|----------------|-------------------|
| 1 | 400乃至600 | 30 乃至 35 |
| 2 | 750 · 1000 | 25 · 30 |
| 3 | 1200 · 1500 | 25 · 30 |
| 5 | 1800 · 2000 | 20 · 25 |
| 7 | 2500 · 3000 | 20 · 25 |
| 10 | 3000 · 3500 | 15 · 20 |
| 15 | 4500 | 10 · 15 |
| 20 | 6000 | 無 |
| 30 | 10000 | 無 |
| 40 | 12000 | 無 |
| 100 | 2X12000 | 無 |

第59表上，為便利參考特指示着爐的大小與變壓器容量以及Reacter容量的關係（三菱電機會社製）

第六節 電弧爐的開閉裝置

The Switch arrangement of Arc furnace

電弧爐的電氣裝置之重要部分已略述過，唯餘有開閉裝置的問題，茲簡單的說明之。開閉裝置和變壓器應共放於不受埃塵，明朗且易通行的處近處。

電纜接續到Disconnecting switch上。此開閉器主要是爲了在修理爐時或休假時在爐子須要停止很長時間的場合，使爐全體裝置斷電之用的。爐子在負荷着的中間，此開閉器和其他開閉器一樣是不動作。在遮斷的時候，因爲於負荷狀態下所起的破壞電流而會招致到種々的不利，最危險的是有使看視人失明的時候。

於主開閉器之次須設一防護過電壓裝置。過電壓是由於電導網生樹

了電光，或是由於電流發生器中所生的共振現象 (Resonance) 而生起的。既使過電壓的發生時間僅為一秒的多少分之一，亦會摧毀變壓器 Coil 之絕緣體的，所以應該預防不使之發生為要。須由以絕緣體組成起來的安全裝置來防止他。這個裝置在電壓如果過大時會和地面連結起來，而不使電壓衝擊。

自過電壓防護器向主油入開閉器 (Main oil switch) 結上導體。油入開閉器在熔解工程中有連結變壓器或遮斷變壓器之用。油入開閉器是一個裝着絕緣用礦油的鐵箱，由於負荷而開閉的場合電弧很短而於油槽中馬上會消滅的。油入開閉器上設有最高電壓繼電器及零電壓繼電器等。最高電壓繼電器是受電磁力而動的。超過了一定的最高電流強度時在某一個時間後 (普通 5—10 秒後)，會自動的將油開閉器遮斷了，而防止變壓器 Coil 的過熱。零電壓繼電器亦同樣的以電磁力，操縱之。電壓沒有了或降至一定的最低值時此裝置便自動的使油入開閉器活動。在這樣不利的場合下會馬上使油入開閉器遮斷。所以操爐工人有充分的時間將和裝入物接觸着的電極，於電流重回來之前提昇上去。提昇時在和電極短絡同時發生的電流衝擊，會使全裝置或電流發生器的最高負荷遮斷器遮斷，於是說，會影响到其他的電力使用。

於油入開閉器到變壓器之間有塞流線輪或 choking coil，更有電壓切換開閉器等。切換開閉器為得路大斯大結線，可適當的連結在變壓器的高壓線輪上。正和 Disconnecting switch 的場合相同，此時的切換開閉亦決不可在負荷狀態下切之用。機械來閉鎖是較容易的。此閉鎖是只要油入開閉器被遮斷了，那麼切換開閉器便會活動的。電流從切換開閉器通到變壓器，更從變壓器通過低電壓的導體而達到爐。在低電壓導體的裝置上值得注意的事項容後再談。特示其開閉裝置於第 161 圖。

即高電壓裝置如圖所見般各部份皆裝置在特別室中。

這樣既適宜又合乎安全規格爐之低電壓裝置是由於下列幾種東西成的，即自動電極調整器，為獲得所要電流強度而必要的調節裝置，零電

第 161 圖 電弧爐開閉裝置的順序例

壓繼電器，由自動調整至手動之橫杆式切換開閉器，爐傾動裝置用的電動機，變壓器油冷涼之油崩卜電動機，如為空氣冷涼變壓器的場合則有向變壓器送空氣之送風器電動機，最後還有開閉器板或看爐人的開閉器機等。

開閉室須設在能夠看到爐體全般的地方。此室內又必須設有監視人為了看顧爐全體電氣情況而需要的全套器具。高電壓方與低電壓方各備有電壓指示器，但低電壓用指示器上又有為讀得各相之爐電壓的器具。低電壓方之各相上有一個電流指示器。又有能時時觀測出從電路網所得之能力的力率指示器。更須有「能」的示數器。熔解初期及末期之「能」示數器的數值應記入熔解報告書內，再就是要一個準確的鐘表。

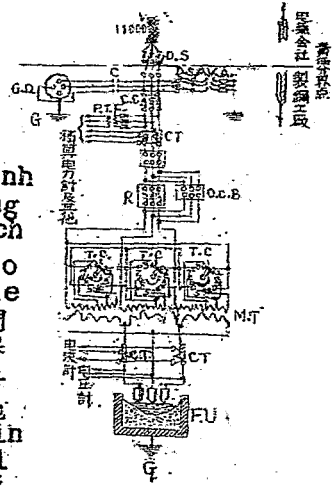
另外開閉室內又必須備有主油入開閉器，自動式電極調整器以及手動電極的直接開閉裝置，或以電氣間接操縱之開閉裝置。第162圖為電弧爐裝置之開閉箱一例。

對於全電氣裝置的按設問題，並沒有所謂最好的固定規則。

然而却有一個絕對適用的原則，即為「Energy的損失減少可將變壓器以低電壓導體按設到盡量接近爐體處為佳。」

於出鋼口的反對方向設有裝入口的場合變壓器室應放到爐的側面去，於出鋼口的90度側面有二個裝入口的場合變壓器可放在爐後。當然對地下水的情況要時常注意。變壓器室的天棚能自由的將變壓器吊出的場合，為了在必要的時候能夠隨時的將變壓器拆卸或按裝，所以起碼應該放在吊車的那所及範圍內是必要的。

高電壓裝置及低電壓裝置應該選擇地點放到靠近爐的地面上或二階



- 符號
- D. S. Disconnecting Switch
- A. V. A. Auto Vale
- 自動門
- G. 蓄電器
- C. D. 檢漏計
- C. 大地
- G. C. Checkin coil
- F. 鉛絲
- P. T. 變壓器
- O. T. 變流器
- R. Reactor
- O. C. B. 油入遮斷器
- T. C. tap 切换裝置
- M. T. 主變壓器
- E. L. 電極
- F. U. 爐

第164圖 變壓室內配列圖

上，且以不妨礙操作時的自由往來爲要（第 161 圖參照）[○]爐若設於高的作業台上時（第 163 圖參照），此作業台下部的室間便是變壓器或其他電氣裝置等的好位置[○]於作業台上大體只置放開關室[○]第 164 圖爲日本國內最普通的變壓器室內之配列狀況一例[○]

第十章 電極及電極調整裝置

The electrodes and electrode regulator

第一節 概 說

電極在弧光式電氣爐上是不可缺的東西，他在電爐作業中負有極大的使命[○]我們用他向爐內導電，並以其尖端部所發生的電弧而作業的[○]故減少其損失量，於電爐作業的經濟打算上最爲緊要的事[○]電極須具有的性質如下：須爲電氣的良導體，難於熔解，不和裝入物起化學反應，不影響鋼質，堅固而不易折損剝落，且須價廉等々很多[○]

今日使用的電極有炭素電極與黑鉛電極等，但日本只使用黑鉛電極，而炭素電極是全然不用的[○]黑鉛電極有天然與人造之別，其使用成績皆佳[○]形狀因圓形者便於接接，故皆爲圓形[○]徑爲 120—300mm 長爲 1500—2000mm 兩端須切有絲口以便接續[○]其製造工程見第 165 圖

第二節 炭素電極 The carbon electrodes

炭素電極是由無煙炭，Pitch 骸炭或石油骸炭（二者共爲純炭）內加臭油或 Pitch 等粘結劑造成的，但如用無煙炭則須在使用之先加以培燒，使揮發分至 0.5% 以下以後適當的加石油骸炭，粉粹乾燥之[○]隨後加粘結劑，更放入型內用強力的水壓々縮成形（第 166 圖），成形後放入加熱爐內（第 167 圖），不使氧化那樣以鐵板或粘土製筒保護之，周圍填上骸炭充分密閉起來用瓦斯或電氣於 1050—1150 度的溫度下加熱 10—20 天，待充分燒成後，更以差不多的天數給與冷卻之，最後將電極加工，切削絲口[○]所用之瀝青如不充分除掉其水分，製品則易於折損[○]

炭素電極的性質如第 60 表般[○]至於其寸法則須根據爐的大小來規定的，但大電極，通電較比少些，這個問題有關於表皮效果（skin effect）

fect) 通過外邊之電流雖多，但通過中心部的電流較少。直徑 850mm 以下的電極，每 cm^2 的通過電量為 6—8 AMP，更大的電極為 4—6 AMP，爐大小與電極的關係

如第 61 表般。

| | |
|--------------|-----------------------------|
| 電氣抵抗 | 30—60 ohm mm ² m |
| 安全電流密度 | 4—8 amp cm ² |
| 比重 | 1.56 kg dm ³ |
| 100 度下的比熱 | 0.20 kcal/kg 度 |
| 1400 度下的熱傳導量 | 約 50 kcal/h 度 m |
| 空中開始氧化溫度 | 約 400 度 |
| 灰分 | 5% 以下 |

第 61 表 爐大小和炭素電極之關係

| 爐大小 (噸) | 炭素電極直徑 (mm) |
|------------|----------------|
| 1 | 200 至 250 |
| 2 | 250 · 300 |
| 4 | 300 · 350 |
| 6 | 350 · 400 |
| 8 | 400 · 450 |
| 10 | 450 · 500 |
| 25 | 600 (捲材) |

普通電極的寸法在 100—250mm 之界限，每隔 25 mm 而遞增之而 250mm 以上的電極則改為 50 mm 遞增。寸法的公差為 $200 \pm 3 \text{ mm}$ ， $350 \pm 4 \text{ mm}$ ， $500 \pm 5 \text{ mm}$ 。

炭素電極的消費量，在使用冷材的場合，每一噸鋼為 10—40 kg，平均為 16 kg，焙材的場合為 8 kg。爾對 1000 kWh 電力的消費約為 18 kg。此消費量由於電極的性質以及操作方法是大有不同的。至於電極實際成爲電弧有效的使用率很少，大部分都是燃燒損失了的。直接在 450 mm 以上的炭素電極因作不好，故直徑為 500 mm 的電極即使仔細使用，對鋼一噸亦要消費 25 kg 之多。炭素電極的消費量大體上爲黑鉛電極的 2 倍以上。諸外國雖見使用，但日本是全然不用他的。

第三節 人造黑鉛電極 The Artificial graphite electrodes

人造黑鉛電極是將作炭素電極的原材料，以黑鉛化的方法使炭素全

體變成黑鉛的。方法是將炭素電極於電氣抵抗爐中以 2000 度加熱 4—6 天的。所以黑鉛電極的價值，是隨同此黑鉛化的費用多少而增加的。電極一噸的黑鉛化須要 6000—10,000kwh 的電力。黑鉛化的方法，大體上是將粉末炭素和灰分中之氧化物結合而形成的炭化物在高溫下分解變成黑鉛，而其他的不純物則使之蒸發出去的。

黑鉛化完畢後，使爐緩冷之

20—30 天之後取出再

圖 69

加工即成。

此製造方法為阿迪生博士之發明，但今日除阿迪生會社之外尚有很多地方亦在製造着。日本有日本 Carbon，東海電極東洋 Carbon，昭和電極及日本電氣工業等地正在爭製着。

圖 70

人造黑鉛電極的性質如第 62 表般。

電極的大小根據其使用爐的噸數而不同，大體如第 63 表般。人造黑鉛電極比之炭素電極電氣抵抗僅為 $\frac{1}{2}$ ，故即使向二者通過同量的電流，本電極的直徑有炭素電極的 $\frac{1}{2}$ 則足用。這最少對有着三個

600mm 大徑的大電氣爐上是最有利的一點，尤其對強化爐蓋是有利的一點

第 62 表 人造黑鉛電極之性質

| | |
|------------------|-------------------|
| 電氣抵抗 | 8 乃至 15 ohm/mm, m |
| 安全電流密度 | 15 ~ 30 amp/cm |
| 比重 | 約 1.40 kg/dm |
| 0 度至 1000 度中間的比熱 | 約 0.30 k.cal/kg/度 |
| 1400 度下之熱傳導量 | 約 120 k.cal/h/度加 |
| 空中氧化開始溫度 | 約 700 度 |
| 灰分 | 1.5 % 以下 |

第 63 表 人造黑鉛電極的大小

人造黑鉛電極的價格雖高（一噸在 1000 圓上下）但因有許多利點，故用者極多。其消費量，對每一噸鋼，在鹽基性爐裝入冷材的場合為 4—5 kg，總之一般的為炭素電極消費量的 $\frac{1}{2}$ 以下。對每 1000 kw h 的電力為 8 kg。

| 爐的大小 (噸) | 電極的直徑 (mm) |
|-------------|---------------|
| 1 | 100 至 125 |
| 2 | 125 ~ 150 |
| 4 | 150 ~ 200 |
| 6 | 200 ~ 250 |
| 8 | 250 ~ 300 |
| 10 | 300 ~ 350 |
| 15 | 350 ~ 450 |
| 25 | 450 ~ 550 |
| • (熔材) | 350 |

第四節 天然黑鉛電極 The Natural graphite electrodes.

天然黑鉛電極是將天然產的黑鉛粉粹後，加 Pitch 混攪，用水壓器壓成所要的形狀，然後並排於爐中填滿該炭密閉，不受氧化作用那樣進行加熱。加熱時普通使用發生爐瓦斯。加熱溫度與加熱時間大體上同如炭素電極的場合，於 1050—1150 °C 加熱 10—20 天後更用差不多的天數冷却之，最後實行加工清淨，並切削絲口。此電極為日本之獨有物，利用朝鮮與印度產的天然黑鉛已獲良

好的成績。

其性質位於炭素電極與人造電極等中間。大體如第64表所記載。

使用寸法大體上同於人造黑鉛電極或略大些。參照第65表但過小者或過大者。因為使用人造黑鉛電極有利。所以實際上不很多使用天然電極其消費量為人造黑鉛電極的2倍弱。價格約為半額（一噸為500圓上下），所以在某一種特殊場合下也是有利的。製造炭素鋼塊及鋼鑄物等的工場用的最多。

第171圖

第64表 天然黑鉛電極的性質 第65表

第65表 爐大小和天然黑鉛電極的關係

| | | | |
|----------------|-----------------|------------|----------------|
| 電氣抵抗 | 15乃至30 ohm/mm/m | 爐大小 (噸) | 黑鉛電極直徑 (mm) |
| 安全電流密度 | 8 · 20amp/cm | 1 | 150至175 |
| 比重 | 1.70kg/dm | 2 | 175 · 200 |
| 比熱(0度至1000度間的) | 0.30kcal/h/度 | 4 | 200 · 240 |
| 熱傳導率(1400度下的) | 30kcal h/度/m | 6 | 250 · 300 |
| 空中開始氧化溫度 | 600度 | 8 | 300 · 350 |
| 灰分 | 15%以下 | 10 | 350 · 400 |
| | | 12 | 400 · 450 |

第五節 天然及人造黑鉛電極的比較

The Natural Versus Artificial Graphite Electrodes.

從來的文獻上雖常見有炭素電極與黑鉛電極即所謂人造電極的比較，但同天然黑鉛電極作比較的却極少。而日本的製鋼界偏又不用炭素電極（皆用天然黑鉛電極），所以著者認為將天然黑鉛電極與人造黑鉛電極二者作一比較是很必要的。尤其是像前面已說過了那樣天然黑鉛電極的性質位於炭素電極與人造黑鉛電極二者之間，故關於炭素電極的一些詳細問題亦能從以下諸項中推定出來的。

先就其價格方面講（見第6.6表般）人造黑鉛電極的消費量雖少，但價值頗高，結局還是貴的。最要算天然黑鉛電極經濟一些。很小的爐子或很大的爐子雖多用人造電極，但除此以外大多都用天然電極。更詳言之，即1噸以下或1.5噸以上的爐子用人造黑鉛電極，而3噸左右的爐子則多用天然電極。這是因為直徑400mm以上的天然黑鉛電極在製造上困難些，而100mm以下的天然電極，因其粒子粗大切絲口困難，所以在這兩場合下要使用人造電極的。

再者如果一根電極的電流量超過了10,000Amp以上時普通要用人造電極的。

更為了便於參考起見，特將東海電極之永井雅夫氏所執筆的小冊子，拔萃介紹於下。

(1) 低炭素特殊鋼專用爐

- 1) 使用人造黑鉛電極以高電壓低電流操作為要。
- 2) 天然黑鉛電極是不值得期待的。

(2) 普通炭素鋼專用爐

- 1) 如用天然電極時，照舊以低電流操作是有利的。
- 2) 人造黑鉛電極和天然電極完全以同樣的條件來用是不利且不經濟的。此時選用有特性（低抵抗高強度的細人造黑鉛電極）且比天然黑鉛電極的場合更以高電流操作之，而加炭劑另作考慮反而有利。

(3) 低炭素特殊鋼及普通炭素鋼等併用爐

這個場合，在實際上因為不能夠隨時的更換電極，故須專門

選用人造或是天然等二者之某一方。因為用天然電極來製造特殊鋼比較不適當，所以只使用人造電極，順應着不同的鋼種適當的考慮一下電壓電流的問題則可。

(4) 1 爐如二電極併用的場合。

此種方法我以爲在多數的場合是不能發揮其效果的，即是

1) 製造低碳素鋼的場合

由於天然黑鉛電極會瓦斯化以及崩壞等等不利，人造黑鉛的特長致被抹殺的。

2) 製造普通炭素鋼的場合

兩者以同一條件使用是毫無意義的，人造黑鉛的效果亦不得以發揮，反而不經濟。

3) 在特殊的場合下，例如爐的某一個極總是有偏流傾向的時候單把此極換用人造黑鉛電極，這也不是不能這樣作的，但終非良策。

附表 1 鋼質與電極材的關係

| | | |
|------------------|---------|-------|
| 1. 電爐內氣氛的影響 | | |
| (1) 電極表面的瓦斯化(Co) | 小 | 大 |
| (2) 爐內氣氛傾向 | 弱還元氣氛 | 強還元氣氛 |
| (3) 用途 低碳素特殊鋼 | 必要 | 不可 |
| 普通炭素鋼 | 如不注意則不利 | 有利 |
| 2. 對鋼滓的影響 | | |
| (1) 電極表面的崩壞 | 小 | 大 |
| (2) 鋼滓傾向 | 白色鋼滓 | 炭化鈣滓 |
| (3) 用途 低碳素特殊鋼 | 必要 | 不可 |
| 普通炭素鋼 | 如不注意則不利 | 有利 |

附表 2 鋼質與電極負荷之電壓電流關係

| | 電 壓 | | 電 流 密 度 | |
|-------------------------|-----|---|---------|---|
| | 高 | 低 | 大 | 小 |
| 1. 鋼滓對電極表面侵蝕 | | | | |
| (1) 電弧長短 | 長 | 短 | | |
| (2) 電極面侵蝕 | 小 | 大 | | |
| (3) 炭對鋼滓的炭素混入傾向 | 小 | 大 | | |
| 2. 由於電弧電極端面崩壞炭向鋼滓炭素混入傾向 | | | | |
| | 小 | 大 | 大 | 小 |
| 3. 用途 低碳素特殊鋼 | | | | |
| 普通炭素鋼 | 可 | 可 | | 可 |

第六節 電極的接續法

The Method of joining Electrodes

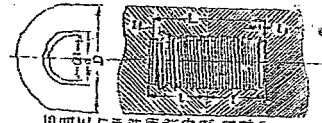
電極的接合方法是將二電極之兩端以同成分的電極接合器 (NIPPI) 和漿糊 (黑鉛與瀝青之混成品) 等使之密着一起的。但黑鉛電極可以全然不用漿糊的。今欲接合新的電極時，用第 174 圖之電極吊上器 (Electrode hoist) 挿入電極之一端，以起重機吊起搬至爐上 (如第 175 圖) 將已在爐中的電極螺絲內先塗好粘結並按上接合器，此時將新電極亦旋入接合器之露出部，當旋入時盡可能緩慢的從吊車上放下電極，用手旋入之爲佳。



天弧黑鉛電極用接手



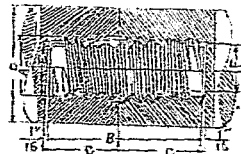
10mm以下天弧黑鉛電極用接手



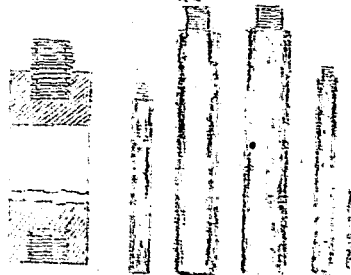
10mm以上天弧黑鉛電極用接手



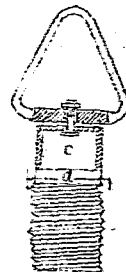
人造黑鉛電極用接手



第172圖 各種接手的形狀



第173圖 電極及接手接合圖



第174圖 電極吊上器

175 圖

176 圖

第七節 電極的故障 The Trouble of Electrodes

在電極問題上最困難的是在操作中的折斷。折斷而落至爐內時，向外拿極為困難。並且又不得不長時間的停止作業。如果在熔解後，特別是精煉期斷落到熔鋼內時，將會增添熔鋼中的炭素量，隨之對予定成分則有防碍。故欲電極不斷，則必須對貯藏方法加以注意，倘遭溫度之激變，或遭濕氣等時則易生裂紋，以至折斷的。故此在操作中應該避免接用新電極為要。換電極則必須在裝入後送電前，檢查是否足一次熔解之用，不足時，可接上新電極送電時當緩慢加熱之。

欲防止電極的減耗，則應時常留意勿使局部的抵抗增高而致過熱為要。如果電極穴過小或中心不正時電極則易折斷。不留心將電極過度降低時亦會折損的。注意儘管周到，電極依然會折斷的話，即是電極本身的品質不良的關係。然而據著者所經驗的，電極之折損，大多是由於操作者的不愜而致，熔解中將電極過於降低，或用鐵棒撞未熔解鐵屑，以及投入添加物等時多為出毛病的時間。頗熟練的操爐工在用着良好的自動調整器操作時，電極是不易折損的。

第八節 薩得別爾固連續電極 The soderberg continuous electrodes 再關於薩得別爾固連續電極簡單的記述如下。

過去此電極主要是用在鐵合金用的無蓋爐上，但在最近的未來，將會應用到回轉爐上去的罷，本裝置為中心部有着小孔的薄鐵板製筒，形成了電極的外殼，而將電極的混合物填充到此內的。混合物為無煙炭石油酸炭加 Pitch 或瀝青等合成的。此混合物裝入筒中後，緩降下來，由於爐熱及電極之內部抵抗而能焙燒得好。電極短了時可熔接上新的筒子然後再填充進去新的混合物，因為舊電極的上部尚較鬆故能同新者結粘在一起的。

第 178 圖

使用此物的利益主要是爲了經濟，與減少電極的破損。鐵筒能保護電極且可防止過剩的氧化。然而今日的煉鋼場却沒有應用他。原因第一個是於爐蓋上必須按設上永久的作業台，不然沒有辦法進行熔接，同時因新接上的長部分很重，爐體當傾斜時受到很大的力量，本電極在鐵合金爐上已獲成功，有很多的利益，所謂有利即，經濟，電氣傳導好，熱損失少，氧化少等，又可以使電極任長任短，且得安全操作。從這些利點來看此電極或此原理之應用電極，終有一天會適用在回轉爐上的。

第 179 圖

第九節 電極調整裝置

The electrode regulator

電弧的熱作用和電極中之電力強度相關，故欲使爐強熱或弱熱時必

須適當的變化其電弧的強度。最簡單的方法就是調整其電流的強度。電流之流過電極由於電弧的抵抗而左右之。電弧抵抗與電弧的長度其比相等，所以欲通過所要的電流強度的話，調整其電極尖端與裝入物之距離則可。

此問題在精煉中容易而熔解中是困難的。因為精煉期的液面成水平可以將電極位置固定於距表面任意的距離上。反之在熔解中，裝入物不斷的熔解，減少體積，隨之弧長大小動搖很甚，欲保持一定的電流強度是非常困難的。

電極保持器為手動，又須時時刻刻對距離加以調整的話，熔解時間勢必延長，因為昇降時不能過快必須緩慢行之以防意外（電極與層鐵直接接觸而起短絡）。同時如果為手動式的話，此工人在熔解中就不得作其他的工作了。

在這一點上自動式電極調整器 (Automatic electrode regulator) 的需要便隨之而生。是為新時代之電氣爐裝置上不可缺少的東西。電極的自動調整器有種々の形式，但大體上可分為兩種，即電動式與水壓式者是也。電動式之中尚分為專靠電流來調整的與以電壓電流兩者來調整的二種。電動式者是靠電磁而動的裝置，只靠電流者是流過電極的電流強度作用到電磁的開閉裝置上，如電流強度過高時電極則上昇，反之電極則下降的。屬於此類者有 Bergmann-Elektrizitäts-Werke, Thury, Watford, A. G. E. (Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft) 及 S. S. W (Siemens-Schuckert-Werke)，但於此只就其代表者 Thury 式述說於下。

電壓電流兩者併用者比之前者為佳。普通的調整只考慮到各相間的電流平衡問題而沒對電壓作任何考慮。正因為這樣，電極之一部份有時會沉入熔液中而不生出電弧，這種現象當然是不好的，能使爐溫分布不均，同時沉入之電極又會熔解而增高炭量，使鋼質劣化。可是如用電壓電流併用之調整器時，此項故障是可以迴避了的。屬於此類者有 Westinghouse General Electric 及 Watford，茲介紹其代表者之 Westinghouse 於下。

水壓式是不用電動機來昇降電極而以水壓活塞來代替的。此場合的操縱裝置只是一個弁。此弁在必要的場合能使水自由的出入之。此弁

的裝置亦同樣靠電磁的開閉器而通過電流的強度會被上下調整的。屬於此類者有 B, B, C 式與大同式就其代表者 B, B, C 式介紹於後。

1. Thury 式電極調整器

Thury 式電極調整器是只以各相間的電流平衡而調整的裝置，其構造如第 180 圖所示般。由於滑車 V，制動輪 H 及制動鉤 K 向左右動之，而制動鉤上有橫杆於制動輪上連結着有二個銅製的接觸點 (Contact) Z 的曲軸。電極若保有標準電弧時橫杆則水平的動之為平均狀態，然若爐中電弧變化時，電流則由於導線途中的小變壓器被導向 Solenoid (輪線筒) F，而使橫杆 E 上下活動之。

今如電流通過強時輪線筒下會強吸曲形橫杆 E E，而接於 E E 一端之鐵板 C 則和 E E 一起上昇之，推着制動鉤 K，I 則從 H 輪處分離。因為不觸到 K 所以 I 則抓住 H 上部的穴孔，推動了制動輪，而將運動傳到曲軸。如是銅製 Contact Z 接觸到右方的二個炭素接觸點 X 上電流便從 X 傳向電極電動機而使電極上昇之。如果電流弱的话 solenoid (輪線筒) 便放下了橫杆 E E，C 降下，只推動 K，I 作用到輪上，以同前相反的作用而調整電極的。如果電極本身流有標準電流時 E E 則水平的動之，不對制動輪及鉤有任何作用，故接觸點 Z 歸到中心而成爲平衡狀態。其外 A 及 N 等是調整橫杆 E 之運動的 N 中盛油更以備有的小鏢絲而防止其急激的反作用。有的時候橫杆 E E 動得不正規，而不會給與 K 或 K 以正規的作用，所以用 b 的鏢絲加以調整之。第 181 圖爲此調整器的回路線圖。

181 圖

2. Westinghouse 式電極調整器

Westinghouse 自動電流調整器，如第 182 圖及第 183 圖般是以調整盤 (Regulator Panel) 與制御盤 (Control Panel) 而成的，全爲電氣式，自動及手動二者皆可使用。用電壓電流二者來調整是他的特徵。

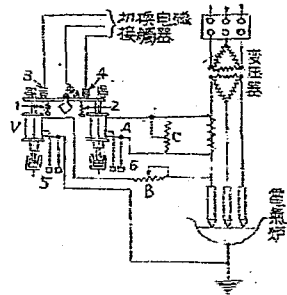
調整裝置的構造有如第 184 圖般的關係。電流線輪 (Current Coil) A 與電壓線輪 (Voltage Coil) V 形成爲平衡繼電器，3 與 4 二組的接觸

子 (Contact) 被設於橫杆之上。電極如保有標準的電弧時橫杆便保持着水平，然爐中的電弧有變化時電壓線輪或電流線輪便被附而橫杆上 3 或 4 之某一方的接觸子致被關閉，然後經過了切換電磁接觸器而使電極操作用之電動機回轉的。

今如開始電氣爐的操作時，先對一相的場合來想 V, A 兩線輪皆未被附勢，故橫杆由於發條 1 及 2 而維持着水平的位置接觸子 3 及 4 則開放着。於此如將油入遮斷器 (oil switch) 關閉起來時，各電極與爐體間會增加電壓故 V 被附勢，

吸引其鐵心，閉上了接觸子 3 使電動機向電極下降方向回轉之。而電極移動的速度每分以 750~850mm 為適量。及至電極接觸到被熔解體上時，加於 V 之電壓會急之低下，故 V 的吸引力會減少，橫杆復歸水平，電動機則停止。頂到 2 極以上接觸到被熔體中間電流是不流動的，所以在這個中間 A 處不會生有吸引力。以後待 2 極接觸到熔體時電流才會流動，A 處亦隨之生有引力，關閉了接觸子 4，向着電極上昇的方向回轉電動機，如是又會生成電弧。另一相之動作順序亦同。這樣電極在上昇着，V, A 間的吸引力在頂到保持平衡中間電流在減少着，及至電壓上昇，始告停止。此間電弧上如生有變化時 V 及 A 的吸引力上形成不平衡，而使電動機向着補救此不平衡的方向旋轉之。

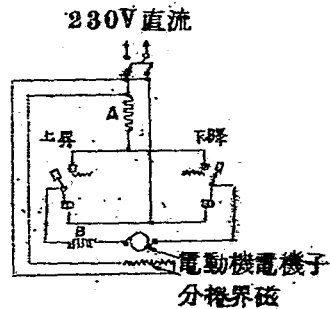
電流調整抵抗器 (Current adjusting rheostat) C 與 A 並聯接續在變流器的二次方，故由於此器的調節，對一定量的動作電流能將 A 的電流值於某一範圍內使之變化的。此範圍普通是從定格電流至約 20% 之間的。補助接觸子 5 及 6 為附屬於電磁接觸器上的東西，下降的接觸器關閉時 5 便關閉，而上昇的接觸器關閉時 6 便關閉各使 V 及 A 線輪的一部分短路的。故此假設電流增加而橫杆向着使上昇接觸器動作的方向活動時會使 A 線輪的一部短絡，減少其吸引力，



第 184 圖 調整裝置之略圖

會使橫杆復歸水平的所以此中間的電動機如果沒能將電極移開到足能使電流充分減少的距離時，橫杆在復歸水平後A的吸引力猶勝過V的吸引而會再度的將上昇的接觸器開成的。於是則起振動，但如果電流為整定值之約±15%以上的時候，A或V的一部份由於補助接觸子即便短絡而鐵心之降下因尚有充分的吸引力，故此電動機會向着電流復歸向整定值的方向轉轉之。而電流接近到整定值之約±15%內時以補助接觸子6而被短絡了的A已不能吸引鐵心，橫杆則歸水平位置。即在整定值的約±15%以內調整器陷於振動狀態，電動機受到了連續的衝動逐漸的復歸到整定值。如是在達到整定值之約±15%以內之先會使電動機迅速回轉之，並且在達到了±15%以內之後亦毫不紊亂的動作，故可稱為既敏捷且精細之自動電流調整器。

第185圖為電動機回路的結線圖，C、D者各為使電動機回電極的上昇或下降方向回轉之電磁接觸器。A為起動抵抗 (starting resistance) B為制動抵抗 (Breaking resistance)，分捲界磁 (shunt field) 被接續到直流電源上。這種結線，既伴着電磁接觸器C或D上部接觸子的開成 (接觸器開放即不接觸) 而電動機的電動子之極性會各々轉換，故其回轉方向亦變化。而兩接觸器皆去勢 (失磁) 時馬上下部接觸子剛開放，電動子通過抵抗B被短絡 (短觸)，會給與電磁制動作用。在第184圖中的所謂補助接觸子5及6者，即是意思着此電磁接觸器C、D上所附屬的補助接觸子。電磁接觸器C及D為雙投式上下各有線輪，其下部線輪更由於一個線輪而成的。上部稱之為動作線輪，下部線輪中之一者稱為保持線輪，另外



第185圖 電動機回路的結線圖

的一個謂之中和線輪，中和線輪與動作線輪被直接的接續着。此中保持線輪是常被附勢 (帶磁) 而將下部接觸子關閉着的，但是此外若中和線輪與動作線輪若被附勢時因為中和線輪與保持線輪有抵消磁來的特性，故此可動鐵片會被動作線輪吸引上來而使上部接觸子關閉的。所以像這樣設成三線輪的所以然是為了使動作敏捷而確實的關係。

第186圖是將第184圖與第185圖二圖合成起來的全回路的電氣結線圖。本式者為三菱電機製作所之製造，名之為A F型自動電流調整器。

3, B, B, C式自動電極調整器

此自動電氣水壓式電極調整器是電氣與水壓力兩者併用，最稱銳敏的裝置。其構造大體像第187圖那樣。水壓制御弁 (Hydraulic control Valve) 2會將水送到水壓筒1中，此時其中部的活塞便被推動了，而使電極向上昇的。弁2以水壓弁調整器 (Operating Valve regulator) 3推動之，3又是從連結於所屬電極的變流器4處給電的。而在開關5處能使變流器之比變化且加以調整的。今欲停止電渣操作場合而把油入遮斷器8開放了，由於其回轉軸上的接觸子6能和補助變壓器7相連絡，之後補助電流便向調整器3給電。於是調整器便活動，電極則自動的上昇着。其補助電流又以抵抗器8而得以調整之。

如將油入遮斷器關閉時電極便以自重落下，和裝入物之間生成弧光可以繼續順利的操作之。電極之落下速度由給水閉鎖弁 (adjustable non-return Valve) 9調整之。

此水壓式電極調整法上最適當的水壓為5—10 kg (70—150 lb/in²)。水之消費比較少，根據爐的性質及作業方法等之不同大體上對鋼一噸為100—500立 (20—100 gallon)。故可以利用自來水，如果水壓不够時可用小崩卜。設備上貯水池 (11) 及空氣槽 (12) 使水循環之則可。貯水池與空氣槽有調整壓力的作用。

此裝置又可用人力為之，即先將栓 (14) 關閉起來，將逆流弁13活動即會被調整的。在電極下降的時候，此逆流弁能夠調節水壓筒1) 所排出來的水。

水壓制御弁2是，於設有着活塞的水壓筒上接有三個水管通至電極昇降用水壓筒1起動着電極，右側的水管從崩卜10導入高壓水，而下方的水管通到貯水池11作排水之用的。這3個水管由於水壓制御弁內的活塞能使不同的二者連絡起來的。活塞上昇電極則下降，反之活塞下降電極則上昇。電極移動速度和此活塞活動距離直接的比例着各弁又如第189圖較。由於2個連桿 (能作調節用的) 被接連在調整器上。

調整器3的構造見第189圖上部是由鋁製回轉筒和電磁石起作用

則回轉筒回轉之。回轉筒的運動又由於扇形齒輪和連桿而傳導到下方的制御弁。調整器是一個能調整 5 Amp 一定電流的裝置。故通向電極者被調整成相當於變流比的電流。調整器中又有空氣制御裝置，能使制動作用起變化的。變流器一般設於導向須調整之電極的電流中途。其二次線又設有 7 個不同的 tap。於是只要迴轉配電盤內的把手，被給電的調整器之變流比就會變換的。

第十一章 電氣爐的效率

The efficiency of Electric furnace

第一節 電氣爐的 Energy 消費量

電氣 Energy 的開支，在電氣爐製造鋼的成本中佔着最大部份，故當計算總的成本時，最注重着電氣消費量。譬如現在想新設一電爐時，第一會想到的便是電氣 Energy 的問題。至於各式構造開閉裝置的特性等類對 Energy 的消費（即為電力熱光，等的總消費）之影響極少，另外其他方面的關係，如定貨者的希望等皆為次要的。

鋼一噸當量的 Energy 損失，一般的是隨着裝入量的增加而減少，即爐體若大則減少的。放熱之爐外面只是平面的增加，但爐的容量則是立體的增大着。所以每噸之熱損失量是隨着爐的增大而減少的。爐的大小和變壓器容量之比亦有影響的，一定的爐其使用變壓器的容量若大熔解時間則短，隨之時間損失亦少。爐，變壓器容量及熔解時間三者間的關係見第 159 圖之說明。

Energy 損失的標準，依以下那樣根據製品的種類不同。普通鑄鋼的精煉時間為 $1\frac{1}{2}$ — $2\frac{1}{2}$ 小時，而高級鋼的精煉時間為 $2\frac{1}{2}$ — $3\frac{1}{2}$ 小時，故其電氣的消費量亦少。此外造鋼塊的場合或多造鋼鑄物的場合根據爐子是否中斷操作而不同。出鋼後到第二次的再送電，中間休息時間如果長，爐體蓄熱之損失多，再加熱使之昇至一定的溫度時所要電力大。前述般，根據爐的構造種類，爐的作業法及裝入重量等情況即使一噸當量鋼的電氣消費量不相同，然而一般的規準數值是有的。大體的記下此一規準，更連係到前述的一些關係於一定的特殊場合實

際是有用的。

熔解冷材一噸，於連續作業的場合要 520—620kwh。此數目字是以次法，即看到熔解開始與熔解後的電氣狀態而決定的。最後一點（熔點），由於用攪拌器進行攪拌而可以充分正確的調整之度。到熔點間，從鐵的比熱上計算得來的一噸鋼精煉所要之理論熱量需要 340 kwh (1kwh=859Cal)。應該注意到此中又包括渣滓材料能得熔解程度的熱量在內的。此 340 kwh 的理論電力，可稱作業中之適當值。而 520—620kwh/噸於實際的工作上利用之，此中之 180—280kwh/噸於熔解中傳導至爐體而失掉。熔解能力（即有效熱）與失熱之比可用次記之數計算出來。即約為 $\frac{340}{570} \approx 0.60$

從冷材至出鋼之完成熔解作業在精煉中電力的損失需要 200—500 kwh/噸。此數目字有關於冶金學需要即完成製品及由於冶金學需要而花費之精煉時間的差異。普通鋼與鑄鋼的場合此值低，高級鋼為高值。精煉期間中為使添加合金以及渣滓材料熔解故須使液溫保持着比必要溫度更高 100—200 度是必要的。為了補充傳播向爐體上的熱量需要 100—400kwh 噸的熱量。故於精煉期之熱能率為 0.5—0.2

總之於電氣爐煉鋼法上裝入量一噸的電力損失量平均如下：

製造高級鋼的場合

冷材 900kwh/噸

熔材 450 *

普通鋼及鑄鋼的場合

冷材 700kwh/噸

熔材 250 *

此數目字為對 5 噸爐的平均，而變壓器的容量對裝入一噸當量為 200 kVA。小爐及弱力的變壓器時採取至 20% 的高值，反之採取至 10% 的低值。

對熔材之規準較弧光式電氣爐與誘導式電氣爐兩者皆適用。後者的場合其爐體的熱損失雖小，但有以下的缺點結局是不利的。所謂缺點即誘導電氣爐不好空放着。如着星期日休息的場合等，只好裝滿流動金屬放着，同時尚須要加熱。

第二節 於電氣煉鋼上電力損失的意義

The Meaning of Energy loss on the Electric steel Making.

從送電線所得到的電力，在熔解中大體有 60% ，精煉中有 20-50% ，平均為 35% 的電力成爲有效熱利用在鋼及鋼滓中，所餘之 40-60% 皆失於爐外。於此來研究其損失之個々原因，亦即是發見減少損失根據之最近途徑。

弧光式電氣爐的電力損失可分爲三種類。

1. 於導向爐體中間的電力損失

此爲變壓器，電纜及電極等處之損失的總和。

2. 由爐壁的損失

於爐周圍，由於傳導與放射的損失，及冷却水的損失，自爐門與間隙的放射等亦包括在內。

3. 由逃出瓦斯 (gas) 內帶走的損失

關於各種「能」(Energy) 的損失原因等容後探究之。

第三節 變壓器損失

The transformer loss

變壓器損失者爲鐵與銅的損失，鐵損失是由於渦流及變壓器中的廢壓工作而發生的。這些和電流的強度無關。又和相的電壓之平方相比例而增大着。變壓器如從得路大 (Δ)，斯大 (Y) 變換向斯大，斯大接線時電壓則以 $\sqrt{3}$ 之 1 之比而減少。變壓器的鐵損失爲 3 : 1 的關係。

變壓器的銅損失是由銅捲線的 Ohm 抵抗而生成的。和電流強度的平方相比例而增大着。若變壓器中不通有電流而有電壓時，和鐵損失相反實際上銅損失是不會出現的。所謂變壓器的損失者爲被導電力的約 3%。這在電氣爐的損失計算中最低小的。又幾無再節約的餘地。最高 (甚) 的損失，已爲衆所熟知，即在比較長的靜止場合 (如星期日) 欲減少鐵損失將變壓器從送電線上切斷之則可。

第四節 電流輸送的損失

The losses caused by current transmission

自變壓器至爐中輸送電流時的損失，由於銅帶及爐外部之電極部的歐母 抵抗部分的發生之。此損失是和電流強度的平方相比例而增大的。同時又有關於電流輸送的長度（路線之長短），狀態及電極之通過抵抗的大小等。除歐母 損失之外，因尚會發生渦電流，及於電流回路連接之鐵部全體上會生有廢壓電流，故亦有損失的。

電流輸送的平均值為被導入變壓器中之電力的60%。歐母 損失應盡可能使之減少。電流回路盡量使之短一些。又須使用足用之斷面者為要。為了除掉起於有表面效果 (skin effect) 之純質導體邊緣部的過負荷，以銅帶或捲綑電纜來代替純質之鐵帶比較好些。欲使通過抵抗減少的話，須將接觸部錫。氧化銅的傳導能力不佳，所以應該用優秀的金屬銅來導電流的。關於這一點，單從「電極把持器必須用黃銅製，或即使用銅亦須水冷之」的事實上看起自然會明白的。鐵製的把持器是不好的。不用水冷的銅把持器，被熱後會很快的生成氧化膜，通過時的抵抗則大。並且傳導方向亦不好致而接觸部分發紅。

保持小的通過抵抗，電極須為正圓形且要把半圓把得過緊損失則大故以熔解中不至於發核之程度則可。

欲減少與電流強度同樣增大的感應渦電流時，則須注意使鐵部分盡量離電流回路遠些，特別是純質之鐵部分要注意。像這些部分如果不能使用無磁性的金屬時，亦當將磁性金屬細分成極薄，並且相互之間絕緣着的薄片而用之。

第五節 水冷的熱損失

The Heat losses caused by cooling water

耐火爐材中最容易受害的部分以冷水箱加以保護之。爐蓋的電極穴周圍，電極把持器，靠部的支柱及拱門等處各設有冷卻環或冷箱給與保護之。此外支持爐蓋的壁部亦有用冷水冷環的。冷卻裝置的作用在於

奪熱。這是對爐體構造的保護方面之一筆過剩開支。即是過分的浪費了熱也就是「能」(Energy)。電極冷却而丟失的熱量，5噸爐的場合為50 kW左右的電力，7噸爐的場合為60 kW左右。7噸爐又有以下的損失，即是水冷之爐蓋環有10 kW，水冷出鋼口有1.2 kW，水冷之電極把持器(黃銅)有30 kW的損失。

正因為損失是這樣大所以一般只將絕對必要的地方，即爐蓋的電極穴實行冷却的。非冷却的鐵把持器，應該以冷却的銅電極把持器代替之。

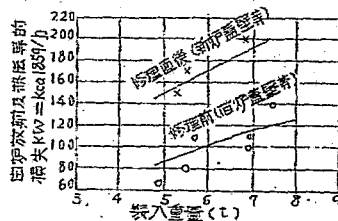
在使用連續電極，「壓得別爾固」電極的場合，此冷却把持器是無用的。

結局是能夠節省了拱門，拱門支柱及爐蓋支柱等處的修理費，不過需要看人所得的節約與電力的損失是否能互相抵消，前記之數目才得決定的，然而實際上裝入口及出鋼口附近亦用水冷却之結果是好的。但設冷却裝置太多時候，在冶金學上看起危險性較多。即是說爐內如漏進水，而一直沒有發見繼續操作到最後時，對爐操業上將有重大的不利，隨之鋼質亦極其惡劣。

第六節 爐壁的熱傳導及放射損失

The Heat losses through the Lining and by the Radiation

爐的熱傳導及放射損失於弧光爐的電力損失中最為嚴重，其損失程度由於爐壁外表與周圍的溫度差等而定之。而這關乎磚層的厚度及熱傳導度與爐蓋狀態等的全體損失量，以種人的方法計算之，爐的大小與損失量的關係係第192圖。即6噸爐平均有140 KW的電力會從爐蓋，壁及其蓋地方失掉的。損失中最大的是從爐蓋上逃掉的損失。新蓋子和其餘部分的全面損失溫度殆同，使用得很久已很薄的爐蓋會失掉其三倍的熱量。在這一點上，單從爐的構造



第192圖 於熔鋼中由弧光爐壁的損失 (包括冷却水及放射損失等) 爐蓋中約耗至20 Kw。

上欲求得更大的節約，不幸得很是極少的。以適當的保護，在可能的範圍內減少其熱損失，這種想法的本身，很正確，又是可能實現的，但是借乎耐火材料及斷熱材料的耐火性，還不够，尙未至成功的境地。

爐蓋材料，大多數只用硅磚，此硅磚應避免受熱，譬如爐蓋上若積有很多塵土時，形成了絕緣體，爐蓋本身不得盡量的放散熱，致而蓄熱很多，這是應該注意的，這塵土將會使磚內面的溫度上昇至有害程度，爐壁及爐床的斷熱，難以期待良好的結果。一切斷熱材料的主要部分能耐 850 °C 的溫度，但此時會使組織起變化，致而減低保熱能力。以前曾將得勒密特或氧化鎂的壁子造得很厚，然而超過了必要以上的厚度是沒有多大意義的。壁子厚時外板與內壁間的斷熱層 Isolate (粘土磚，耐火度較低) 的溫度雖能降低，但同時其磚層的蓄熱量會大，在作業的中間休息時會損失幾分，而較長時間休止時此熱便會全部丟失的。

爲了充分的保熱，希望能耐 1300 °C 的斷熱材料，據說最近在美洲製造出來適於此要求的燒成耐火磚 (Chamotte)。盡可能須使用高級些的東西。故此最近又期待着 Columium。

減少熱傳導及放射損失，即是使此損失的時間——精煉時間，縮短之意。用大的變壓器縮短其熔解時間即可達到目的。這個問題已於變壓器之章述過了，即由於熔解時間的短縮，譬如鋼一噸之熔解普通須要四小時的，給縮成二小時半，這樣頗能減少其熱損失。

第七節 爐門開放之放散損失

The Heat losses caused by Open doors

從爐門的開放，沒密閉的間隙及電極環的空隙等處的熱損失極爲重大。會增大成爲放射面溫度的 4 次方 (乘 x^4)。此熱損失對放射穴之每 m^2 平均爲 600KW。裝入熔解期間較少約爲 450KW。精煉期由於爐溫之高，開爐門及無阻的電弧放散等約爲 800KW 的損失。

電極穴的放散量由於穴大小及熔解時間長短而不同，大體上 5~7 噸爐的場合爲 50~80 KW。裝入時間須盡量的縮短之。像對一些大的鐵層，須設計得爐子能够利用簡單的裝入箱。另外扉部及電極穴

等處應該良好的加以密閉。

第八節 放出瓦斯之熱損失

The Heat losses caused by Escaped gas

精煉還元中，使用石灰及該炭造炭化鈣鋼滓後發生CO瓦斯此氣體由於電極穴的煙道作用會被吸走，接觸大氣反應成CO₂一部燃燒。這將會從爐內帶熱而逃掉的。5—7噸的場合，該項損失熱約相當於30—40KW的變壓器能力。

第九節 有效熱及損失熱的分布狀態

Distribution of Useful and Unuseful energy

爲了說明以上的事項，被導入爐中的電氣energy可以分成實用熱與損失熱。舉例於下：5噸爐，以鹽基性鋼滓連續的製造高級鋼的場合，1000回以上之熔解的平均值如下：

(1) 熔解作業

裝入重量 5,410 Kg
 熔解時間 3,52 小時

於熔解作業中所消費了的電力比例

| 摘 要 | KW | 消費電力比例 (%) |
|----------|-----|------------|
| 熔解時的有效電力 | 828 | 60.5 |
| 由于冷却水的損失 | 85 | 4.1 |
| 自爐體的損失 | 180 | 15.5 |
| 扉門的損失 | 57 | 6.6 |
| 逃出瓦斯的損失 | 37 | 4.8 |
| 變壓器的損失 | 28 | 3.3 |
| 送電之損失 | 52 | 6.0 |
| 計 | 862 | 100.0 |

1 2.7

(2) 精煉作業
 裝入重量 5,410 Kg 鐵合金 161 Kg
 精煉時間 2.94 小時

精煉作業中所消費之電力比例

| 摘 要 | KW | 消費電力比例 (%) |
|----------|-----|------------|
| 精煉時的有效電力 | 189 | 36.6 |
| 冷却水的損失 | 35 | 6.8 |
| 爐體的逃散損失 | 150 | 29.0 |
| 扉門之損失 | 57 | 11.1 |
| 逃出瓦斯損失 | 37 | 7.2 |
| 變壓器損失 | 31 | 3.3 |
| 送電之損失 | 17 | 6.0 |
| 計 | 516 | 100.0 |

第十二章 電氣爐冷材裝入作業

The General melting Practice of the Cold scrap Process.

第一節 概 說

使用冷材的鹽基性電爐的操業法，化學上可分為氧化還元二期，氧化期更可以分成裝入，熔融，出滓之三階段，還元期能分成複炭，造滓，精煉完成之三階段。此外在操作當中的主要事項為採取試料，判定精煉情況，及測定溫度等。

更根据其氧化程度，可分為完全氧化，部份氧化及無氧化溶解等三法，茲就最一般的完全氧化溶解作業述之於下，其它的方法容後再談。氧化作用不同，有的單止於使鐵中的元素氧化除去，也有的是在氧化後更行精煉為目的的。前者為一般的氧化作用，而後者在電氣爐作業及其宅製鋼法上是異常重要的。著者特以氧化熔煉之新名稱與一般的氧化作業進行區別，氧化熔煉一名來自德語之「Frischen」等于英語的「Oreing」。

所謂Frischen者即為使鐵中的含有物氧化，將生成物之一部分變成CO，另一部分變成鋼滓（ SiO_2 , MnO , P_2O_5 ）且使生鐵變成可鍛鐵之意也。蓋Frischen之名稱，乃生鐵被認為不完全物時代所產生的名稱，而當時的生鐵是必須要適當加以氧化且行精煉的。後來便不對此項工程着想，而將此名用于半融狀態煉鋼法（Puddle法）上，或在使轉爐法及平爐法等炭量多的裝入物，變成炭量少的鋼時用之。故此溶解作業是以氧化與精煉密切不離的條件作為前提的。而著者亦將以此精煉為目的之氧化作業名之為氧化熔煉作業的。此為電爐之最理想的煉鋼法，但作業時間與經費相當高，故除製造高級鋼場合外多不用之。先從最經濟的操業方法談下去，此法留待以後再談罷。

第二節 修理作業

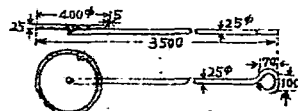
The Repairing of Furnace

於再裝入之先須修理爐內的破損處所，以防二次溶解作業中發生故

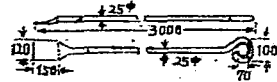
障。爐床，爐支柱及拱門等部份的修理是絕對需要的。鋼滓面附近的爐壁修理多少厚些為佳。修理材料為得勒密特或氧化鎂，使用第193圖般，特別的修理用鐵鉗將碗豆大的砂放到破損處所上；如果爐床上有洞穴時其中必殘有鋼或滓。須澈底的除淨，不然補在上面的修理材料會重浮上來的，熔解師須用如第208圖般的小道具將殘鋼掘出來。用此工具前後推動之把鋼推到爐外，在這個時候又可以用得勒密特，氧化鎂或石灰等加進去，把殘鋼液粘出來。

爐床如被鋼有大洞時切不可用乾燥得勒密特或氧化鎂等修理材料就從事，因為修理材料不會粘結得堅牢，故此時可用10%的製鋼用ter混攪起來，充分的搗固後，放入塊狀焦炭通電加熱的。鹽基性的場合可用氧化鎂與10%石灰的混合物，以此混合物作成球狀，以第194圖般的工具置放到破損處，然後充分的壓得結實些。

熔解師在修理的場合，對爐床的整理最為必要，爐壁薄的時候有破損的危險。同時爐的熱放散甚，反之很厚的時候容積不夠，熔解後鐵液會從爐門溢出。出鋼後爐內如殘有熔解物或殘滓時須充分的取出，拿不出的時候，想些辦法，如前述般用石灰等粘除之為要，否則要發生毛病的。

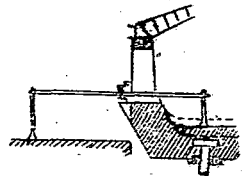


第193圖 6噸爐用修理鐵



第194圖 修理道具

維持正確的爐床厚度，這在有着爐床電極的爐上是最重要的事。以第195圖般的測定爐床厚度的裝置——只由二根棒而成的——在出鋼之後測定一下爐床電極之被覆厚度。無爐床電極的爐子亦可以用此裝置測定一下爐床的深度與爐床面的凹凸情況。



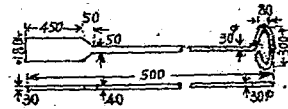
第195圖 爐床測定器

第三節 裝 入 The Charging

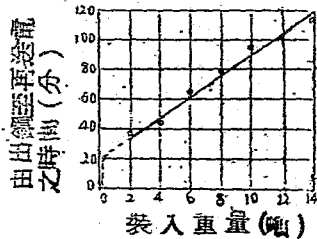
必要部份的爐床修理完畢後，將電極一定要提昇得很高，以防裝入為要，之後開始裝爐，但於裝爐之先，須鋪石灰於爐床面上保護爐床防其破損。其使用量，根據爐的情況與裝入材料的性質，可於爐容的4—6%。譬如3噸爐上如為潔淨的低磷材料時用100—150Kg。不良材料時用150—300Kg為適當。石灰的大小度須為25—50%左右，不得超過100mm以上。

普通有的為了迅速熔解鋼，於石灰之後裝入氧化劑、鐵礦石或鐵皮等，但如果鐵屑已然氧化得甚時，就不另需氧化劑了，裝入之氧化劑量須根據熔解之狀況推定之，總之以能充分完成氧化作用之最少量為要，另外雖有在熔解以後向內加氧化劑的，但普通鋼的製造時很少這樣作，唯有製造高級鋼的場合必須在熔解後爐熱升高了以後再加到爐內去的，道理容後詳述。材料如不能全部一次裝完時，可將形狀適當的餘剩材料100—300 Kg置於爐近處，俟爐內材料熔解後裝入之。

小爐的場合大多用人力(手)裝入之，將材料運來後放於爐傍，秤量重量後用第196圖般的裝入用鏈(鐵鏈)像第197圖那樣，將材料放到裝入用鏈上送入之，此時使裝入鏈易于滑動，減少摩擦抵抗，可將裝入的鐵柄及承受鐵棒上塗黑鉛粉，小材料可用手投入或鐵鏈裝入之。爐體最少有二個裝入口以上時，裝入時間很可以縮短，又可以使造塊工人帮着裝，對於裝入作業可以給與獎勵以求時間上的縮短。第198圖自出鋼至再送電間的平均時間，裝入所要時間加上修理所要的時間共8噸爐要40分，6噸爐要60分，9噸爐要80分。



第196圖 裝入鏈



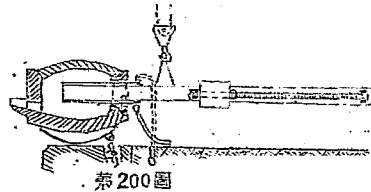
第198圖 弧光爐修理及裝入所要之平均時間
(參照197, 199, 201圖)

15噸以上的爐需要2小時以上。

裝入時間如長，爐熱的放散隨之需要的熔解電力的消費亦大。故此鐵屑的選擇方面大須考慮，化學成份固屬重要，但其寸法問題亦不得忽視。若多用形狀不定的鐵屑，如旋盤屑之類時，裝入時間會拖延得很長，故須適當的加上適大的鐵屑配合使用之。

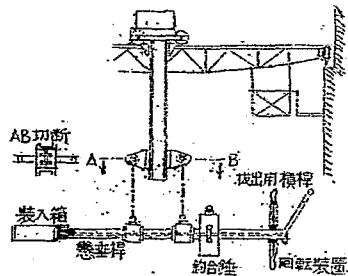
裝入大體皆用人力，如平爐使用裝入機者很少，10噸以下的小電氣爐，裝入口與裝入室俱小，故此難用可傾式裝入箱進行迅速的裝入。大爐子大多不用冷材放對。

裝入方法上的顧慮較少，然而使用冷材的裝入方法在電氣爐作業上是重大問題之一，致而想出了很多的裝入方法。第199圖是將鐵屑裝入4—6 m長的鐵箱中，用吊車吊起伸入到傾斜着的爐口內然後將鐵屑翻到爐內，此亦為裝入方法之例。爐體最少限度要傾斜成30度。又如第79圖般，3噸以下的小爐，也有除掉爐蓋自上方裝入的方法。此法雖宜于小爐，但並不適于大爐，另外尚有前述之Demag及B, B, C的Basket Charge (籠裝入)法，但其使用成績尚屬不明。使用此法，裝入時間確屬迅速，但須要卸下爐蓋，放熱甚故對高級鋼的製煉上是值得考慮的。此外又有如上圖般的裝入機，其實用價值亦屬不明。總之電氣爐的理想裝入方法尚未出現。



第200圖

(參照第201圖「相圖」)



第202圖 簡單的裝入機

第四節 熔 解

The Melting

裝入終了後全部的爐口都要密閉起來開始送電。如果有良好的自動

調整器時，任何裝入材料都可馬上作業。若無理想的自動調整器起初的5—15分間可用手來調整使之良好接觸，這樣繼續操作為佳。迄至電極把裝入材料穿成洞，這個中間須仔細操作之。熔解師為了使熔解開始穩靜要注意以下幾項。即若設有Reactor（塞流線輪）時，暫時間接用之，熔解初期用低電壓95—125V。再將碎焦炭或電極粉敷于電極的下面能成為簡便而有效的補助材料，粉碎炭能防止電極先端周圍被灼熱之空氣接觸，能使弧光的安定度極度增高。如果在電極依然不發生弧光時，大多都是電極下面有了硅石碑等形成了絕緣體致而防碍了電弧的生成，鐵屑過度沾污或鑄物層上附着的砂土等亦為原因之一。

初15分鐘電極會將裝入物穿一小洞，從此弧光便有了一定的接觸面，爐全體至于安定，通過塞流線輪的全部或一部，電極會受到自動調整器的作用，又能改用高電壓並給與多量的電流，然而在熔解中，電力有異常的變動電弧是不會一定的。有的時候電極與鐵屑依舊接觸着而電流却被遮斷了，熔解初期電極不斷的上下活動，起初之45分通過裝入物穿成孔穴直至爐底故甚危險。如爐內中心處的裝入物堆積得很厚時，馬上電極會達到爐底，與爐底部僅有的熔鋼之間生成電弧有時會給耐火磚穿一大洞的。電極如降得太快，熔解穴的底部不會生成熔鋼槽。而弧光却使爐底的穴洞漸次擴大。

熔解期若使用高能力時熔解層會急沈降，故裝入時必須注意到於電極的直接下方放上大塊鐵屑，落電極時若覺得電極下方的鐵液過少時，提起電極，向熔解金屬中加上適當的鐵屑。又有的時候上面的材料沒化，只下面的鐵熔解了而上方的材料相互搭成了棚形。這種現象在長條材料多的場合或用新材料的場合常會發生的，新的材料因為沒有鏽，故材料與材料之間恰成熔接到一起的形狀而搭成棚的。發生這種現象時須用鐵棒擊落之。

電極下面如形成了熔液槽時，裝入物（未熔者）便會塌倒其中，逐漸熔解，故此在約二小時後，只爐中心熔解了，而邊緣部的屑鐵被白熱化會形成粘體。更充分的提昇溫度使之完全熔解，促進其氧化作用後澈底的墮落此壁近處的未熔物。為了使此部分的屑鐵迅速熔解，熔解師可用如20圓般的撞棒（30—50%厚，3—4寸長）將沒化的鐵屑撞落池中去。像這樣向很熱的熔鋼內推落固體的鐵屑有一點

利益。即能促其迅速熔解，又能使液溫微降，幫助脫磷作用，推落之後爲了不使湯槽溫度不均，故須攪拌之，更爲了判斷裝入物是否完全的熔解，可用鋼棒（攪拌鋼棒，第204圖）充分的攪拌一下，更加熱之使裝入石灰充分熔解形成鋼滓，熟練者由於攪拌操作能很容易的感知，爐床上的物體屬於粘狀的爐床材料呢，抑投入推去的石灰，或殘于爐床上的未熔盡的殘鐵。

熔解當中極難容許的現象是爐底部鐵的冷固，此名之爲爐床地鐵（Bodensau）爐子如果在長時間的休止後，爐床已很冷的場合，同時熔解物的炭量較低的時候，底部最後的熔解物，含有過度的氧氣成爲近於飽和的量。星期一，即休工後之最初次的裝入物，務必熔解0.3%程度的裝入物爲要，熔解師偶一不注意，在熔解當中就會形成爐床地鐵的。這樣熔煉出來的鋼之品質很難講是完善的。因爲在直到出鋼的中間，爐床地金將會不斷的發生：

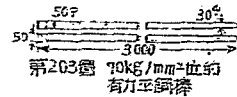
氧化鐵，故鋼質是極爲不純的。向爐底與裝入物之間插進鋼棒，將此爐地鐵掘起要使之熔解，如果掘不起只可在出鋼以後加上焦炭通電加熱之於是該附着物便會吸收炭變成生鐵而熔解的。

若裝入物全部熔解，熱度昇高時，液室內由於炭的燃燒沸騰頗甚。此時採取試料，判定其鐵液狀態及化學成分。將鐵液

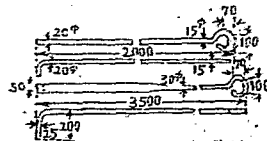
取出後注入第205圖般之小鐵模子內（60mm×160mm）然後經過錘打（如第206圖），送往分析，或將此小片用水冷之打斷看其斷面。這樣試驗之後，認爲有必要時更加上鐵礦石使之氧化沸騰，關於此氧化作用於後章詳述，（著者註，過去電氣爐中不很多加入生鐵或鐵石的，但今日製造高級鋼的場合向裝入材料中加入生鐵，使熔解時的炭量成爲成品的約2倍以上，熔解後液溫上升之後加入鐵礦石使之氧化沸騰，以便使熔鋼中的不純物浮起來的。此氧化作用可說是精鍊的一部份。著者名之爲氧化熔鍊。尤其是15噸以上的大爐，如不這樣作的話液溫難以昇，隨之精鍊亦困難）。

再關於取試料的問題詳談一下，鐵製的試料約（第207圖）

從裝入口伸到爐內，於取鐵液之先，將該杓在鋼滓層中來回旋動幾次

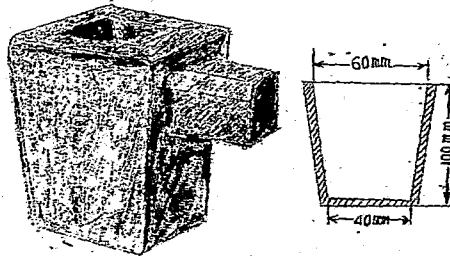


第203圖 70kg/m²位約有力鋼棒

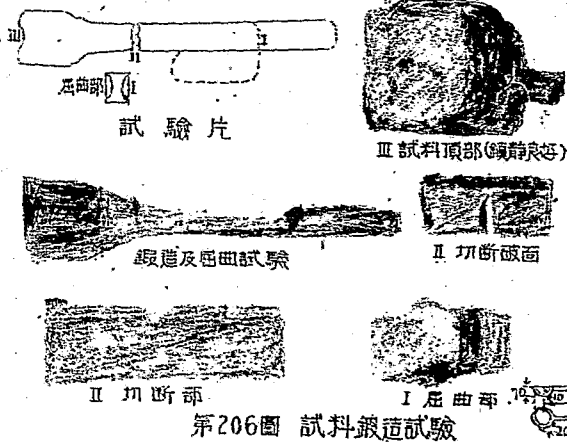


第204圖 大小的攪拌鋼棒 (抗張力 70kg/m²位)

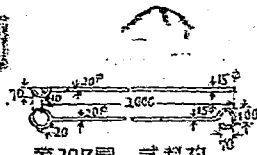
讓鋼滓粘到鐵杓上成一薄層，以此保護鐵杓，然後將杓子深挿入熔鋼內取滿，臨鑄型之前，先將表面的鋼滓撥開，然後鑄入型中。注入時根據鐵液流出時的顏色，（隨溫度的上升，由黃而黃白，更白而至白青）流動狀態，飛散火花的形狀及瓦斯的發生狀態等得以判定其化學成分或坩室（爐內）的熱度的（熟煉之熔解師能掌握得很正確。實際上若不能判定清楚，更好的作業是比較困難的）。欲更正確的加以判定的話，可將試料加以鍛鍊，打成206圖般的四方形或平形，然後檢看其隅角部是否有裂紋。於赤熱之間將它打出一條印灣曲之，更檢看有無所謂赤熱的龜裂。此種龜裂的有無是檢看有無氧量的根據，更將另外一部分的試料或鍛鍊初期的切斷部分迅速往分析（現場分析），冷卻後除掉表面鐵皮鑽下粉末，送往分析。其分析，於5分之後可以知道炭，10分後可以知道磷，15分後錳，30分後錳，45分後則可知道路等量。



第205圖 試料用鑄型



第206圖 試料鍛造試驗



第207圖 試料杓
抗張力40~50 kg/mm²之鐵鑄製

第五節 出 滓 The Slagging off

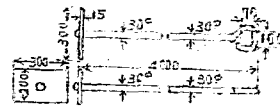
頭次試料採取後，熔解師便須作出滓的準備，爲了不使在出滓期間內部分的鐵液凝固，故須在鑄入試料之際作一次簡單的熱試驗，試驗方法將長的圓鐵棒（13mm徑）之一端插入鐵液中，靜々的以30°的弧旋轉之，動的回數爲5回，需要時間爲5秒。此時棒尖部若被化，則表示着高熱，若尚粘有鋼粒即表示低熱，而僅微之熔化恰爲適當的溫度，使用棒材，以極軟鋼（0.12% C）爲適當。

熔解作業終了後，熔鋼被流動性良好的鋼滓覆蓋着，金屬頗呈高溫。如果覺得低些時便上昇到適當的溫度（1600—1650°C）待熔的分析結果報告上來以後馬上出滓。出滓之前先提昇電極，開放爐門以鐵錘將爐門高高支起。爐體微許傾斜，以使熔鋼上層的鋼滓大部份能流出那樣及至液面接近裝入面時馬上停止傾斜。電極更提高一些，以勿防出滓棒的自由操作爲限，此棒（第208圖）的寸法：4m長的鐵棒之一端上熔接上15mm厚，200mm高，500mm寬的鐵板，大部份的鋼滓被掏出之後，更用鐵棒尖部按有木材（4mm中×12mm）的工具，只能將所殘的鋼滓輕輕推出，而不能連同鐵液一起推出去，此掏出棒置於第209圖，或第210圖般的鋼棒托架上。於是所餘的鋼滓便能被除得清潔。

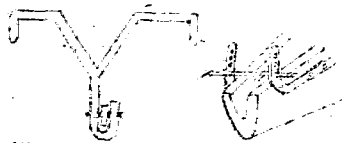
此操作須速行之，否則暴露之鋼液恐會冷固。

除滓人由出鋼口或裝入口伸進出滓棒，而於另外的一面，助手可伸入平棒協助推動液面而出滓者可將靠集在一起的鋼滓用掏棒推到爐口部去。除滓時的鋼滓必須具有適當的流動性。稀薄鋼滓內須加入石灰，濃厚時加螢石使之爲必要的流動狀態爲要。

對殘滓之澈底除去是極須注



第208圖 掏棒



第209圖 掏棒架 第210圖 掏棒架

意的。即如果殘滓少時可以加入50Kg許的石灰，將殘餘者粘固起來出之。

第六節 複 炭 The Recarburisation

氧化鋼滓被除去後，熔鋼的表面暴露，故此有必要的時候可以複炭。加入的炭馬上會被鋼吸收了去。複炭材料，可用該炭，無煙炭或電極之破損物等，粉碎成10節目左右大加到電極的下面，複炭材料之中電極最好，比骨燠炭的灰分少又不像無煙炭那樣揮發分多，焦炭雖便宜，只是灰分太多。

須要添加的複炭材料量，應該止於比所要的含有炭素量少3—5%。特別在製造合金鋼的時候，因從加進去的合金材料裡會增高一些炭，所以此部份的炭量亦須給以估計。加到鋼液中的電極，其重量之70%會以C被金屬吸了去，燠子時30—70%的C會被吸收的，其餘部份與氧化合，形成了CO而逃掉，然而天然黑鉛電極的吸收程度是不同的。例如希望0.60—0.70%的炭素鋼時，裝入重量6,000Kg於氧化及出滓時約有5%的損失，而最初的試料，如為0.12% C的話，以後的計算便很簡單了，複炭時需要0.55% C，即約35Kg的電極粉，或41Kg的燠子。

添加複炭材料時，是否須要通電，可以根據當時的爐溫來決定。低溫時熔化此添加材料很慢，故須加熱，反之鋼如為高熱的場合，則無須通電。液室的沸騰及至複炭便告終止。

複炭操作之最不利的一點是由於非金屬中之多量的不純物與操作當中所發生的瓦斯，會損害了還元作用，故此複炭只是在C量極低的場合才作的。加入炭之後馬上發生很激烈的反應，熔鋼中的氧化鐵會被還元而發生一氧化炭。於此狀態下裝入口面上的鋼，會急烈沸騰幾及溢出。此瓦斯的發生過甚時即表示着金屬被過剩的氧化着。複炭操作，可以用幾乎無代價的燠子或電極來代替高貴的赤鐵生鐵，但是因有以下的不利處，即(1)，一氧化炭瓦發生得很多，(2)，會形成多量極不容易除去的，固形非金屬不純物，故其還元作用致被危害，所以這個方法並不是絕對需要的。

複炭 之後用棒攪合之以求良好的混合，爲使氧化頗甚的熔鋼鎮靜，對8噸的裝入量可加上5 Kg 的錳鐵（銑銑時 2 Kg）。

製造高級鋼的場合，氧化程度是要受到限制的，在作部份氧化或無氧化熔解的場合複炭是不必要的。

第七節 脫硫及脫氧

The Desulfuration and Deoxidation

複炭及加上了錳鐵之後，更加石灰，焦炭及螢石等進行脫硫與脫氧，這些東西的加入量根據製造對象及熔解師的能力等而不同，但由於焦炭與石灰的量多少能分成白色鋼滓與炭化鈣鋼滓之二種。此二種滓雖難於很清楚的加以區別，但經過水洗之後由於所發生出來的 C_2H_2 味氣可以分得開的。其含有之 C_2O_2 量即使在 $\frac{1}{10}\%$ 亦會臭得到的，但是其程度比較不甚，從 1% 左右就會很甚的感覺到，所以，炭化石灰含量 1% 作爲其兩者的分離點。從一般的例子上綜合起來白色鋼滓是由 8—16 分的石灰， $\frac{1}{2}$ —1 分的焦炭，及 1—4 分的螢石而成的，而炭化鈣鋼滓則是由 5—6 分的石灰， $1\frac{1}{2}$ —2 分的焦炭及 1—2 分的螢石而形成的。兩種鋼滓之利與不利容後詳述之。於此只簡單的提及白色鋼滓主要是製造軟鋼時用之，而炭化鈣鋼滓則在製造一切鋼種的時候都用作強烈的還元劑。

白色鋼滓

完成鋼滓時，更須注意到以下的一些操作方法。即預先將裝入重量之約 4% 的潔淨的小粒的並且燒成很充分的石灰同 1% 的螢石於裝入床上混合起來，然後急速用鐵棒在複炭操作之後加入到爐中，15 分之後鋼滓則形成了良好的流動體，而鐵液全體致被均一的滓層掩蓋起來，更向鋼滓上散布裝入重量之 1% 的焦炭，將爐子密閉起來，滓的上面通上強的電流使電弧活働之，此場合熔液的複炭很容易，因此製造滓的進行亦速。而後爲了充分的造滓應使爐靜止 30—45 分。暫停片刻後取鋼滓注到鐵板上試驗之。如果鋼滓呈褐色或黑褐色時是還元不充分的現象，故尚須裝入焦炭。同時稀薄時可加石灰，濃厚時加螢石。送電後待 30—45 分，鋼滓造得很好後爐內便開始起泡。開始只在電極的附近，以後漸及擴至邊緣部。30 分—1 小時會平

靜下來，氣泡亦隨之少了，電極下面流動狀態很好，於是可汲取鋼滓冷卻檢查後，此時若為白色的話即證明不含有鐵、錳等之氧化物。即說明鋼滓已充分達到還元的目的。此滓將很快的崩壞，以白色鋼滓操作的場合，從這個時間起由於不斷的加入石灰或螢石以及燧炭等而能保持着一樣的狀態。

炭化鈣鋼滓

炭化石灰生於高溫電弧下，由石灰與該炭而造成的。然欲多量的製造 CaC_2 多加該炭則可，鋼滓近於白色或已成白色時 CaC_2 便生成了，故可證實鐵、錳之氧化物已被還元。前面已說過，在複炭之後將 120—150kg 的石灰與其 $\frac{1}{2}$ — $\frac{2}{3}$ % 的該炭混合起來裝到電極的附近，密閉之。用 10—15 分的時間稍微提高溫度後插入鐵棒攪拌之採取鋼滓試料，澆水檢視之，若形成了鋼滓時呈暗黑色，經水混之後有 C_2H_2 惡臭。強烈的 CaC_2 鋼滓其 C_2H_2 臭能聞到 5—10 尺的遠方。

和從鋼滓的狀態上能看到的一樣，從採取的試料上亦能看到脫氧作用程度如何關於各場合的詳細看法問題於此從略之，只舉出此工程中重要的二個特點於下。其一即是凝固時的 g_2S 發生，另者即為其鍛造性，鋼中的硅含量同一樣的話，鋼試片在凝固時發生的 g_2S 越少其鋼中的氧量越少。同樣錳含量相等時氧量越少還元性越良好。造滓材料加入後約待 30 分，鋼滓熔解，鐵錳之氧化物會被還元，更待 15 分後炭化石灰 (CaC_2) 便生成了，精鍊期之餘剩時間，即約 1.5—2 小時的時間，由進行良好的還元作用可達到所要求的化學成份與所要的鑄造溫度。在這全部時間中鋼滓須當以炭化鈣狀態，保持着還元作用，但這不是很容易的問題，對熔解師本身要求着異常的熟練與經驗。其判斷苟若失却時機，直到精鍊期之末亦不起充分的作用。熔解師的目標應在該炭、螢石或石灰等之正確的添加上，同時應該時常對爐床材料及爐蓋加以注意，勿使妨害熔解作業為要。

如已為炭化鈣鋼滓時可以不再動它，然而如為白色鋼滓時則須每隔 20—30 分加以攪拌使金屬中的氧化物易於移向鋼滓內，這樣約待 1 小時後便會完全的被還元了，自始除氧化性鋼滓至還元作用的完成這中間根據的情況及熔解師技術等雖有不同，大約要 1.5—3 小時。如不像以前那樣作一以石灰與該炭等的混合物加入，而將各造滓材料

單獨的向爐內加入時比較難以造出充分的炭化鈣鋼滓。然而此時吸收炭是比較少的，形成了適當的鋼滓後，為使氧化鐵及氧化錳充分的還元，須維持其適當的性質。即因還元需要30分左右，故起碼應該在15分左右造成炭化鈣，迨至出鋼中間應不斷的根據鋼滓的狀況，單獨的或一齊的，將該炭，石灰及螢石等加入進去給與鋼滓適當的流動性，並須遮斷了外氣的侵入，充分保持其還元性為要。

第八節 完 成 The finishing

鋼滓充分的成為還元性，即炭化鈣滓以後為維持其原來的狀態，而加入添加成分，並對其成分與溫度加以調整而造成所要的鋼質，還元性的鋼滓熔鋼能夠自動的被還元，但是白色鋼滓，因為沒有力量，故須用錳鐵或硅鐵幫助除掉其殘留的瓦斯。炭化鈣鋼滓自始而終為黑色，但白色鋼滓初時難為褐色而以後漸被脫氧，又如同鋼滓中的鐵分跑進熔鋼內，該滓又會由黑色而變成白色。

還元期中試片的採取回數為1—2回，從這兩次的試料裡來掌握熔鋼與鋼滓的成份，並確保其還元性。鋼滓充分的生成後可加錳，錳等熔解之，再攪拌鋼液及取試料。最後的一次試料應自一方的爐口伸進去，採取爐底與表面間以及電極與爐壁間兩處的試料，更自另一方亦以同樣的方法返複檢查之，徹底的求得均一，最重要的是，不要加入該炭之後馬上取試料。因為加入之該炭在最初的10—15分間不起作用而介存於鋼滓中的關係。小的試料楔子內鑄入熔鋼時，從鑄入情況上可知脫氧的程度。如果炭化鈣的脫氧充分的奏效，同時還元期間內約隔10—20分加入之硅鐵，亦奏效而完全將氣體除掉了的話，試料的表面則不散火花，亦不生泡，凝固之後呈凹面或水平面。該試片擊斷後毫看不到有瓦斯孔。熔鋼中常使之含有18%以上的錳時，即使為白色鋼滓，不加硅鐵，亦自會鎮靜。

第九節 溫度調整 The adjusting temperature

造成了完成鋼滓，1.5—3小時之後於完成鋼滓之下能完成脫硫脫氧，然後更加入適當的合金鐵使之成為所要的化學成份的。欲求得完善的鑄造，必須昇到適當的高溫，優秀的熔解師在精鍊期間內能夠掌握得爐溫使在適當的範圍內，同時又能良好的脫氧達到預定的化學成份。可是無經驗的熔解師則難以作到良好的地步，徒增多了取試料的回數，致使熔解作業停滯下去。作得不好又常會將鋼液昇到不必要的高溫，致熔解了爐蓋的耐火材料，隨之使鋼滓起了變化，勢必另行脫氧作用。

精鍊中對溫度之調節，須注意到以下幾點。「完成鋼滓」的任務，在於使鋼滓的流動性良好化，以炭化鈣的形成及還元作用來促進精鍊作用。故須通以高電流，熔解之後爐內沒有充分的熱量，所以如稍強通電流時爐蓋便有熔化的危險，及至形成了炭化鈣鋼滓之後則應逐漸的減少電流的強度。但是電弧的熱源必須能夠補充上爐的損失熱以及添加鐵合金時熔解上所要的熱量為要。保持完全無恙的鋼滓成份，在這個時候是最為要緊的。這個中間亦就是熔解師須有良好的調節爐熱的最重要的時間。稀薄如水的鋼滓，會強烈的反射電弧熱而熔落爐蓋的。欲迅速完成精鍊作用，必須保持着適當的溫度，高溫對化學反應的進行是好的，所以在加入鐵合金之先應充分的通上電流，在鐵合金加入之後再減低是無防的。但是綜起來說，在還元末期，必須使鋼液溫度稍微高過出鋼時所要的溫度。鑄物的場合出鋼溫度須為1600—1625°C，造鋼塊的場合為1630—1650°C。出鋼之20分前爐內的溫度一般為1705°C，故須微許降低之。為了使之稍降液溫，屢見有斷電只使熔鋼於爐內靜止5—15分鐘的，但是在斷電之後鋼滓會硬化這是極須注意的。

再談。測定爐內液溫的高低是否適于鑄造溫度時的測定方法。用高溫計的測定是困難的。熱電對的使用亦因為沒有適當的保護器而不能。另外雖常見有用高溫計來測定從試料杓傾注向小型模子內，在流出時所放出的僅微光輝的辦法，但僅以此許光輝來作精密的判定到底是困難的。而採用在前面已經說過的辦法——即將熱試驗用的鋼棒插入到液中旋動5—6回，以其尖端部的熔解程度來判定液溫，此法向比較正確些。

看鋼液的流動狀態，這是熱度判定法中最常使用的方法。鋼液越

高溫。在鑄型中越長時間為流動狀態，此乃衆所熟知的事實。熔解師從以良好鋼滓覆蓋着的液室內用試料杓汲取試料，緩慢的注入準備好的模子內。帶上青色的玻璃鏡子對鋼的顏色加以區別（熱若高時則明輝着）。又須良好的對鋼的流動狀態加以鑑定。溫度低時流動不佳，高溫度且流動性好的時候如水般流動之。注入模型內的熔鋼迄至開始生成硬化膜的需要時間是判定熱度的好尺度。同時又能夠知道含有硅量是否充分。硅含量在0.10%以下的試料（鋼液）於鑄型中不充分的鎮靜。即是說硅量在這以下的時候發生瓦斯很多，表面在動盪着。即所謂不平穩，含有硅的鋼比所謂鎮靜的鋼，一即使其它諸條件相等——看來像是熱度高一些。含碳素鋼有褐色的刺戟性光輝，隨着溫度的上昇，液色由黃至白，終至白青，然而如果單靠顏色的鑑定有時會看錯了溫度的。另外的一個問題就是掌握鋼滓的流動狀態。流動狀態良好的鋼滓會將試料杓糊成一層薄膜，因為鑄製杓迅速冷卻的結果其流動狀態亦會很快硬化的。總之由於這些情況之一切硬化作用，以熔解師長年的經驗，從鋼滓的流動狀態上可以正確的判定熱度的。從各種狀態下的流動情況上來判定溫度即使更用光度高溫計來測定也沒有5°C以上的差異。有時反比高溫計的測定更正確些。

尚有一個實際的辦法：用鋼滓覆蓋着的鐵杓汲取熔鋼試料，之後迅速的撥開鋼滓的被覆，用量錶（測量時間的錶）測其冷硬的時間，正常的時間為10秒左右。9秒以下為低溫，12秒以上為高溫（但必須計算出鋼中的硅量）。關於本實際的熱測定法，尚請參考著者所著的「鐵及鋼鑄物」之第458頁。

第十節 出 鋼 The TAPPING

經過多次試驗後，鋼液充分的鎮靜，溫度適宜，同時又有流動性頗佳的碳化鈣鋼滓時準備盛鋼筒即可出鋼。從爐中出鋼到盛鋼筒有二種流出方法。一個是固定爐的場合：將爐壁穿一洞口而出鋼的，這種方法除了特殊的場合外在電爐上是極少用的。多屬將爐體傾斜從出鋼口處流出巨流的，出鋼時希望鋼滓能和熔鋼同時流出。即為了防止鋼的氧化但屢見有於出鋼口處特設一擋板，由擋板之下使鋼流出的，擋板

之用途在於使滓和鋼液的分離，可是相反的由於兩者的分離熔鋼則直接的接觸大氣，有被氧化的危險鋼滓在模子中或鋼筒中能浮在上面但被氧化後的鋼頗難使之再分離，故雖常見北美洲各地方用此擋板，但歐洲是絕不採用的。鋼與鋼滓流出之後，爲了不使急冷，須用草包或石灰5—6畝覆蓋之。

在盛鋼筒內很少起冶金學上的反應，即脫氧形成合金或複炭等。如果有化學反應的話就足以證實精鍊作業是不充分的。鋼應該在爐中使之完成，而不應該在盛鋼筒內使之完成的，容後證明之。

以下更將3噸電氣爐製造軟鋼鑄物場合的操作實例記述於下：

| 電氣爐操作表 | | | | | | |
|---|-------------|------|---------|-------|-------|-------|
| 年月日 晝 煉鋼番號 12345 | | | | 煉鋼課 | | |
| 爐番號 1 鋼質軟鑄物 爐蓋回數 50 爐壁回數 160 爐床回數 324 | | | | | | |
| 裝入材料 | | 作業狀態 | | 鑄造狀態 | | |
| 名稱 | 重量 kg | 名稱 | 午後時分 | 名稱 | | |
| 主 材 料 | 鋼屑 | 500 | 前回出鋼 | 0'00" | 鋼筒塞口徑 | 30mm |
| | 錳鋼屑 | 500 | 裝入始時 | 0'20" | 鋼筒杜棒徑 | |
| | 壓鍊屑 | | 終時 | 1'00" | 內溫度 | |
| | 製條屑 | | 送電 | 1'00" | 出鋼溫度 | |
| | 餘液 | 300 | 追加裝入 | " " | 鑄造溫度 | 1520度 |
| | 碎鋼 | | 熔解時 | 3'10" | 鑄造時間 | |
| | 生鐵 | | 氧化劑加入時 | " " | | |
| | 旋盤屑 | 2000 | 鋼滓出始 | 3'30" | | |
| | 合計 | 2300 | 終 | 3'35" | | |
| | 配 合 材 | 生鐵 | | 送電 | 3'35" | 煉出鋼 |
| 硅鐵 | | 10 | 還元鋼滓加入時 | 3'40" | 種類 | 數量 kg |
| 錳鐵 | | 15 | 熔解時 | 4'30" | 鋼塊 | |
| 鉻鐵 | | | | " " | 鑄物 | 3900 |
| 鎢鐵 | | | 鐵合金加入時 | " " | | |
| 鉍鐵 | | | | " " | 不良品 | |

| | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-------|-------|-------------|---------|---------|---------|-----------|-----------|---|----|---|
| 料 | 錳 | 鐵 | 附加物加時 | 4'50" | 凝筒液 | 20 | | | | | |
| | 錳 | 鐵 | 出 鋼 | 5'10" | 餘 液 | 50 | | | | | |
| | 錳 | 鐵 | | | 合 計 | 2970 | | | | | |
| | 錳 | 鐵 | 所要電力及時間 | | 煉 鋼 分 析 | | | | | | |
| 精 煉 材 料 | 石 灰 | 還 元 期 | 150 | 名 稱 | 電 力 | 時 間 | 後 煉 鋼 成 分 | 結 果 | | | |
| | 石 灰 | 還 元 期 | 120 | 送 電 | 2300 | 1'00" | S-15 | C 0.04 | | | |
| | 螢 石 | 25 | 鋼 滓 出 始 | 4200 | 3'30" | | | | | | |
| | 煤 炭 | 40 | 氧 化 期 所 要 量 | 1900 | 2'30" | | | | | | |
| | 鐵 鑛 石 | | 出 鋼 | 4800 | 5'10" | S-15 | P 0.005 | | | | |
| | 鐵 皮 | | 還 元 期 所 要 量 | 600 | 1'40" | | | | | | |
| | 氧 化 鎂 | 50 | 全 所 要 量 | 2500 | 4'10" | S-15 | Mn 0.19 | | | | |
| | | | 裝 入 重 量 噸 | 當 電 力 量 | kwh | | | | | | |
| | | | 爐 造 | | kwh | | Ni | | | | |
| 電 力 事 項 | | | 電 極 事 項 | | | 責 任 者 | | | | | |
| 時 分 | V | A | 電 極 位 置 | 製 造 所 | 核 對 時 刻 | 使 用 寸 法 | 使 用 重 量 | 技 師 | | | |
| | | | 1 | | | | | 熔 解 工 | | | |
| | | | 2 | | | | | 鑄 造 工 | | | |
| | | | 3 | | | | | | | | |
| 製 品 化 學 成 分 及 材 料 強 弱 試 驗 | | | | | | | | | | | |
| 名 稱 | C | Si | Mn | P | S | Cu | Ni | Cr | W | Mo | V |
| 預 定 成 分 | | | | | | | | | | | |
| 結 果 | 0.20 | 0.24 | 0.54 | 0.015 | 0.010 | 0.15 | | | | | |
| 名 稱 | 抗 張 力 | | 延 伸 率 | 降 伏 點 | 硬 度 | 屈 曲 試 驗 | 衝 擊 試 驗 | 斷 面 收 縮 率 | | | |
| 規 格 | | | | | | | | | | | |
| 結 果 | | | | | | | | | | | |
| 備 考 | | | | | | | | | | | |

第十一節 合金元素加入法

The Alloy additions

製造特殊鋼的場合除鎳，銅，鉍，鈷等元素外皆於充分脫氧以後加入之。前記之四元素因不會由於氧化作用而逃失，故熔解之後馬上加入之便會存在於熔鋼中，應該早些加入熔鋼內以便分析而檢其含量的。

錳應該像前面所說過那樣，在熔解之後爐熱上昇時不斷加入之使熔鋼中常保持着0.18%以上，又可在氧化鋼滓掏出之後加到裸鋼上的。但若以鋼材成分加入時必須在充分被還元了以後加進去，即在還元開始後30—45分加入之為適當。錳鐵應在鋼滓中的氧化金屬被脫氧之後加到熔鋼中去的。故此能在最後的試驗完了以後，給與成品以必要的成份。

硅可以硅鐵的形狀使用之，但須如前述般於熔解中或完全出滓之後加進一部份，另外部份在出鋼之30分前以脫氧劑而加入，調節成份可在出鋼前15分左右加之。

鉻應該在鋼中之氧化物完全被除却後加入，如果熔鋼沒被還元之前加進鉻時，則會被氧化浮入滓內呈青色。鋼滓中若有 $\frac{1}{10}$ — $\frac{1}{10}$ %時此顏色便會很清楚的看出來。此時可撒焦子粉向爐中，氧化鉻便致被還元重回到鋼中去。

鈾在最後的硅鐵加入後加入之。因該元素易被氧化，故必須在鋼滓及熔鋼中是否尚有氧化物與一氧化碳等情況瞭然之後再加進去。金屬鈾易于熔解，有10—15分時間即能完全的混合均一。

鎢亦須在炭化鈣鋼滓充分的完成了脫氧任務之後加入之，但此金屬既重且熔點亦高，故如不充分加以注意便會沈於爐底不熔而直到出鋼。假使沈於爐底時，勢必連續製造數次工具鋼求得它的徹底熔解。所以鑄用之際須要將它打成豆粒大分數次加入使用。鎢普通有粉末狀的金屬鎢與鐵鎢合金，而金屬鎢之熔點為3,400度，欲使它熔解熔鋼全體必須昇到相當的高溫。然而鎢鐵合金的比重輕，熔點又僅為192—2040度較易熔解。因此一般多用鐵合金。該物在我的經驗上是幾乎無熔融損失的。須在出鋼前1小時以上加入之。

與鍊同因不氧化所以和裝入物一起加進去亦可，但大多是在還元後和其它的成份調節物一起加入的。屑鐵中的鉍亦能收回來所以應該作一估計勿使過高為要。

E. Pakulla 及 K. Rusin 兩氏對各元素的減耗量記述於下：

W=6%， MO=10%， Cr=2%， V=10%，

而在完全的還元狀態下，正像前面已說過那樣差不多沒有熔融損失的，但操作上如不能作到理想程度的話，除 MO 以外，知道它們有這些減耗量是必要的。這些鐵合金皆須在裝入口附近先經過豫熱後使用之。

第十二節 化學成份的調整

The Calculation of the Chemical Composition,

今舉一個調整化學成份的例子，將鍊銻銻的實地作業狀態記述於下：第 67 表即為鍊銻銻製造上種鐵合金的加入時間及化學成份的調節方法。

第 67 表 6 噸電氣爐作業順序

| | |
|------|-------------------------------------|
| 豫定成分 | 0.25 乃至 0.35 % C |
| 鍊銻銻 | 0.15 " 0.25 % Si |
| | 0.40 " 0.60 % Mn |
| | 1.30 " 1.70 % Ni |
| | 0.40 " 0.60 % Cr |
| 時 間 | |
| 時分 | |
| 0.00 | 前回出鋼 |
| 0.10 | 修理後開始裝 |
| 0.50 | 裝入終，4,800kg 鍊銻銻屑，2,000kg 低磷銻屑 送電 |
| 2.00 | 大部分熔解 |
| 2.20 | 全部熔解採取試料 |
| 3.25 | 鋼滓厚加入螢石 |

| | |
|------|---------------------------|
| 3,30 | 開始除滓 |
| 3,40 | 分析結果 0,15% C, 0,24% Mn |
| 3,45 | 鋼滓除完 |
| 3,50 | 造還元鋼滓，送電 |
| 4,05 | 分析結果 0,97% Ni |
| 時 間 | |
| 4,20 | 鋼滓溶解白色，第1回分試料分析 0,17% Cr |
| 4,25 | 加 鎳 (96% Ni) 33kg |
| 4,40 | CaC 鋼滓，脫氧完成，中間試料終 |
| 4,45 | 分析結果 0,18% C, 0,26% Mn |
| 5,05 | 加 鉻 鐵 (6% C, 66% Cr) 30kg |
| | 加 錳 生 鐵 (80% Mn) 18kg |
| | 加 生 鐵 (8,6% C) 50kg |
| 5,30 | CaC 鋼滓，熱試驗良，最終試料，脫氧完全 |
| 5,45 | 最終試料結果 0,30% C, 第2回熱試驗 |
| | 送電中止 |
| 5,50 | 出 鋼 |
| 製品分析 | 0,31% C |
| | 0,51% Mn |
| | 0,18% Si |
| | 0,017% P |
| | 0,016% S |
| | 1,46% Ni |
| | 0,49% Cr |

將此表所記之熔解作業更詳細的加以說明之。先裝入成份為 1,5% Ni, 0,5% Cr 的鋼屑 4300kg 與低磷屑 2000kg。熔解減耗與出滓損失量估計到為 5%。實際可得 6000kg 的熔鋼量。炭，錳，鉻等會被氧化所殘值微。熔解時的試料為 0,15% C 及 0,24% Mn。出滓之後造還元鋼滓時不要複炭。其後從添加物與鋼滓及生鐵內會吸收 0,10—0,15% C 的。

4點5分熔解師便能得到熔解試料的鎳分析結果。結果為 0,97%

Ni，而需要成分 1.50Ni，故此更需 $60 \times 0.53 = 32\text{kg}$ 的純鎳，但所用的鎳為 98% 所以 $32 \div 0.98 = 33\text{kg}$ 結局需要 33kg。

熔解時的試料中 Mn 量為 0.24% 故為可鍛性。錳含量的調節須不斷的取試料適當而為之。4 點 25 分成為 0.26% Mn，更需要加入的錳量為 0.24%。故此需要 $60 \times 0.24 = 14.4\text{kg}$ 的純錳，若使用 80% Mn 錳鐵的話，則需要加入 $14.4 \div 0.8 = 18\text{kg}$ 的錳鐵。需要鉻的平均量為 $0.5 - 0.17 = 0.33$ ，故須要加入 $60 \times 0.33 = 20\text{kg}$ 的純鉻。若是使用 60% Cr 的鉻鐵合金時加入 $20 \div 0.6 = 33\text{kg}$ 則可。

從錳鐵與鉻鐵的添加當中會吸收炭的。熔解時的試料在 3 點 20 分為 0.15% C。4 點 40 分 0.18% C。於是可知自鋼滓中進入鋼中 0.03% C。1 小時即等於吸收了如下般的炭。

18 kg FeMn (8% C) 能給與 $18 \times 0.08 = 1.44\text{kg}$

30 kg FeCr (6% C) 能給與 $30 \times 0.06 = 1.80\text{kg}$

總計起來能給與 3.24kg 的炭量。這些炭量時對 6000kg 的裝入量為 $3.24 \div 60 = 0.05 - 0.06\%$ C。

從中間試料的採取時至出鋼，如需要 1 小時的話又能從滓中進入 0.02% C，因此出鋼時的試料則為。

$0.18 + 0.06 + 0.02 = 0.26\%$ C。

为了更好的調節，須要添加的 3.6% C 的生鐵量需要

$1.8 \div 0.036 = 50\text{kg}$ 。

於是出鋼前，最後一次的試料從計算上成為 0.30% C。另須硅量 0.2%。如以炭化鈣鋼滓作業時大體上會有 0.2% 的硅由於爐蓋被熔落之硅酸還元而含存鋼中的。但若為白色鋼滓時，則僅為 0.1%。以鋼中毫無硅量來計算之則需要 $60 \times 0.20\% = 12\text{kg}$ 的純硅。此硅應在出鋼之 5 分鐘前加入之。用炭化鈣鋼滓來操作時，就全然沒有用硅的必要。

前面作業表之末尾處指示着盛鋼筒試料的化學成份分析結果。此數目字全位於合金成分的豫定範圍內。

本表的計算簡單化許多。即上述低合金的場合，只以液量 6000kg 為標準，而事實上在精鍊中又多加了 3157kg，造高合金鋼的場合必須把由於添加物液量的增加加算在內的。高速度鋼熔解時對添加

物之正確的計算例子，以後列於高級鋼一起再談。

第十三節 迅速分析所要時間

Time taken by Rapid analysis

製造各種化學成份不同鋼的電爐操作上一定需要迅速分析。非合金鋼的場合由於破斷面以及屈曲度等能夠充分的判定出來炭量，但是合金鋼的場合這些方法是沒有用的。正確的炭量與諸合金元素量等必須依靠化學分析法來解決的。

設備完全且熟練的地方能夠分析得很快。最初的試料須在完全溶解後或溶解前5分鐘取出來送往分析。以此試料來分析炭，磷，錳及錒等。炭，錒，磷三者須在出滓之前分析完畢，而錒則於鋼滓淘出之後完畢之亦可。以上各元素以及其它存於鋼中的諸元素分析所要時間大體如下：

炭.....圓形電氣爐內通氧氣助其燃燒，以魏爾志式瓦斯容量分析器 (Gasvolumetrische Apparat) 約用5分鐘，以A. B. Alpha 的Karlometer 約用2分鐘即可。

錒.....使用硝酸銀及過硫酸安母的方法約12分即可。

磷.....如使用Phillips氏的過硫酸安母法或亞美利加標準法(硫酸溶解之，磷於硝酸銀存在之下以過硫酸安母氧化之法) 時有30分即可。

錒.....用該使之分離後更用重量法時約60分即可。

錒.....過氧化氫的比色法，或以鹽酸還元之後更用過錒酸鉀來定量之有45分即可。

錒.....Grossmann 氏的「CN化法」需30分，Brunk 氏的重量法有40分即可。

用Naag 及 Me. Collan 兩氏的比色法有25分即可。

硫黃.....用氧氣燃燒，以Holthaus 氏的方法定量之約用10分。

磷.....鉍酸安母法。約用20分以內。

最後再把試料的採取方法略談一下。分析用的鐵末(鐵粉)須用潔淨的鑽頭，即無油分的鑽頭旋削之。更好的方法：可將試料在旋削之前用砂輪研磨一下，然後從磨光的地方旋削下來分析用之鐵粉。

第十三章 鹽基性電氣爐之氧化作用

The Oxidation of the Basic electric -furnace

第一節 概 說

鹽基性電氣爐煉鋼法，從化學上能分氧化期與還元期。第一之氧化期呈現出和鹽基性平爐法殆同的現象，但是第二之還元期却為電氣爐獨特的現象，以還元性氣氛與還元性鋼滓的作用而完全脫氧的。類此之反應於其它的煉鋼法上是沒有的。坩堝爐鋼除外其它的鋼基本受不到和電氣爐同樣之脫氧作用。甚至酸性平爐亦不會像電爐鋼那樣受到徹底的脫氧作用。爐內的空氣在大多期間為強的氧化狀態。

氧化期間主要是為除掉電氣爐本身或從他爐來的熔材中之不必要的元素（如磷等）。同時也使炭，錳等其它的元素於必要之範圍內存在之。電爐之氧化材料主要使用鑽石或氧化鐵皮中的氧氣。於此操作之下，Si, P, C, Mn, Cr, W 及 V 等的一部份或全部會燃燒確實在某種程度下亦會被氧化。唯有炭變成了氣體，而其它的大部份都形成了鋼滓。惟恐部分的氧化物以不純物介存鋼中致使製品惡化，故於其後的還元期須要再獲還元之。

燃燒是根據物理化學上一一定的法則而起的，此物理化學上的法則在氧化期中不可能自由的給干涉。在製品鋼的成份內即使必須要使元素殘存熔鋼內但在氧化之際使不利的混合物分離是困難的。

氧化期間：不純物分為以下四階段被氧化着。

- 1, 硅的分離，
- 2, 錳，鉻，鎢，鈳等的分離，
- 3, 磷的分離，
- 4, 炭的分離，

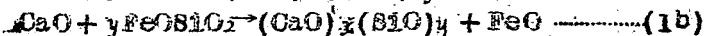
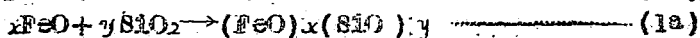
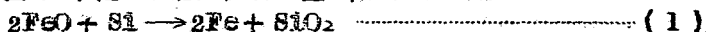
第二節 硅的分離

The Elimination of the - Silicon

硅因有以下般的反應，故鐵及硅酸石灰會馬上漂淨和濁滓結合，此反應在實際上溶解完成後才終止的。(1a)式所示的。(FeO)X(Si

O_2 之硅酸第二鐵在熔解中會很迅速的 formed, 但是氧化第一鐵會被鹽基性的強石灰而置換, FeO 進入到熔鋼中。氧化第二鐵進入熔鋼中將磷及炭氧化。所存在的氧化第一鐵是從裝入物或鑛石中的氧化第二鐵或四氧化三鐵等的分解而來的。

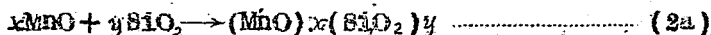
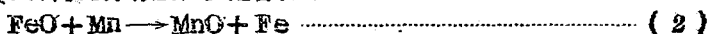
於鹽基性法當中硅差不多會完全被除去而成痕跡。



第三節 錳的分離

The Elimination of the -Manganese

錳的氧化同於硅, 由於以下的反應氧化錳即時會和鋼滓結合起來。故此鋼滓內既含有硅酸錳化合物等々。



從理論上講, 錳是在硅完全被氧化除去了後才會被氧化的, 但實際上並不完全是這樣的, 有時和硅同時起反應。錳的氧化比較慢, 故此熔鋼內常會殘留微許的錳。其量約為 0.15—0.25% 根據 Si_2-00 氏之說, 錳的約 60% 和硅素前後進入滓中。殘餘部份的氧化作用是不能充分被氧化的。因之欲使殘留錳的 10—20% 氧化雖較比容易, 但最後的 10% 是較困難的 (氧化)。所以殘留錳在 10% 或 10% 以下的時候, 即證明熔鋼已被過分的氧化着。因普通的裝入物中含有 1% 左右的 Mn, 所以鋼內實際含有 40% 以下, 即 0.4% 以下的錳。

第 68 表 (%)

Oberhoffer 氏在真空電氣爐中熔解了電解鐵, 加入氧化鐵及錳鐵等熔解後保持在 1600 度爐中數分鐘, 其後急冷之, 由於錳量的增減而氧量的變化据研究的結果為第 68 表般。据同表所載 0.24% Mn 和 0.13% Mn 兩者之間的氧量形成了很大的差。故此錳含量在 0.20% 以下是

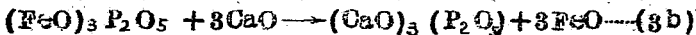
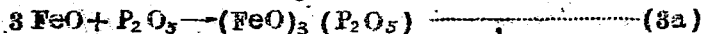
| Mn | 全酸素 |
|------|-------|
| 0.18 | 0.115 |
| 0.24 | 0.043 |
| 0.36 | 0.030 |
| 0.40 | 0.025 |
| 0.60 | 0.020 |
| 0.80 | 0.015 |

值得考慮的。在鹽基性平爐上錳極佔重要地位是人共知的。錳量若適當存在能幫助鎮靜作用，且有脫硫作用的益處，同時鋼滓中若過剩的含有氧化錳時熔點低的硅酸錳能使流動性增加，並且又有易於造滓的利益。然而熔鋼中若錳量過多的話，氧化作用遲鈍煉鋼時間會拖延得很長的。隨之爐則須保持長時間的高溫，而這是會受害的。

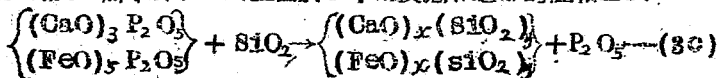
第四節 磷的分離

The Elimination of the - Phosphorus

欲使磷氧化除去，必須具備以下的三條件。(1) 氧氣的過剩，(2) 濃厚之鹽基性鋼滓，(3) 低熱。此元素的除去步驟是先形成了無水磷酸，次為磷酸第二鐵，最後形成了三重磷酸石灰的形狀而被氧化除去的。其反應如下：



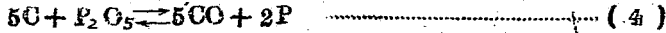
由裝入物中的磷化鐵與氧化第二鐵而形成的無水磷酸是非常強的酸故此馬上會和最有效的鹽基結合形成磷酸鐵。然而此磷酸並不是永久性的化合物，甚易被還元。該磷酸到鋼滓中去，石灰便馬上變成三重磷酸石灰。無水磷酸又馬上由於以下的反應和遊離的硅相置換。



像這樣無水磷酸會馬上受到還元作用，故此在熔鋼中有硅或鋼滓中有遊離硅的中間磷是不會被除掉的。因硅和磷酸石灰中的無水磷酸能置換，故此以高硅分的酸性滓磷是脫不掉的。鋼滓應為強鹽基性，同時又必須多加石灰以使磷酸第二鐵中不安定的氧化第二鐵被置換形成安定的三重磷酸石灰為要。

溫度對磷的氧化作用又是最重要的東西。脫磷的適當溫度為 1375—1400 度故須使之在 140 度以下長時間進行脫磷為要，但過于低溫是難以操作的。硅的全部與錳的大部份已被氧化之後殘餘的氧氣便在炭氧化之前進行磷之氧化的。可是無水磷酸在有炭的場下是不安定

的且易被還元的。在鹽基性轉爐的場合迄至炭量極少這個中間磷被氧化之量甚少的原因亦正是爲此。於是既生成之無水磷酸勿使它再被還元那樣使之爲安定的磷酸石灰是必要的。

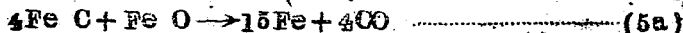


電爐熔解師在裝入物熔融之後，應該注意使鐵液的溫度緩慢的上昇。更將以上的事實牢記，須於炭沒全被燃燒之前大力使磷分離的。

第五節 炭的氧化

The Oxidation of the Carbon

炭的氧化作用需要1400度以上的溫度，待大部份的硅素，錳，鉻，釩及磷等被氧化並且此等氧化物進入到鋼滓內以後炭的氧化才能進行的。溫度越上昇得高炭反應成一氧化碳進行得越快。但是炭絕不會被氧化得很乾淨，電弧爐的場合不可能除到0.03% C以下，就是使之剩到0.05%也是非常困難。0.06—0.07%以下



的氧化除去需要很長的時間，熔鋼會被過剩的氧化，屢有使鋼質墮于不良等事。欲使炭減少到以上的程度則必須多用鑛石，故脫酸與精鍊是困難的。爲了盡可能不減低熔解時的炭量故應該挑選無磷的裝入材料。在這個場合硅素會氧化，而錳，鉻，磷及炭等會微許氧化的。這即是無氧化熔解法的原理。

少用鑛石並且盡量的保持低溫時在硅素氧化之後大部份的磷亦氧化而錳，鉻的一部份殘於熔鋼內，炭是殆無氧化的。這是一部份氧化熔解法的原理。

然而爐內的溫度主要是由于炭氧化之沸騰作用而昇高的，故此裝入物中希望有相當多的炭含量，熔解時的炭含量若低精鍊作用不能順利的進行。特別是在實行氧化熔鍊，欲除掉氫氣及其他不純物的場合已成爲必要而不可缺的作業。所以使裝入物中含有某一程度的炭，在熔解終了時能多有些炭量是必要的。假如熔解後的溫度低而炭量少的場合應添加生鐵達到其目的。

第六節 氧化期之脫硫作用

The Desulphurisation in The Oxidising period

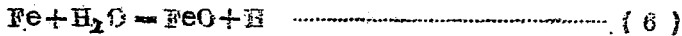
硫黃的氧化作用在氧化期中雖然很明顯的進行着，但為量極少僅不過全體的20%。被提出的這些以硫酸石灰而進入鋼滓中，其中的極少部份是以亞硫酸瓦斯而逃散的。然而大部份的硫黃卻不被氧化而殘於熔鋼中，其存在狀態可能為硫化錳或硫化鐵。脫硫作用因須要強的鹽基性同時又須要高溫，故此要求着和脫磷作用相反的狀態。在氧化期間內使磷成為磷酸石灰而除去之較為順便，但在同一氧化期內是不適合形成硫酸石灰的，所以硫黃的氧化除去是不牢靠的。

熔鋼中若有錳時會形成MnS，可是此MnS並不會熔解於熔鋼中，只成為一些微粒子介在着，僅以比重差是不能分離的。但終有少許會漂浮上來所以鋼滓中有時含硫竟在0.2%左右。出滓時能嗅到亞硫酸瓦斯的味氣，這正是硫黃在燃燒着的原因。

第七節 氧化期瓦斯的分離

The Elimination of The Gases in The Oxidising period

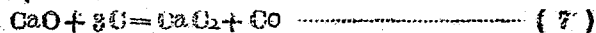
在氧化期間內從熔鋼裡，氫氣的大部份是會逃出的。熔鋼中很容易含有從裝入材料中的濕氣分解上或從鐵礦石與經過長期貯藏之石灰等內所吸收之水分的分解上而來的氫氣。特別是氫氧化鈣在非常高溫度下才會和水分分開的。而水便以如下的反應式發生氫氣，竟熔於鋼中。



這時所熔解的氫氣在氧化期炭成為一氧化炭而逃出的時候便會被帶出的。其作用恰如向炭酸水中吹入空氣時炭酸瓦斯會逃出是同樣的。如鹽基性平爐的場合熔鋼很稠(濃厚)的時候，由于炭的氧化之沸騰作用很難進行，故此容易生成很多氣泡的鋼。若只用硅或其他的脫氧劑來脫氧的話，因瓦斯不會沸騰，所以正像許多實驗結果所表示的一樣，其鋼中將含有很多的氫氣。電氣爐上亦有類同的現象。即當製造軟鋼或軟鎳鉻鋼的時候，只使軟鋼的熔解而沒有使之沸騰的機會時

。鋼塊中氫氣多容易造成有氣泡的東西。製造電氣用鋼板時，因須要含炭量極少，（只以硅量在4%的硅素鋼板屑來實行熔解），則容易生成氣泡多的東西，所以說瓦斯氣體單靠硅素是脫不淨的，必須要用一氧化炭而使之沸騰。

製造炭量高的鋼時，炭與微許存在着的氧化合起來發生一氧化炭瓦斯，另外在還元期時的鋼滓上石灰與炭化合由於次式會形成炭化鈣，同時又會發生一氧化炭的瓦斯，而此瓦斯將會攪拌熔鋼從熔鋼中有驅除氫氣瓦斯的作用。



由此觀之在電氣爐的場合，使裝入材料內先含有相當的炭量於熔解之後加入鑛石使之沸騰，即所謂進行酸化熔鍊（Oreing）是絕對必要的。

第八節 酸化鋼滓的成份

The Composition of Black slags

酸化鋼滓的成份不是一定的，大體上有硅酸10—20%，氧化第二鐵4—20%及氧化錳3—15%。第69表中記入着3種代表的鋼滓化學成份，A是完全氧化了的，B是以錳錳完全氧化了的鋼滓，C則是使用清淨的屑鐵並在某一種程度下脫酸完了的鋼滓，

第69表 電氣爐黑色鋼滓的成份 (Sisco氏) (%)

| | SiO ₂ | FeO | Al ₂ O ₃ | MnO | CaO | MgO | P ₂ O ₅ |
|---|------------------|-------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------------------------------|
| A | 14.28 | 18.42 | 2.07 | 8.43 | 43.17 | 12.47 | 1.09 |
| B | 15.87 | 12.85 | 1.96 | 12.65 | 44.21 | 11.65 | 1.76 |
| C | 16.26 | 8.41 | 2.64 | 4.37 | 53.23 | 13.73 | 0.82 |

氧化錳量多的鋼滓不僅流動性好，並能含硅酸約40%。硅酸錳在能形成鋼滓的硅酸鹽類中是熔點最低的物質，故此氧化錳量多的滓作用非常激烈。在平爐的場合這個事情是極重要的，故此力求作得錳量多的裝入，以望鋼滓的流動性之良好。但在電爐的場合因易得高溫，所以在這點上尚無對錳過分重視的必要。隨之如第69表的C例般即使錳量少些，以微許的螢石加入之亦能充分增加其流動性的。可是又因後述般的原因，再三強調着熔鋼內常須保持着0.18%以上的錳量。

第九節 氧化期之化學反應的總括 Summary of The Chemistry of Oxidation

氧化作用的調節得當與否往來會關係到最後的製品性質，既然這樣重要所以於此再簡單的總括的談一下。在氧化期內氧氣，錳，錳，鎂，磷以及炭等，在全部或一部熔解之後會被除掉的。為了使之起氧化作用可以固體氧氣加入之。除了從門扉的空隙部會進來氧氣外爐中是沒有氧氣的，故加入的氧氣，必須以鐵礦石，錳礦石，氧化鐵皮等的氧化物加入之。其氧化作用如以下的順序而進行的。

- 1), 硅酸完全的熔解之後會成為痕跡，但是普通含有量的約 1% 左右會殘留下來的。
- 2), 鈾被完全熔解以後會全部被除掉的。
- 3), 鎂很易被氧化，形成了氧化鎂而進入鋼滓中，若無過剩的氧氣金屬中會殘留 0.08—0.3% 的鎂。
- 4), 錳易被氧化（但比鎂難），熔鋼中僅殘微許。以普通的氧化劑徹底使之氧化時炭為 0.07% 以下，錳亦為 0.07% 以下，但是若用鐵礦石使之氧化時炭雖會在 0.07% 以下而錳却在 0.2—0.3%，故此欲使熔鋼中多留下些錳的話，可用氧化力弱的錳礦石。
- 5), 前面也說過了磷在 1375 度—1400 度易被氧化形成無水磷酸。這是和氧化鐵結合而形成磷酸第一鐵的酸。弱鹽基性之石灰可以置換，只要有充分的石灰且鋼滓中沒有還元性物質時，便會形成三重磷酸石灰的，於裝入冷材的電氣爐法上使溫度漸次的上昇，同時熔解師又能仔細操作的話，那麼在炭的氧化作用開始之前，磷差不多可以除掉而成為 0.01% 以下。可是普通的場合若不把炭降低到 0.05% 左右磷是難以剩到 0.01% 以下的。
- 6), 在 1400 度以上炭即會被氧化，在有充分的氧氣中間會降至 0.07% 的，欲更除炭若不使用錳礦，熔鋼將會被過度的氧化，又往來會傷害鋼質，實際上想除至 0.05% 以下是困難的，在普通的狀態下使用鐵皮，鐵石等的氧化劑來操作時大抵炭為 0.06% 左右。

- 7), 裝入材料內含有之硫黃的 $\frac{1}{5}$ 左右會以MnS而進入氧化鋼滓內去的, 然而這在氧化期間內並不是很重要的事情。
- 8), 從液室內發散的氫氣可能是由於在熔解中最多的一氧化碳的發生一起氧化而逃出的。

以下的結論與上述的總括若能對氧化期中所形成的氧化物量充分加以調節的話, 所起的反應亦可預想得到的。

- 1), 若以過剩的氧化鐵將硅及錳除到成為痕跡時, 炭, 錳, 鉻, 鎢等則會被除至0.1%以下, 磷會被除至0.01%以下, 硫黃則會被除至全體的 $\frac{1}{5}$ 。這是完全氧化熔解的基本情況。
- 2), 若將少量的氧氣及溫度加以充分調節時, 硅, 錳則會被除掉兩者皆剩至0.03%以下。假使磷分不很高(0.05—0.04%以下)時, 則會剩至0.02%以下。全錳, 鉻, 炭等的20—60%會被氧化而脫出液外。一般比金屬之5.0—6.0%會殘於金屬中的。這是一部份氧化熔解的基本情況。
- 3), 以盡可能少量的氧氣, 熔解着清淨的鐵屑, 同時裝入料中亦不用鑽石及其它的氧化物, 在金屬熔解之當時鋼滓馬上會被還元的話, 換言之即不生成氧化性鋼滓時, 硅及錳差不多會被完全氧化, 而至0.05—0.08%以下。錳的一部份會從氧化物中還元鋼中。用硅素的還元是毫無影響的。其大部份會存於鋼滓中。部份的炭, 錳鉻等會被氧化, 於中炭則永久的丢失了。然而其它的二者用完成鋼滓會被還元而重回金屬中去的。磷當然是不受影響的。這是無氧化熔解的基本情況。

以上的三種氧化作用都是鹽基性電氣爐作業上的基礎問題, 頗為重要故留待後章詳述之。

第十四章 鹽基性電氣爐的精鍊作用

The Refining of the Basic electric furnace

第一節 概 言

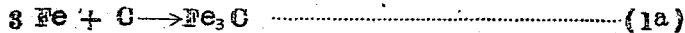
在氧化期間中因供給了許多的氧氣，故於熔鋼內以熔解狀態或混合狀態而殘留下來許多氧化物。故此在精鍊期間內須將已熔之氧化物變換成不熔解性或熔解度低的物質，使它同最初以不熔解性的微粒介在物混存着的氧化物一起浮起而移向鋼滓中去。

於電氣煉鋼法中，在精鍊期進行還元的同時又必須把硫黃除掉，所以又須特造還元性鋼滓以完成此作用。

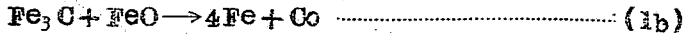
第二節 增 炭

The Carbonisation

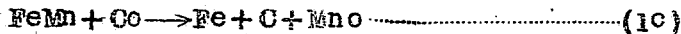
增炭作用因不是很重要的東西，故只簡述之於下。掬除氧化鋼滓之後向裸鋼上面以炭的形狀加入之，則會同鐵結合而形成炭化鐵。



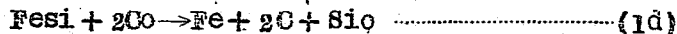
這樣差不多都會熔解到熔鋼中的。但加入的炭不能全成爲炭化鐵而進入熔鋼中。一部份會和爐中的空氣起作用成爲一氧化碳的。也有些供熔鋼中的氧化鐵還元而用了。其反應是



氧化鐵過剩時液室會沸騰動搖甚々，此時可用錳生鐵鎮靜之。



以此反應所形成之氧化錳，不像硅酸那樣止于鋼中，而會被還元故稱良好。某工廠以同目的而用硅素鐵。其反應是



硅素鐵雖能使鐵液鎮靜，但所生成的硅酸介在於熔鋼中是很不易分離的，故不多用。

第三節 還元鋼滓 The Deoxidizing slag

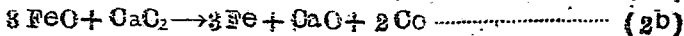
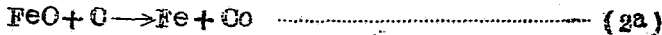
還元期爲電氣爐煉鋼中最重要的一個時期，比其它的煉鋼法是優越的。還元鋼滓有白色滓與炭化鈣滓之二種，這是前面已經談過的。白色鋼滓是以石灰，焦炭，螢石三者12:1:2之比形成的，此內焦炭量很少，差不多沒有炭化鈣。即便有也只是在電極附近稍有一點而已。此滓只可在造低炭素鋼時使用之，而其它的場合差不多不用它（然而著者在製造極低炭素鋼的時候，初時只加用石灰與螢石，待其熔解完了時將揮發分多的炭粉未每次少量分數次加入之）。

炭化鈣鋼滓是電氣爐上最好的還元劑，和石灰對比起來該炭的使用量非常多。其量雖由于操作者而不同，但大體上石灰：該炭：螢石之比可爲6：2：1。又爲了獲得非常強的還元性鋼滓時，也可以用石灰：該炭：螢石之比。螢石可供增加流動性時用之，但其流動性與溫度的關係頗大，故須對螢石的加入量付以注意。

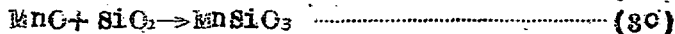
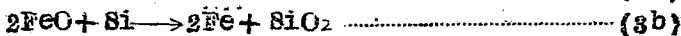
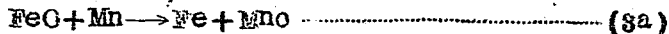
第四節 白色鋼滓 The White lime slag

1. 白色鋼滓的還元，(Deoxidation with a White lime-slag)

白色鋼滓內含有約8%炭，是一個很弱的炭化鈣（炭化物）。於電極附近雖生有炭化鈣，但由於來自爐門的空氣很快會被作用變成一氧化炭而消失。僅有微許殘於電極附近而已。下面的反應，氧化鐵會被炭或炭化鈣等：還元的。



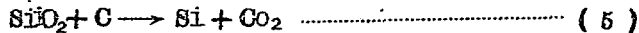
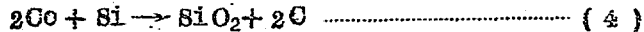
然這在許多的場合下是不重要的化學反應，而大部份皆被錳鐵或硅鐵的固形物還元的。其反應式於下：它將留下金屬而形成硅酸錳。



像 2a, 2b 的反應那樣，此鋼滓的最大任務並不是強烈的還元劑，而只是覆蓋着鋼液給以保護不使熔液接觸頗有氧化能力的空氣的。如見 3a, 3b 的反應般還元因必須要用硅素鐵或錳鐵，所以其脫硫的辦法和平爐脫硫的場合並沒有什麼兩樣。

只不過平爐的場合，將硅素鐵或錳鐵投入爐中以後，頂到鑄造中間的時間較短，而電爐的場合則能夠長時間的在爐內起作用，故能充分的反應。

以白色鋼滓來操作的場合，硅是最好的還元劑，使用者頗多。用硅的唯一目的是除了 3b 反應之外，更會像反應式 (4) 那樣脫除熔鋼中之瓦斯體的。熔液極熱時，由於炭的存在硅素會自滓中的硅酸上被還元，而再度進入熔鋼中 (1400 度為還元作用所必要的溫度)。



上面的反應，若給與完全分解的時間是會充分進行的。從滓中被還元了的硅素奪取瓦斯是稀有的。硅素鐵不要作一次加入進去，為使反應後的生成物易成乳狀分 2—3 次加進去為佳。同時更為了使和硅素結合着的非金屬物有充分浮到滓內去的時間，最遲應該在出鋼的 1 小時前全部加完。欲檢查鋼液中的還元狀態與瓦斯是否已被除掉，可以取試料看看有無火星的飛出。若無火星，且冷涼後的表面呈水平或凹面時即表示着它的完成。倘有火星或冷後的表面呈凸形時即表示還元的不充分。冷卻後試料的表面若呈水平面時，其鋼中的硅含量大體在 0.12% 左右。這即是說鋼中若有 0.12% 硅時即能調劑 (鎮靜) 得很好。凸面時硅素即在 0.12% 以下，凹面則在 0.12% 以上。

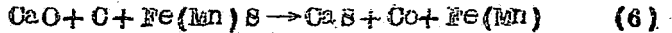
2. 白色鋼滓的脫硫。

白色鋼滓是很好的脫硫鋼滓。在電氣煉鋼的初期全都使用着此滓。直到現在它在其它的煉鋼法上雖沒有多大用途，但在鹽基性電氣爐上是十分有用的。

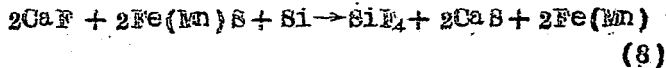
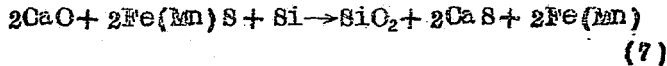
此方法具有着脫硫作用之重大意義，所以雖然在脫氮這一點上比起平爐煉鋼法沒有大的進步但在脫硫這一點上却是煉鋼業者們所共同承認的。

對於脫硫的重要條件：須為強的鹽基性鋼滓，且為很强的還元性。即使用 65—80% 的石灰更加上焦炭使之形成炭化石灰，則能充分脫硫的。然而白色鋼滓中因沒有多少炭化石灰所以脫硫便要靠次記的。

三方法來作。



這個反應式在三者之中是最重要的，可能大部份的脫硫作用都是根據這個而進行的。



反應式7的場合，硅(Si)雖能脫氧但脫硫是靠不住的。可是反應式8中因用有螢石，而螢石在電氣爐中的作用很甚，所以比7的脫硫作用尤為充分。總之反應式6為主要的而7，8二式則不很重要。

硫化石灰生成之後極呈安定，會被鋼滓吸收到飽和點。此一點的高低雖不確知但可能在4—5% CaS之間。目的既是為了要減低硫量，所以應該盡量的減低造滓材料中的含硫量是必要的。

假使造滓材料之石灰中含有0.5% S，焦炭中含有1% S，而螢石中含有0.5% S的話，不待全體的硫黃(鋼液中的硫黃)進入滓內就會達到鋼滓對硫化石灰的飽和點，隨之則不可能脫硫了。

鋼滓之對硫化石灰的飽和點是隨着溫度及流動性及鹽基性等的增加而增加的。以白色鋼滓欲行充分的脫硫作用由於以下的五種條件而會變動的。

- 1)：造滓材料中的硫質量。
- 2)：鋼滓中的炭或其它脫酸劑的量。
- 3)：溫度。
- 4)：鹽基性度。
- 5)：鋼滓的流動性。

脫硫之最理想的鋼滓是石灰的高含量與含有充分炭的鋼滓。又須為流動狀態且高溫者。石灰焦炭及螢石等之中含硫少是重要問題。白色鋼滓內的炭量若少脫硫作用是會減低的。白色鋼滓雖說會很容易且能完全的脫硫但是最多能脫到0.03—0.04%的硫黃，更好的脫硫則必須採用炭化鈣鋼滓。

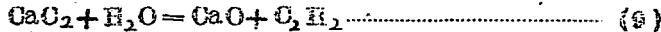
此白色鋼滓為白或帶褐色味道的白色，不像熔解時鋼滓那樣稠。冷卻後會自然崩潰而成為粉末。此粉末的顏色由於其含有的氧化金屬量而不同，但含有FeO與MnO俱在1%以下的場合呈純白色。含有鉻

。錫很多的場合為綠色，但崩潰之後永為白色。

第五節 炭化鈣鋼滓 The Carbid slag

1. 炭化鈣鋼滓的一般性 (General Features of the Carbid slag)

炭化鈣鋼滓同如白色鋼滓為強鹽基性，含有60—65%的石灰與相當於0.8—5.3%炭化鈣的0.3—2%的炭。顏色由於含炭的多寡，自淡色直到黑灰色有多種。質密無光澤固着於試料杓上難以脫離。此滓冷後會吸收空氣中的水分而崩壞成細粉狀，但此較不含有炭化鈣的白色鋼滓，其崩壞所費時間略長一些。炭化鈣遇水則如下式般的反應發生二氧化碳 (CO_2)，以其臭味即時得以判斷出來。

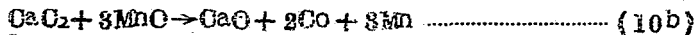
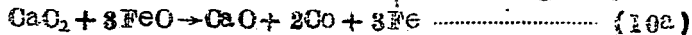


熔鋼上面加入造滓材料後，若更投進30%以上的骸炭時其多半會燃燒，所殘者以炭進入鋼滓內形成了炭化鈣。

被熔鋼吸收進去的炭量，今就將裝入材料先混合起來加到爐內去的方法來講，是要看爐內的溫度及時間如何而不同的。一般的鋼滓在不混合投入時吸炭量少。然而冷材裝入法場合先行充分的混合再裝入進去，這樣會迅速的 formed 炭化鈣鋼滓，隨之脫氧亦較迅速。熔鋼從這個炭化鈣鋼滓內的吸炭量每小時平均0.02%左右。

2. 炭化鈣鋼滓的脫酸 (Deoxidation with a Carbid slag)

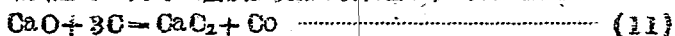
炭化石灰因是非常強烈的脫氧劑，所以鋼滓本身便能脫出大部份的氧氣，力量不足的地方用硅生鐵與錳生鐵脫除之。其反應式於下：



此時所發生的一氧化碳，形成了氣體而逃散，不會被保留於熔鋼中的。炭化石灰的脫氧作用第1是先將鋼滓中的氧化鐵，氧化錳及其它易於還元的氧化物等除掉，其次再轉向熔鋼中的氧化物也使之還元的。故此要想把熔鋼內的氧脫得很好第1個就必須勿使鋼滓中含有氧化物。第2個就要時刻對熔鋼進行攪拌使滓與熔鋼良好的接觸助其作用。熔於熔鋼內的氧化物過多時進行如反應式10般的氧化作用，炭化

鈣鋼滓會被破壞，所以爲了恢復此炭化鈣滓的性質，一定要時常加入焦炭與石灰等。不然 CaC_2 會逐漸的損失而失掉鋼滓的脫氧力量。

炭化鈣的鋼滓普通以石灰：焦炭：螢石 6：2：1 之比作成之，可是爲了更增長其還元性有的場合使用石灰：焦炭以 6：3 之比的時候。這些材料在爐中於 5—10 分之後，石灰與螢石才會熔解而造成均一流動性良好的鋼滓，此外焦炭的一部份會同爐內的空氣反應成爲 CO 而燃燒，餘者進入鋼滓中。於是先將所殘留的氧化期的滓中之氧化金屬給與還元，同時又由於弧光熱的作用如下式般形成了 CaC_2 。



上式之反應起於 1500 度—1800 度中間。但此反應會進行到爐內的氣體溫度和一氧化碳的濃度以及由於其它等條件而達到平衡狀態時爲止。所以在鋼滓中除有炭化鈣之外也常含有遊離的炭。更如鐵，錳等重金屬的氧化物，其某一定量在鋼滓內能夠與炭共存的。舉例來講，含有 0.5% (以 CaC_2 則爲 1.2%) 炭的炭化鈣鋼滓內能夠含有 1% 的 FeO 及 MnO

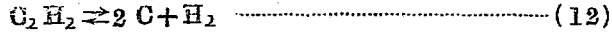
炭化鈣的生成多在材料加入後 30—45 分。鋼液中根據炭量與氧化期的殘留鋼滓量的多少能夠熔解至 1, 2% 的 FeO。其以上的 Fe, Mn 及其它金屬氧化物等量大體均一的分散着，或者形成了微小的粒子局部的存在着。鋼液上面若有炭或炭化鈣的話，鋼滓內則僅會含有 1% 左右的重金屬氧化物。在本鋼滓起作用的中間，若不斷的取試料檢查鋼液中的氧氣時就會知道它已在逐漸的減少。氧量的減少如果單純的認爲是由於鐵的氧化物比重輕而漂浮到表面上的話，那末在沒有還元作用的白色鋼滓的場合，如果簡單的給與轉置時也一定會進行同樣的脫氧作用。但在實際的操作上並無採取像這樣作用的。

脫氧作用的所以進行，是因爲一種物質溶於二種不同溶劑中去時的分布不同的關係。即是熔鋼與熔滓二者中之 FeO 的溶解度互相比較時，FeO 向熔滓中的溶解度比較向熔鋼內的溶解度大。根據溶解度的大小熔鋼內的 FeO 會減低到一定的程度而跑到鋼滓中。進入滓中後的 FeO 會被滓中的 CaC_2 給予分解。這樣滓中之 FeO 等的金屬氧化物之濃度是會減少的。若給與充分的時間，熔鋼中結果只剩下能和含有約 1% FeO 的鋼滓保持平衡的 FeO。

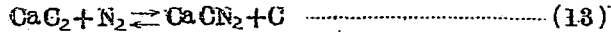
進到滓內的氧化物被還元是要消費滓中的炭及炭化鈣的。所以若不時常加入炭則不能保持充分的還元力量，尤其是時刻開放爐門時炭

的損失很大，益發須要多加進一些。還元精鍊期不必要的爐門開放應該極力避免，因為會侵入空氣而減弱脫酸力，另外又有熱對流等其它各種不利。當然在裝料或行攪拌時必須要開放，但是在關閉之前必須加上一二銑銼炭。這樣爐內的空氣會形成一氧化碳的氣氛爐內的炭化鈣則不致被破壞。以此狀態繼續1—1.5小時即能完全的還元。

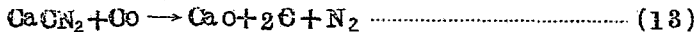
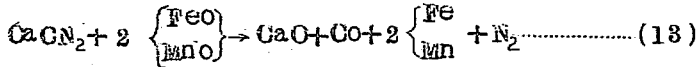
不過在這個地方值得考慮的是炭化鈣鋼滓雖然是個很好的脫酸劑但對於氫氣及氮氣瓦斯不僅沒有驅除的力量，反而有時會吸收這些瓦斯。即在炭化鈣鋼滓很強的場合，滓與石灰中的水分或從爐門侵入之空氣內的水分等起反應而如第9式般發生 C_2H_2 。此 C_2H_2 又像下式那樣很容易分解發生氫氣與炭的。此氫氣進入鋼中會害及鋼質。



炭化鈣滓又會和空氣中的氮氣起反應生成



此反應是在900—1200度處生起的，1400度以上便會分解，故此分解之氮氣會被吸收到鋼中。以下的反應式也能使 N_2 分解而進入到鋼中。



爐中若有 Al_2O_3 時由於以下的化學式能夠生成 AlN 。



在1100度下開始吸收氮氣，1500度顯著化，1700—1900度極為迅速。然而此鋁的氮化物在2120度便會迅速的分解。

所以總的說，採取過於強烈的炭化鈣鋼滓來操作是值得考慮的。以上這些地方對以後的白點問題有着重大的關係。

3. 還元作用與擴散作用的關係。(The Relation between Diffusion and Deoxidation)

為求得完全的還元作用，能使各種熔解物均一分布那樣的擴散作用是很重要的。和表面鋼滓接觸着的境界層若比爐壁附近部份的氧氣量少時，最後的熔解平衡是很困難的，從這點上看以攪拌棒或以電氣的力量等使鋼液旋迴攪拌是必要的。

電氣爐光爐的場合，以電流的力量鋼液的動搖是極微的，至多不過

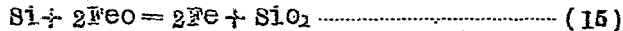
電極的周圍一部份而已。只有爐床電極式的電氣爐，由於爐床電極的加熱會直上的運動（冷層下降熱層上昇）。

誘導爐的場合，既經說明過一樣鋼液會由於強的渦流被攪拌的。誘導爐內的鐵液像螺絲的渦旋着。此渦旋是繼續運動與一時運動二者合成而生起的。誘導爐的鋼液溫度低擴散速度致被妨害，又須要長的時間才能達到目的的平衡狀態所以誘導爐的特長在還元作用中是不能百分之百表現出來的。擴散的意義很明顯的說明着二件事情，第一是在還元狀態下須要保特 2~2.5 小時，第二小型爐的場合因能充分作好擴散作用，所以能够產出良質鋼。但大爐的場合却不然，難能產出良質的鋼材。

擴散作用在電氣爐作業上是值得考慮的，而坩堝鑄却完全相反，坩堝內的熔鋼以不使其動搖為必要條件。坩堝鋼須要在靜止狀態下使非金屬的不純物漂浮上來的，而電氣爐則不同。這是由於熔鋼的動搖使非金屬的不純物浮起來與鋼液良好接觸反應的。

4. 添加硅，鋁還元作用的完成 (The Finishing of the De-oxidation by silicon and Aluminum addition.)

炭化鈣鋼液脫氧的能力是有，但脫氧的程度僅在熔鋼對氧化鐵溶解度差之範圍以內，及至保持平衡以後便不能再脫了。到達平衡狀態的時間不能很好知道，而試料是不斷的加以查驗注型後在凝固時也並不發生瓦斯間痔銀等時亦不生有赤熱龜裂，但此時熔鋼中仍殘有少量的氧化物。爲了脫除此少量的氧化物有加入比炭更強力脫氧劑的必要。這時可用硅或鋁等，加硅後氧化鐵會還元形成金屬鐵。



加入炭素 0.10~0.15% 後熔鋼中的氧化鐵量則減少，凝同時不和炭的氧化物反應亦不發生一氧化炭等瓦斯。鑄造後鋼上無瓦斯亦無收縮孔。若加入 0.02~0.05% 鋁時氧化鐵量將會更少。

硅鋁既然有這麼大的脫氧能力，那麼倒不如基本就不用什麼炭化鈣鋼液來脫氧，乾脆就用硅鋁等來作不是很好麼？——有些人也許會這樣想。但是硅和鋁等加入熔鋼去以後，形成了 SiO_2 及 Al_2O_3 等脫氧生成物時很難與熔鋼分離的。雖然說它們的比重都比熔鋼的比重小，但僅以微許的比重差是難以全部漂浮到滓中去的。這樣漂浮既不能，而溶解就更不容易，——因 SiO_2 及 Al_2O_3 的熔點都很高，一個為 1700 度另一個為 2000 度左右。因之就有很多的這種不純物一直留

到最後出鋼。而鋼材中若有了這些東西，便形成了最嚴重缺陷之一的白點的發生原因。所以結論：硅鋁等的脫氧能力雖大，但有以上的缺點，因此應該極力避免用硅鋁來作全部的脫氧。而錳在這點上是較比较好的。詳細見白點處說明。

p. Georens 教授所用的比較法，最精確的說明了擴散現象第 211 圖是同教授所作比重 4.5 之銀硫酸鹽同一沈澱的三個試驗管。試驗管 a 是將銀硫酸鹽的細粉在水中加以振盪沈澱一小時。如圖所見般結晶粉全部集於底部。試驗管 B, C 二者是將氯化銀的溶液經過硫酸作用而作成的等量硫酸銀。兩者的試驗條件皆略有變更。試驗管 B 經過 1 小時靜置。C 經過數小時的靜置，稀薄的流動層多少透明些。然而所餘部份全屬不透明之水與硫酸銀的混合物。三者的沈澱物儘管比重相等而分離速度上顯著有不同。

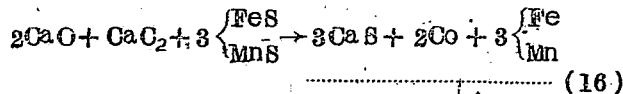
(參照第 211 圖)

以化學的實驗，若想作成易於沈澱的沈澱物時應該有各種的條件。譬喻溫度不一樣，濃度上有一點差異，或有妨害沈澱的混合物存在，以及沒有促進沈澱的混合物等以上這些極不關緊要的瑣碎事項即會使液體的沈澱性起變化的。

和上面這些實驗相同的情況在熔鋼中也應該說是成立的（第 212 圖及第 213 圖參照）我們應該根據經驗上的實驗方法來發見使分離迅速化的真條件的。這些條件我們已深切的認識到了，但是由於這些條件在不得已或故意或在不覺的操作當中起了變化時想處理它是很困難的。

5. 炭化鈣鋼滓的脫硫 (Desulphurisation with the Carbid slag)

炭化鋼滓是最好的脫硫劑，若造滓材料中的含硫量不多（在 0.15% 左右）時馬上可以除得很乾淨。其反應式於下，脫硫後生成之硫化石灰永不存於鋼滓中。



脫硫程度到 0.01% 為普通。脫到 0.005% 的例子雖有但是很難，脫到 0.008% 左右還可以。炭化鈣鋼滓既能脫氧與脫硫，故此

之白色鋼滓甚為有利。

炭化鈣鋼滓比白色滓脫硫作用所以強的原因，是因為炭化鈣滓中重金屬氧化物的含有量少，對硫化石灰 (CaS) 的熔解能力大的關係。

第六節 對完成鋼滓製造上有影響的條件 The Factors effecting the Final slag condition.

會影響到鋼滓製造的條件有四個。皆很重要故簡述於下：

- 1) 能使鋼滓的成份性質起變化的第一元素是螢石。它能使鋼滓的流動性增加但能減低鹽基性度。硅砂會被壞炭化鈣鋼滓故須注意。
- 2) 自爐門進來的空氣能破壞了爐內的還元性瓦斯，亦即是破壞了鋼滓的還元性。防止對策：用電極節約器來防止熱瓦斯通過冷卻管與電極間隙的逃失，這樣既不能對流，從爐門處亦進不來空氣。在開放爐門時要隨時加入焦炭同爐中的氧化物結合成為一氧化碳，恢復其還元性。
- 3) 因為爐中過熱爐蓋與側壁等處熔解，爐材中的硅砂流落到鋼液內會傷害其鹽基性的。對作業初時高電壓的使用若能加以注意自可避免。爐蓋處受害主要是由於鋼液的放射作用，故必須防止放射作用為要。平滑如鏡的熔鋼面放射作用很甚，所以除了電極下面以外其它的地方都應該有很濃厚而起泡的鋼滓。溫度昇到熔解爐蓋的溫度時，不斷的有熔融硅石會落到鋼滓上，不但防害炭化鈣的生成，既成的炭化鈣亦會被破壞。

爐蓋若被沖洗熔化了的時候，鋼滓會如何迅速的被破壞？從下面的一個例子中即可知道。即在天棚流落後之14分內，鋼滓中含有的氧化鐵量從0.61%很快的會增加到4.7%。原因當然不外乎從爐蓋或側壁處磚流落了的關係所致。發生這種現象時應該減低電壓加石灰，焦炭及螢石等重作新滓的。爐底材料中比較含有多量的氧化鐵，所以部份材料若被熔解而進入到鋼滓內時會破壞了炭化鈣的性質並且使鋼滓過度濃厚化。因此若遇爐底漂浮上來的場合可加螢石使之淡薄化亦須要加入焦炭。(然而過多時則沒有螢石的反應)

- 4) 鋼滓稀薄。爐底被熔解進入滓中後，氧化鐵量會增加，炭化鈣

的性質能被破壞。上四項之中除第1至少利多外其它三者都對鋼滓製造上有惡劣的影響。

第七節 含炭量過剩時的對策 Obstructions of slag smelting- during The Refining

在電極折斷，裝入物及添加物等的計算錯誤，爐床故障，熔解時的分析結果不正確，以及類此其它不良狀態的場合下熔液內的炭量將會高出要求量以上的。假使相差無幾的話對鋼質或對鋼滓的成份上尚無大的影響——加入軟鐵降低炭量則可。軟鐵的加入量不能過多，須以不超過爐體與盛鋼筒之容量為限。

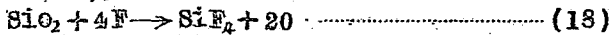
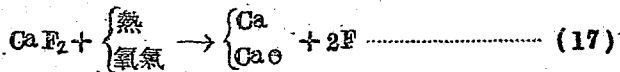
無計劃的增加熔鋼重量在大多場合是所不允許的。必要時可考慮以下的方法。炭量若過高時6 TON爐內可加入5.0Kg的鐵屑（氧化鐵皮）使與熔鋼反應10分鐘，減低10%。另外一種場合是先將完成鋼滓淘出去，然後加鐵石或氧化鐵，減低炭量到所要程度以後將此滓掏出。以後更作新的鋼滓。因為不再作第二次所以加入時的焦炭須為極細的粉末。要想挽回丟失的時間，在新造鋼滓熔解之初即還元作用進行到充分有把握的階段時馬上提早精鍊。不過若不深加注意的話頗易製成惡劣的鋼材。所以在其次的精鍊作業當中，為了給與時間使自爐蓋或爐床處來的不純介在物以及氧化生成物等分離，最少要用2小時以上普通3.5—3時。但結果大多是不能作成好鋼並且爐體亦曾受傷的。

上述之困難現象在製造合金鋼的場合尤甚。炭含量只極緩慢的復歸。而鐵、鉻及殘餘的合金元素等同時從液鋼中進入鋼滓內。元素的復歸量必須重新決定。鋼液以後的還元作用很困難，結果會比非合金鋼的場合更不良的。

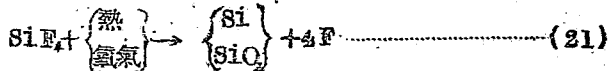
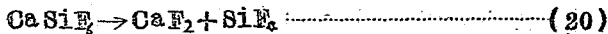
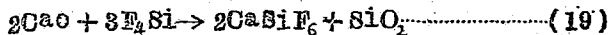
作壞了的鋼若無一定的要求時，即使炭量高也應很快的出鋼，唯有這才是最便宜且妥善方法。不然化費了3—4個鐘頭的操作，雖作到了指定的炭量，結果尚不及以廢材出鋼為上策。

第八節 完成鋼滓中螢石的作用
The Action of Fluorine in the
- Final slag.

螢石的熔點低，很快會熔解，能增加鋼滓的流動性。其於爐內的反應如下。加到鹽基性鋼滓內的螢石馬上受到氧氣作用或熱等而崩壞，鈣份鋼滓化，而遊離的弗素侵害爐蓋或爐側壁有時也和滓中的硅素起作用。



鋼滓中的四弗化硅和石灰起如下般的作用，其生成的弗化鈣硅酸鹽受熱而破壞，而四弗化硅由於熱或氧氣的作用而分解。



弗氣如(18)式的反應般同硅酸起作用，隨着溫度時間及鋼滓中的添加物等反應(19)(20)(21)的反應增加硅酸，這樣鹽基性鋼滓會益發稀薄所以螢石量不得用過石灰的8%以上為要。

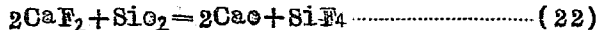
螢石能降低鹽基性度，隨而防害脫硫作用。第70表示着6 Ton爐上石灰與焦炭與螢石等三者作成的滓的成份變化，精練中約有70kg硅酸自爐蓋爐側壁等處的硅石磚並流到滓中約有25kg的弗氣自爐內以氣體而逃散。

第70表 精練期 CaC₂ 滓變化之例

| 時 | 鋼滓 添加物 | SiO ₂ kg (%) | FeO (%) | MnO (%) | Al ₂ O ₃ (%) | CaO (%) | CaF ₂ (%) | MgO (%) | CaS (%) | CaC ₂ (%) | 遊離 性 質 |
|------|-----------|----------------------------|------------|------------|---------------------------------------|------------|-------------------------|------------|------------|-------------------------|-------------------------|
| 0.00 | 石灰 螢石 | 270 45 | | | | | | | | | 液體 色流動 不良， 溫度低 |
| 0.80 | 精練試料 | 8.05 | 4.31 | 1.25 | 2.65 | 61.47 | 13.62 | 10.13 | 0.28 | 0 | |

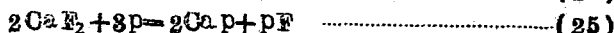
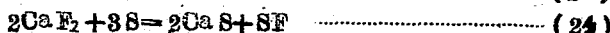
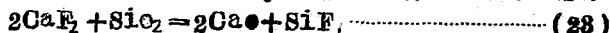
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------|--------|---|----|-------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|--|--|--|--|--|------|
| 0.85 | 骸 | 灰 | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | 淡褐色 |
| | 螢 | 石 | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | 流動良 |
| 1.00 | 鋼 | 滓 | 試料 | 9.78 | 1.55 | 0.63 | 2.51 | 49.72 | 23.48 | 10.37 | 1.06 | 0 | 0.30 | | | | | | 稀薄溫 |
| 1.05 | 骸 | 炭 | 25 | | | | | | | | | | | | | | | | 度上升 |
| 1.88 | 鋼 | 滓 | 試料 | 16.91 | 0.60 | 0.13 | 2.94 | 48.51 | 13.40 | 9.75 | 1.44 | 0.45 | 0.68 | | | | | | 灰白色 |
| 1.55 | 石 | 灰 | 70 | | | | | | | | | | | | | | | | 流動良 |
| 1.00 | 鋼 | 滓 | 試料 | 17.08 | 0.85 | 0.12 | 3.01 | 54.71 | 11.83 | 9.81 | 1.93 | 痕跡 | 0.31 | | | | | | 灰白色 |
| 2.05 | 骸 | 炭 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | 毛狀 |
| | 螢 | 石 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | 高熱， |
| 2.80 | 鋼 | 滓 | 試料 | 18.27 | 0.41 | 痕跡 | 2.96 | 50.17 | 15.13 | 9.45 | 2.27 | 0.83 | 0.57 | | | | | | 沒有炭 |
| 3.00 | 鋼 | 滓 | 試料 | 18.31 | 0.27 | 0.06 | 3.06 | 55.16 | 10.70 | 10.21 | 2.37 | 2.27 | 0.31 | | | | | | 化鈣性 |
| 3.05 | 石 | 灰 | 20 | | | | | | | | | | | | | | | | 灰白色 |
| | 骸 | 炭 | 15 | | | | | | | | | | | | | | | | 毛狀 |
| | 螢 | 石 | 10 | | | | | | | | | | | | | | | | 高熱 |
| 3.80 | 鋼 | 滓 | 試料 | 18.90 | 0.31 | 痕跡 | 2.90 | 51.47 | 11.58 | 10.58 | 2.85 | 1.08 | 0.47 | | | | | | 殆無白 |
| 4.00 | 鋼 | 滓 | 試料 | 19.17 | 0.25 | 痕跡 | 3.28 | 56.17 | 6.32 | 10.81 | 2.88 | 0.65 | 0.31 | | | | | | 色，弱 |
| | (出鋼直前) | | | | | | | | | | | | | | | | | | 炭化鈣性 |

對硅酸量的增加與弗氣的減少實驗效作一簡單的說明，由於電爐中之電弧作用石灰形成粉末於硅磚的表面簡易的形成了易於熔解的硅酸石灰，而流落滓中。於是根據以下的方程式會同螢石形成弗化硅。此弗化硅因會形成氣體而逃散故能說明滓中螢石含有量之減少。



再談及關於螢石的脫硫作用。有西·斯哥氏說「從來由於添加螢石鋼滓會更進一層的增加鹽基性的。同時又能夠隨意的調節其流動性使熔錫與鋼滓之間充分的起反應」但實驗的結果由於添加螢石不但不能增加鹽基性度反而減少，故此可以說脫硫的原因和此說全然不同。加到鹽

基性鋼滓中的螢石如前面說過那樣馬上分解，其遊離氟氣同矽、硫、磷等結合成為發散性的化合物，滓中的硫黃分被放散同時又更會自熔鋼中吸收硫黃分，像這樣螢石可謂間接的進行熔鋼中的脫硫的。



第九節 還元鋼滓的成份

The Composition of Reducing - slags.

出鋼前的還元鋼滓，即完全脫氧且加入鐵合金後的鋼滓成份為強鹼基性，以含65%以上石灰1—3%CaO等為理想滓。第71表將示各種鋼滓的成份。

第71表 還元鋼滓的成份(西斯哥氏)(%)

| | CaO | SiO ₂ | FeO | MnO | Al ₂ O ₃ | MgO | CaF ₂ | CaS | CaC ₂ | C |
|------------|-------|------------------|------|------|--------------------------------|-------|------------------|-------|------------------|------|
| 標準白色鋼滓 | 62.45 | 17.59 | 1.33 | 0.86 | 3.13 | 11.65 | — | 0.87 | — | — |
| 螢石加入後 | 38.64 | 5.50 | 3.63 | 0.33 | 1.13 | 12.62 | 30.83 | 1.07 | 0.00 | 0.33 |
| 同上試料採取後1小時 | 50.86 | 1.70 | 1.26 | 0.13 | 1.31 | 14.62 | 19.32 | 1.71 | 0.00 | 0.15 |
| * 1) | 51.63 | 19.54 | 2.35 | 0.35 | 1.72 | 1.62 | 8.61 | 1.05 | 0.00 | 0.00 |
| 完成鋼滓 | 75.85 | 13.20 | 0.13 | — | 1.73 | 4.22 | — | 1.22 | — | — |
| 用砂 2) | 63.87 | 2.58 | 1.26 | 0.37 | 2.06 | 8.65 | — | 14.33 | — | — |
| 標準炭化鈣鋼滓 | 65.82 | 7.48 | 0.35 | 0.05 | 2.17 | 13.70 | — | 2.26 | 4.54 | — |
| * 1) | 57.63 | 1.53 | 0.87 | 0.13 | 3.06 | 1.286 | — | 1.69 | 1.03 | 0.22 |
| * 2) | 45.02 | 17.48 | 0.87 | 0.13 | 3.20 | 1.286 | 17.56 | 1.69 | 1.03 | 0.22 |

第十節 熔鋼的靜置鎮靜作用

The Dead melting of the molten steel.

出鋼前將爐門間隙部塗塞起來斷電，使熔鋼靜置10—20分鐘，實行鎮靜作用。目的是使還元作用終了後，熔鋼中尚殘有的細小非金屬質在物漂浮上來和鋼滓進行反應的。但這只是實驗室裡的想法。

在實際上不會有這種反應的。

現在查看一下出鋼前熔鋼的狀態罷，爐內流動狀態的熔融金屬是由熔煉的鐵，和熔解成份的炭錳，鉻，鎳或其它元素及遊離狀態的各種浮遊物之硫化錳與硅酸等合成的，鐵，錳以及類同重金屬之氧化物等以分離狀態的存在量是極少的。這些氧化物在以上之脫氧方法下，一方面會被還元一方面形成了CO從熔鋼中逃散。最後加入的硅於熔解氧氣之中有相當於平衡濃度的份量會變成 SiO_2 。用炭脫氧良好的鋼中， SiO_2 量僅在0.1%以下。因而這樣極少量的不純物僅在10—20分內想漂浮上來是很困難的。

於6 TON熔液中出鋼前尚殘存有約2.5kg的非鐵不純物。約2kg左右是硫化錳，0.5kg為硅酸，這在約15分鐘的靜置鎮靜中間要想使浮遊物的大部份漂浮到浮中是不可能的。欲使硅酸成一集團而浮昇浮中則需很長的時間。硫化錳雖集成較大的一塊存於熔鋼中，但因其流動性不佳且粘着力強所以沒有漂浮力的。

爐中的靜置鎮靜作用沒有效。鋼質也不能因而改善，但在盛鋼筒內其作用是比較有效的。出鋼後的熔液在盛鋼筒中旋迴漂浮，時間雖僅為10分其作用亦不為小。在湯道中亦能分離。微粒的不純物比之脫氧生成物浮力尤弱故難浮盡。正像前面寫過的那樣，因為要使電爐動搖，以求非金屬介在物的漂浮，所以其靜置鎮靜作用是不會奏效的。

第十五章 冷材熔解法的種類

The Variations in the Cold scrap Melting process

第一節 概 說

在前二章裡面已經比較詳細的談到了關於電氣爐操作法的概略，製品的性質以及氧化期還元期當中的化學反應等問題。現在更談及電爐操作上的4種不同熔解方法和各法中間相對的得失並涉及熔解作業會給與製品性質上那些影響。

鹽基性電氣爐裝入冷材作業的場合，其熔解方法(1)完全氧化熔解，(2)部份氧化熔解，(3)無氧化熔解及(4)氧化熔鍊的四種方法。這些不同的方法只不過是在氧化期間內的作業情況不同而已。至於還元期間的化學反應都是一樣的。但是正因為熔解完了後鋼的氧化程度不同，所以之後還元期內完成鋼滓的還元程度亦應該不同。更明確些說，即若完全氧化後含有量必然很多，所以之後還元的時候則必須充分的注意脫氧。

第二節 完全氧化熔解法

The Melting process with Complete oxidation.

1. 熔 解

此完全氧化熔解法，是最簡單最廣泛採用的方法，但因為過於氧化而還元期難以充分的還元，所以其製品不能說是很完善的，此法在氧化期內和鹽基性平爐完全相同，但在還元期內能夠還元及脫硫是它的優點。此法今日在製造低炭鋼時用之，但已微許加以改良了。採用完全氧化熔解法時宜事先將石灰與鐵礬石或鐵皮等鋪放爐床上，其上裝入屑鐵。鐵礬石或鐵皮量不可太多。所加之鐵礬石量一次須為噸當量之10—20kg。

裝入材料可用便宜的屑鐵，旋盤屑及其混合物等，但燐量盡可能在0.08%以下為佳。不過燐量即使多些(0.12%)也很容易以一次的鋼滓給脫到0.02%，但有時液中也會留到0.03%以上。這個時候可以捨掉了第一回的鋼滓，而換用新滓，所以更須要延長30—

45分的時間。當選擇鐵屑時若認為含磷量能在0.1%以上的話，可以混入部份0.07—0.08%P的屑鐵，力求磷含量的低下。此裝入材料的費用反而比脫磷作用所要的時間費用有利些。若這樣作能準確的使磷量降低到0.015—0.02%故可不待磷分析結果而掏出鋼滓的。

第72表是完全氧化熔解的一個例子。根據此表，很明顯的知道由於氧化滓的作用在熔解完了時硅素能完全除去，炭錳等能够除至0.1%以下，磷能除至0.02%以下。

第72表 完全氧化熔解

| 時間 | 種 目 | 數量 (kg) | 熔 鋼 (%) | | | | |
|------|---------|------------|---------|-------|-------|-------|-------|
| | | | C | Si | Mn | P | S |
| 0 00 | 前 同 出 鋼 | — | — | — | — | — | — |
| 0 10 | 裝入始 | 石 灰 | 300 | — | — | — | — |
| | | 鐵 礦 石 | 20 | — | — | — | — |
| | | 錳 屑 粉 | 6.000 | — | — | — | — |
| 0 55 | 裝入終送電 | 切 屑 粉 | 2.000 | — | — | — | — |
| | | — | 8.000 | 0.37 | 0.300 | 0.30 | 0.075 |
| 3 30 | 全 部 熔 解 | — | 0.07 | 0.008 | 0.03 | 0.015 | 0.046 |
| 3 50 | 鋼 出 滓 終 | — | — | — | — | — | — |

| 時間 | 種 目 | 數量 (kg) | 熔 鋼 (%) | | | | |
|------|-------------------------|------------|---------|-------|------|-------|-------|
| | | | C | Si | Mn | P | S |
| 3 55 | 電 極 末 炭 生 鐵 | 60 | — | — | — | — | — |
| | | 15 | — | — | — | — | — |
| 4 05 | 還 元 鋼 滓 炭 石 螢 | 250 | — | — | — | — | — |
| | | 75 | — | — | — | — | — |
| 4 35 | 精 色 鋼 滓 石 螢 | 50 | — | — | — | — | — |
| | | — | 0.56 | 0.016 | 0.10 | 0.016 | 0.040 |
| 4 55 | 白 色 鋼 石 螢 灰 石 滓 | 10 | — | — | — | — | — |
| | | 10 | 0.57 | 0.019 | 0.13 | 0.016 | 0.035 |
| 5 30 | 炭 化 錳 鋼 石 螢 灰 石 滓 鐵 灰 炭 | 30 | — | — | — | — | — |
| | | 20 | 0.59 | 0.019 | 0.14 | 0.017 | 0.028 |
| | | 25 | — | — | — | — | — |
| | | 25 | — | — | — | — | — |

| | | | | | | | |
|------|-------|----|------|-------|------|-------|-------|
| 6 05 | 炭化鈣鋼滓 | — | 0.64 | 0.019 | 0.38 | 0.018 | 0.014 |
| | 渣 | 32 | — | — | — | — | — |
| | 石 | 10 | — | — | — | — | — |
| | 雜 | 10 | — | — | — | — | — |
| 6 22 | 炭化鈣鋼滓 | — | 0.67 | 0.21 | 0.38 | 0.019 | 0.011 |
| 6 30 | 出鋼 | — | 0.69 | 0.21 | 0.38 | 0.019 | 0.011 |

鋼 滓 成 分 (%)

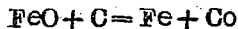
| 時間 | 種 目 | CaO | SiO ₂ | FeO | Al ₂ O ₃ | MnO | MgO | CaS | C ₂ Ca | P ₂ O ₅ |
|------|--------|-------|------------------|-------|--------------------------------|------|-------|------|-------------------|-------------------------------|
| 3 30 | 裝入材料熔解 | 40.31 | 18.37 | 19.22 | 3.17 | 7.05 | 9.43 | 0.07 | — | 2.7 |
| 4 35 | 褐色鋼滓 | 57.43 | 15.70 | 3.10 | 2.20 | 0.17 | 11.30 | 1.80 | — | — |
| 4 55 | 白色 | 61.40 | 16.31 | 0.81 | 2.00 | 0.10 | 10.80 | 2.30 | — | — |
| 6 05 | 炭化鈣 | 57.30 | 20.20 | 0.08 | 2.00 | 0.03 | 13.41 | 3.60 | 1.58 | — |

2. 出 滓 及 增 炭

氧化鋼滓必須完全除盡。尤其是爐壁附近的鋼滓應該注意。不然滓內的P₂O₅在以後的還元期要重回到熔鋼中去的。以完全氧化渣熔解之炭素鋼，自出完滓後至出鋼，這個中間還元之燐量平均為0.002—0.005%。此中有0.002—0.003%是從投入之錳鐵等鐵合金裡進來的，那麼所餘的0.001—0.002%則是從氧化鋼滓裡還元的。

由此觀之使用燐多的裝入材料是很危險的。

有增炭必要時在出滓之後將焦炭，電極粉等加到裸鋼面去。這些增炭劑很快的被熔解，有60—70%會被吸收了去。此炭先同已熔之氧化物起作用，以次式而進行還元。



CO-瓦斯的大部份會起沸騰作用而逃脫。爲使它鎮靜需用錳鐵或硅鐵。氧量多的金屬在增炭鎮靜之後以炭化鈣鋼滓還元之。

3. 脫 氧

鋼以完全氧化熔解法作用以後，有須用強烈CaC₂鋼滓來脫氧的必要。CaC₂鋼滓作用時間最少需要1.5小時故若想充分減低氧氣含有量則必需給與較長的時間。若爲不含硅之鋼，在受到鋼滓作用之後重新加硅，如是硅則不成爲SiO₂而完全會以金屬硅進到鋼中，加入後汲取熔鋼試料分析一下即可知道是否加入硅的百分之百完全以硅被含

存於鋼中所以從這個操作上也能够判斷出來是否脫氧完畢。

其次便應該充分的考慮到熔於鋼中的硅和形成硅酸而浮昇的硅如何區別法。在普通的硅測量法上不會分別出現的。即是無從知道幾許屬硅，幾許屬硅酸中的硅。前面所學的方法是用數目字（分析數目字）來表示向熔鋼內加入硅的時間的一個好方法。

製作低炭素鋼的場合可用此完全氧化的熔解法，但製造0.12% C的低炭鋼時從中途的添加物或炭化鈣鋼滓裡會進來炭故最初需要把炭量減低到0.05—0.09%左右。這樣就必須要過度的氧化，被過度氧化了的鋼在大型爐的場合不容易脫氧，但500kg左右的爐子是可以的。

製作低炭鋼的場合，即使使用炭化鈣鋼滓也不能長時間的進行操作。因為炭化鈣鋼滓每小時能够有0.01—0.02%的炭會跑到熔鋼中去的關係所以說是不可能的。尤其是溫度高的場合吸收炭更容易。所以在製造低炭鋼時要先把炭量氧化到0.0%，或者在精鍊期間用白色鋼滓進行操作即可。不過以上之二操作法皆不能完全脫氧，難得良好的製品。只是硫黃份會微些，其餘和平爐鋼並無大差。

為使此熔鋼更好的鎮靜，有以硅素鐵代替炭而加入的。加入時若不用細粉而用塊狀硅素鐵時，和鋼中的氧氣反應後生成的 SiO_2 的微粒子將會存於熔鋼中。唯有很仔細的一點一點的加入細粉狀的硅素鐵才能被還元得很好結果頗佳。氧化熔鍊時有以錳礦石代替鐵礦石而加入進去的。普通炭含量在0.07%的時候錳量約含0.05%，但若用錳礦石實行氧化熔鍊的話，炭量成份雖為0.07%而錳量則有0.25%左右之多。錳多時鋼中的FeO則少。錳若能多量的存留於鋼中，精鍊末期需要加的錳量很少即可。隨之炭的吸收量亦少。特別是加入硅錳時炭量的增加極受限制，連同從炭化鈣鋼滓進來的炭一起全體僅不過0.03—0.04%的增加而已。並且其還元力很大。又像前面所說過一樣在還元期若能再三加入炭粉進去，進行脫氧的話，熔鋼之吸炭量能減少。成績很好。

4. 總 括

總之完全氧化熔解法很簡單，即便沒有多少經驗的人也能較容易的進行操作。其容易地方是因為熔解後熔鋼的成份永遠是一定的，所以容易調節掌握成份。此法適於製造軟鋼材。此法的利點還是在於能使

用極劣級的便宜鐵屑。

然而因極度的被氧化着故難得良鋼，以現今的還元方法來說如此過度氧化的熔鋼是難以充分還元的，因而欲造優良鋼材此法是值得考慮的。

第三節 部份的氧化熔解法

The melting process with partial oxidation.

1. 熔 解

實行部分氧化熔解法時，氧氣的來源主要靠裝入物上面附有的鐵銹及熔解中跑到爐內的氧氣等。此氧氣能容易的使硅完全分離，但磷，錳，炭，鋁及類同的諸元素能微留於鋼中。過薄或銹過多的原材料氧化熔解中其氧化程度很甚。

因為在熔解中要作鋼滓，故須舖到爐床上4%的石灰。照經驗來說此滓能够毫無問題的將0.04%P的裝入材料脫到0.015%P。

假使裝入材料中的磷量很高的時候，利用此法想給脫到0.02%P比較困難，（因為氧氣量不足），所以對0.04%P以上的裝入材料此法是不適當的。

此熔解法實例特揭示於下（第73表），其裝入材料的成份與熔解完了後的熔鋼成份互相比較一下看時，可知硅已被完全氧化，而炭，錳，鉻等已經燃燒了 $\frac{1}{2}$ 。鎳量沒有多大變化。

第73表 部份氧化熔解

| 時間 | 種 目 | 數量 (kg) | 熔 鋼 (%) | | | | | | |
|------|-------------|------------|---------|------|------|-------|-------|------|------|
| | | | C | Si | Mn | p | S | Ni | Cr |
| 00 0 | 裝 入 終 送 電 | 8.300 | 0.25 | 0.10 | 0.45 | 0.035 | 0.035 | 2.00 | 0.60 |
| 2 45 | 全 部 熔 解 | — | 0.02 | 0.02 | 0.25 | 0.014 | 0.030 | 2.07 | 0.28 |
| 3 05 | 鋼 出 滓 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| | 石 灰 | 275 | — | — | — | — | — | — | — |
| | 還 元 鋼 滓 焦 炭 | 75 | — | — | — | — | — | — | — |
| | 石 灰 | 50 | — | — | — | — | — | — | — |
| 3 45 | 白 色 鋼 滓 | — | 0.15 | 0.10 | 0.28 | 0.015 | 0.024 | 2.06 | 0.22 |

| | | | | | | | | | | | |
|------|---------|--------------------------|-----|------|------|------|-------|-------|------|------|--|
| | | 石 灰 | 25 | | | | | | | | |
| | | 煤 炭 | 25 | | | | | | | | |
| | | 錄 炭 | 105 | | | | | | | | |
| 4 05 | 鋼 滓 一 部 | 生 鐵 (80%) | 15 | | | | | | | | |
| | 炭 化 鈣 | 石 灰 | 15 | | | | | | | | |
| 4 15 | 炭 化 鈣 | 高 熱 錳 生 鐵 (6% C, 68% Cr) | 25 | 0.19 | 0.16 | 0.49 | 0.027 | 0.016 | 3.29 | 0.26 | |
| 4 35 | 炭 | 化 生 鐵 | 145 | | | | | | | | |
| | | 化 生 鐵 | 300 | | | | | | | | |
| | | 生 鐵 | 25 | | | | | | | | |
| | | 生 鐵 | 25 | | | | | | | | |
| 5 05 | 炭 化 鈣 | 高 熱 錳 生 鐵 | 25 | 0.44 | 0.09 | 0.46 | 0.020 | 0.11 | 3.18 | 1.43 | |
| | | 生 鐵 | 25 | | | | | | | | |
| | | 生 鐵 | 5 | | | | | | | | |
| | | 生 鐵 | 45 | | | | | | | | |
| 5 15 | 最 終 試 料 | 錳 生 鐵 (50%) | | 0.47 | 0.23 | 0.50 | 0.021 | 0.010 | 3.44 | 1.40 | |
| 5 25 | 送 電 | 中 止 | | | | | | | | | |
| 5 30 | 出 取 | 鋼 滓 | | | | | | | | | |
| 5 50 | 出 取 | 鋼 滓 | | 0.48 | 0.23 | 0.49 | 0.021 | 0.010 | 3.44 | 1.41 | |

鋼 滓 成 分 (%)

| 時間 | 種 目 | CaO | SiO ₂ | FeO | MnO | Cr ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | MgO | Ca.S | CaO ₂ | P ₂ O ₅ |
|------|---------|-------|------------------|------|------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------------------|-------------------------------|
| 時分 | | | | | | | | | | | |
| 2 45 | 裝入材料熔解 | 50.40 | 13.5 | 8.30 | 5.30 | 8.40 | 2.3 | 10.6 | 0.10 | — | 1.40 |
| 3 45 | 還元鋼滓 | 56.40 | 14.1 | 2.26 | 1.03 | 0.43 | 2.0 | 14.6 | 1.63 | — | — |
| 5 15 | 最 終 試 料 | 54.00 | 20.2 | 0.14 | 0.05 | — | 1.9 | 14.4 | 2.17 | 0.76 | — |

2. 除滓，增炭及脫氧

先將已熔的鋼滓掏出去。此鋼滓中含有比較少的氧化鐵與氧化錳流動性不良，故須加入螢石以使易於流動。再若裝入材料中銻含量多時一定會有某些 Cr₂O₃ 混雜鋼中；而這些 MnO、Cr₂O₃ 及類似的生成物等在後期炭化鈣鋼滓還元的時候能重回到熔鋼內去。此滓中的磷含量較少，所以鋼滓沒有完全掏出的必要，蓋因滓內的磷含量很低而不會有很多磷在以後的還元操作中重進入熔鋼內去。

出完了滓以後向熔鋼中增炭等事是很少有的。假使想製造較高些的炭鋼時在炭化鈣鋼滓作用之下僅靠鐵合金中的炭則足用。如想使炭更

高，在最後加點生鐵即可。此外還有一法：將電極降下侵入到熔鋼中以求增炭，不過這個方法很不準確，故少見有用的。據亞里茲氏稱：斷電之後將電極揮進熔鋼內約15cm左右，這樣放置時每分鐘內能進入0.01%的炭。（在德國製造高炭鋼的時候，聽說工人們瞞着技師暗地裡這樣作的）。若者認為使用很貴重的電極，究竟不如用生鐵，既準確又便宜。

脫氧作用像完全氧化熔解法一樣，室造成強力的炭化鈣進行之，此場合比之前託熔解法的場合成績尚好幾分，總之氧化程度越甚脫氧愈難完全。

3. 總括

部份氧化熔解法比起完全熔解法在操作上需要有經驗與熟練。而裝入材料又必須使用好一些的鐵屑。熔解所化費的時間比起前法能縮短30分。最後的一個利點就是裝入材料中原有的合金元素有 $\frac{1}{4}$ 會殘留於熔鋼中，故能節約鐵合金的使用量。

此法對凡有的鋼材製造上差不多都能應用得上，只是不適於製造極軟鋼及含有多種合金之特殊鋼。製造極軟鋼可用前面的完全氧化熔解，至於想以合金鋼的鋼屑來製造特殊鋼的話，有第四節所載的熔解法可用。若採用第四節的熔解法時裝入材料中的合金成份則能無損失的大部份進入完成鋼中。

第四節 無氧化的熔解法

The Melting without Oxidation

1. 概 述

無氧化的熔解法是用純粹無鐵銹的材料於還元狀態下實行熔解的方法當中沒有氧化鋼滓與氧化期。此法僅僅是把部份氧化熔解法的範圍擴大了些的而已。此法既少有適宜的鐵屑可用並且價昂。對極軟鋼的製造上，因需要使熔鋼沸騰，故不適當。

2. 熔 解

爲了造滓須和裝入材料一起放入約1%的石灰。實行無氧化熔解作業的場合沒有脫磷作用。故此裝入材料內的磷量若不在0.005%以

下的話更加上自中間加入鐵合金中進來的磷量，而完成鋼中的磷量越發會高的。此熔解法所用的裝入材料中因已有0.015—0.02% P，所以在此作業的結果，製品內的磷量不會在0.02%以下的。可是還元鋼若能進行良好的脫磷時磷量即使在0.015%以上也能獲得良好的鋼材。

此法的有用裝入材料為餘剩的鐵液，鑄物屑，鋼塊的切割屑，鍛造工場的鋼塊頭部及鐵條類的斷片等。高級鋼工場內自鋼塊上切割下來的鐵屑內有25—40%（對完成鋼）可以再熔解。將此鋼屑 $\frac{1}{3}$ 與 $\frac{2}{3}$ 之良鋼屑以無氧化熔解法給與熔解後加炭再加上不足份的鐵合金。最好的材料應首推純生鐵或極軟鋼。有的時候只用同種類的鋼屑而對完成鋼的成分加以調節的，又有用極軟鋼來緩合其成份的。大多多的場合都是使用經過部份氧化熔解法作成的製品屑而製造的，即掏出鋼滓後或在還元之際添加鐵合金而進行調節的。以下舉一無氧化熔解作業的例子，即將自滾珠屑製造新滾珠鋼材的實際例子示於第74表中。從同表中就可以知道，爲了要給自炭化鈣鋼滓內的增炭留些餘地，所以才向裝入材料中混合一些含炭少的鋼屑，故意使裝入材料中的含炭量減低了一些的。又因爲很難使氧化作用全然停止所以如表上所見般，熔解後的炭含量確比裝入材料的平均成份低下了幾分。同樣的錳，鉻，鎢，鉛，鈳等諸元素也會燃燒一些的。在鹽基性氣氛之下硅也容易燃燒成爲 SiO_2 而丟失。

第74表 無氧化期的熔解 (%)

| 時間 | 種 目 | 數量 (kg) | C | Si | Mn | p | S | Cr |
|------|----------------|---------|------|------|------|-------|-------|------|
| 0 00 | 裝入終送電 | 6.750 | 1.00 | 0.19 | 0.37 | 0.015 | 0.015 | 1.23 |
| | (石灰) | 200 | — | — | — | — | — | — |
| 2 25 | 全部熔解 | 50 | — | — | — | — | — | — |
| | 渣 | 35 | — | — | — | — | — | — |
| 3 10 | 炭化鈣鋼 | | 0.92 | 0.20 | 0.33 | 0.016 | 0.013 | 1.22 |
| | 石灰 | 25 | — | — | — | — | — | — |
| | 渣 | 10 | — | — | — | — | — | — |
| 3 25 | 炭化鈣渣生鐵(3.5%C) | 75 | — | — | — | — | — | — |
| | 鉻鐵(4%C, 67%Cr) | 30 | — | — | — | — | — | — |
| 3.45 | 石灰 | 10 | — | — | — | — | — | — |

| | | | | | | | | | |
|------|-------------|----|------|------|------|-------|-------|-------|------|
| 3 55 | 炭化鈣鋼 | 洋 | 1.03 | 0.31 | 0.36 | 0.018 | 0.010 | 1.49 | |
| | 石 | 灰 | 15 | — | — | — | — | — | |
| | 螢 | 石 | 15 | — | — | — | — | — | |
| 4 10 | 高熱 (50% Si) | 生鐵 | 30 | — | — | — | — | — | |
| 4 35 | 鋼 | 桶 | 試料 | 1.06 | 0.21 | 0.36 | 0.020 | 0.010 | 1.49 |

鋼 滓 成 分 (%)

| 時間 | 種 目 | CaO | SiO ₂ | FeO | MnO | Cr ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | MgO | Gas | C ₂ C ₆ | p |
|------|-------|------|------------------|------|------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|-------------------------------|---|
| 2 55 | 白鋼 熔解 | 52.5 | 13.7 | 20.7 | 0.9% | 0.95% | 1.7 | 14.4 | 1.08 | 0.27 | — |
| 4 25 | 出 鋼 前 | 57.6 | 20.7 | 0.16 | — | — | 1.8 | 14.2 | 1.08 | 1.03 | — |

3. 還 元

及至裝入材料於爐內中心部熔解而被鋼滓覆蓋了時，很快的就可以進行還元作用。此時不要掏出鋼滓。由於添加石灰或螢石能得到正常的流動性。更撒布些焦炭粉末來除掉其氧化物。最後更爲了完全的還元可用炭化鈣作用之。其它地方比普通的方法沒有多大出入。

第五節 氧化熔鍊法

The Oreing Process

1. 概 述

西斯哥及克里茲氏等把鹽基性電氣爐法已區別成完全氧化熔解，部份氧化熔解及無氧化熔解三種，但著者認爲尙有不充分之感，所以想更提出氧化熔鍊法一項，關於更理想的鹽基性電氣製鋼法談論下去。

氧化熔鍊這個名字等於德語的「Frischen」。從某一些地方看來應該屬於既述之完全氧化熔解的一部份，但其主旨完全是兩樣的。

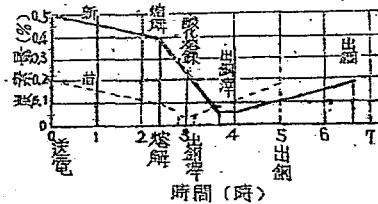
克里茲氏在他的著作中雖然也論到和著者完全相同的見解，但並沒歸納到特別的項目中，另外在某一些地方已經實際作着謂「Oreing」——頗近乎著者意見的方法，但著者在這個地方想更加以深究下去。

在鹽基電爐上一般爲了節省電力，盡量的減低了裝入材料中的炭量，並且從開始就裝入赤鐵礦或氧化鐵皮等在熔解當中就把炭含量減低至所要求的 0.1% C。可是若用這個普通所行的方法（即前述之完全

氧化熔解法)來作時對以後充分的精鍊上是困難的,所以先要使裝入材料內含有相當量的炭,然後熔解了待爐熱上昇之後再加入鐵鑛石使熔鋼石使熔鋼氧化沸騰,即所謂實行本題之氧化熔鍊,順便又可除掉氫氣及其它不純物的。

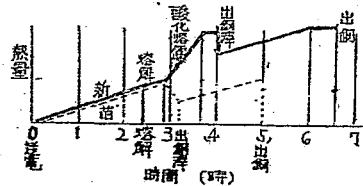
2, 氧化熔鍊法的理論

鐵中的炭和氧化鐵互相反應,形成了CO氣體而逃出,這樣在達到脫氧的目的同時,由於炭的氧化更能使熔鋼沸騰,爐熱上昇,隨則諸氣體以及固形體的不純物能漂到鋼面以上,得以進行完全總煉作業。尤其在鍊,銻,及鎢等鐵合金之中因含有極多量的氫氣,所以若不是用赤鐵鑛進行充分的氧化熔鍊的話,想除掉氫氣是困難的。除氫氣除此法外別無他法。因此若於高溫下實行氧化熔鍊的話,不僅能夠除掉氣體,又能增加熔鋼的流動性,因之固體不純物也容易漂浮上來,最後則能得到健全的鋼材。為了遂行此目的則應盡量的使炭的作用時間長些促進反應。



第 214 圖 炭素氧化狀態

從來的方法(完全氧化熔解)因為從事先就加入赤鐵鑛,在熔解中間把炭氧化除掉了一些而爐熱不高,這樣徒使熔鋼更加氧化,却毫無脫氧的力量。現在把前兩種熔解法試作一個比較,其炭的氧化狀態見第 214 圖,爐熱變化狀態見 215 圖。



第 215 圖 爐熱變化狀態

今更對二圖加以解釋。即若以從來所行的方法(圖中之舊法)來作時,熔解後的炭已然被氧化殆盡,而氧化熔鍊法(圖中之新法)在熔解後之炭量僅有一部份被氧化,其後待爐熱充分上昇加以赤鐵鑛之後才會氧化除掉的。隨則舊法時的爐熱不能充分上昇,並且又因為在這個時候實行除滓,爐熱愈發低下,於是當進入還元期時便須急力的加熱,好不容易爐熱昇高後又要出鋼,所以結果是氧化期不消說還元期間內充分的精鍊亦很困難。在這一點上氧化熔鍊法的炭含量

因事先就高，待爐熱升高以後才加入鐵鑛石使其極力的沸騰，所以見第215圖爐熱能昇得很高，能順利的完成了充分的精鍊。而且出滓以後爐熱也不會下降直到出鋼猶能保有相當的熱量，故能行完全的精鍊。

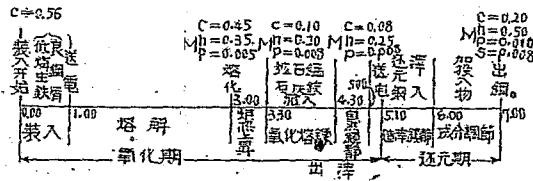
3. 裝入，熔解及出滓

裝入材料中加入低磷生鐵，使裝料炭量為成品炭量的約2倍，待熔解後10~15分時實行攪拌採取試料，於800度進行鍛鍊查看炭量與龜裂發生等狀態。炭量高可加入鐵鑛石，發生龜裂時可加入錳，常須保持錳量在0.18%以上。鑛石可分數次加入極力使之沸騰，由於炭的氧化能提昇爐熱同時又能驅逐氫氣及其伴生的氣體瓦斯，並應時刻根據氧化精鍊情況來檢定炭、錳、磷等的變化，及至炭量落到0.05%，錳量在0.18%以上，磷量達到0.015%以下的狀態時，可把爐壁處的鋼滓很好撞落下來，成為良滓後即作出滓的準備。若磷量在0.015%以上時應更造鋼滓繼續操作達到理想狀態後再出滓。

4. 還 元

出鋼滓後先把錳鐵加到裸鋼上，石灰，焦炭，螢石等次之用以造成還元鋼滓。粉末狀的石灰加到爐中去以後因能分解發生氫氣會害及鋼質，故用塊狀者為佳。又強烈的炭化鈣鋼滓因會使氫氣氮氣分解有進入鋼中的危險，故此還元鋼滓要用稀薄的炭化鈣性，在高溫下操作1小時以上。而且務使熔鋼中常保持0.18%以上的錳，但儘可能不要用硅素鐵。作好了還元鋼滓，溫度充分上昇之後，投入鐵合金進行調節成份，以後更行補還元鋼滓，待充分鎮靜之後，採取試料看視試料凝固時的凹下程度及鍛鍊試驗等，結果好時即可出鋼。

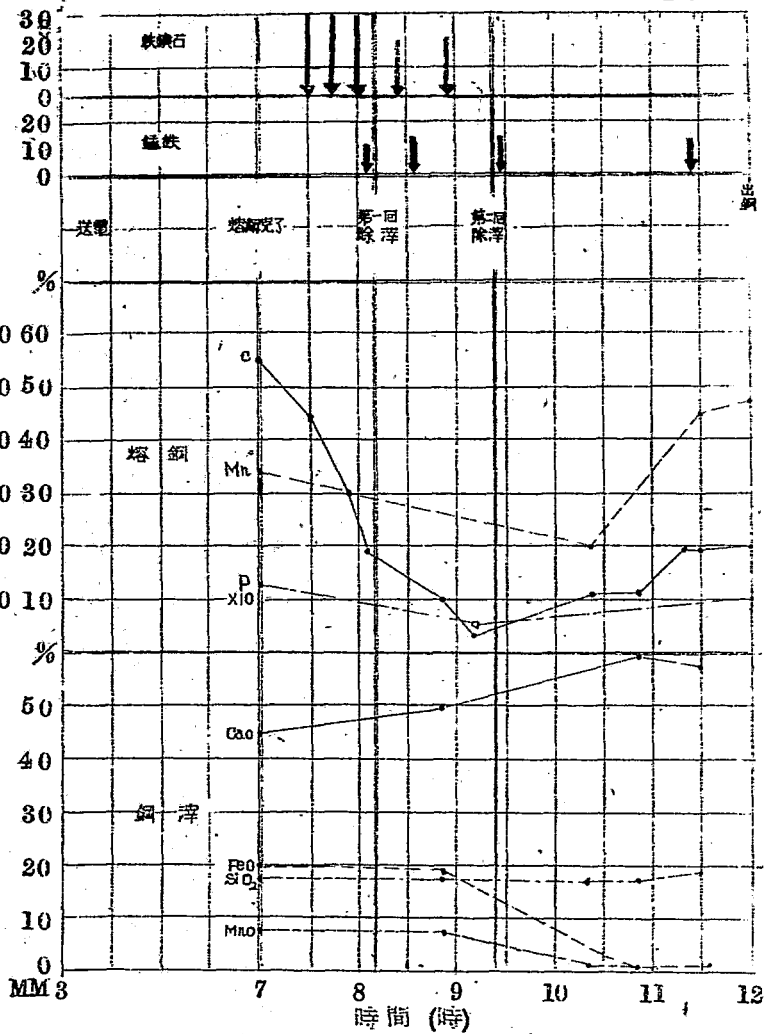
• 特示此法之一例於第216、217兩圖及第75表中



第 216 圖 電氣爐作業順序 (3 噸爐)
(氧化熔鍊法)

| 184 | | | | | | | | | |
|-------|--|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 10-20 | 石10kg, 鐵炭 14kg, 硅素鐵 0.5kg 石灰12kg, 螢 石2kg, 鐵板14 kg, FeSi05kg | | | | | | | | |
| 10-25 | | 0.11 | 0.20 | 4.45 | 57.50 | 16.40 | 3.00 | 1.00 | 10.50 |
| 10-30 | 石灰5kg, 鐵炭 2kg | | | | | | | | |
| 10-47 | | 0.11 | | | 59.00 | 16.30 | 0.920 | 0.012 | 10.20 |
| 10-50 | 石灰 10kg 錫 | | | | | | | | |
| 10-55 | 鐵 48kg | | | | | | | | |
| 10-58 | 金屬錳 55kg 鉅鐵 | | | | | | | | |
| 11-00 | 12kg | | | | | | | | |
| 11-03 | 石灰 5kg | | | | | | | | |
| 11-13 | 石灰 13kg, 螢 石 3kg, 硅素鐵 1kg | | | | | | | | |
| 11-10 | | 0.18 | | | | | | | |
| 11-12 | 金屬錳生 10kg 硅素鐵 8kg | | | | | | | | |
| 11-30 | | 0.19 | 0.45 | | 57.50 | 19.00 | 0.019 | 0.010 | 11.20 |
| 11-31 | 石灰 10kg, 螢 石 2kg | | | | | | | | |
| 11-50 | 出 鋼 | | | | | | | | |

盛鋼筒內加入硅化石灰 3 kg 鍊鋼時間 7 小時 5 0 分
 使用電力量 4,900 kWh 出鋼溫度 1,625 度



第 217 圖 3 噸電氣爐 (Ni-Cr-W) 精鍊生鐵

第十六章 熔材作業法 The Hot metal process

第一節 概 說

在另外的一個爐，——大多屬於平爐——熔解完了，並且脫過燐的熔鋼，再裝到電氣爐中實行脫氧，脫硫，這是熔材作業上的目的。本熔材作業法之中有用平爐與電爐的合併法和轉爐平爐及電爐的三重法等，但和只用電爐的場合比較起來以上的辦法却不見得有多大利益。其不利處即因平爐多用高價的煉鋼用生鐵作原料，所以其熔解費對經濟實際說反而是非經濟的。及因含有大量的瓦斯氣體所以比較只用電爐的場合製品鋼材多是不好的。現在只就其熔解費的相差作個比較看看吧。電氣爐熔解 1 TON 鋼最少要用 500 kWh 的電力。1 kWh 的電力姑為 2 分錢的話，1 TON 鋼則須 10 塊錢。此外電極的消費每 1 TON 鋼需要 5 塊錢，總合起來 1 TON 鋼最少要用 15 塊。再看平爐的熔解費呢，在使用瓦斯發生爐的 10 TON 平爐上熔解 1 TON 材料最少要用 400 kg 焦炭，焦炭 1 TON 為 15 塊錢的話，400 kg 則等 6 塊錢。

以上的論法只是說着非合金鋼及連續作業的場合而已，然而若在以下的條件下，只用電氣爐是斷言有利的。第一大量熔解合金鋼的場合，若用平爐時合金成份皆會跑到鋼滓中而至於損失這個場合使用電爐是相對優秀的。第二是在間斷作業的場合，將爐加熱到需要的作業溫度所用的費用電爐比平爐有利。同時經過平爐前熔解的鋼質比之電氣爐從冷材開始操作製成的鋼質惡劣這是事實。在美國各地特別有的地方為了能一次全把經平爐熔解出來的熔鋼裝到電爐內進行脫氧所以竟使用 10—30 噸大的電爐，但實際上使用這樣大的電爐時其脫氧作用是要比 5 噸以下的小爐困難的。大型電爐的熔液與鋼滓的有效接觸面比較製入重量極為小。尤其是距弧光遠的地方（邊緣部）因不能充分的形成碳化鈣鋼滓故還元作用很困難。既經平爐熔解的鋼大多已被充分氧化，故以同樣的還元作用（只以電爐自冷材熔解後所實行的還元作用）是不能夠完全脫氧的。最後的一個是因要把平爐上的工人通融在電爐上使用，故其操作難以作很好，其製品亦推而知之。

第二節 裝 入

以熔材製造高級鋼的場合在出鋼後應該迅速的修理爐床爐壁。使用的修理材料，因得勒密特與氧化鎂在熔解中無暇燒結故不適當。修理材料若不能充分燒結，注入熔鋼後會再度浮昇起來的。從這一點看起來在大修理之後應該一度實行熔解冷材使爐材燒結得堅固些是必要的。

電爐的修理作業完了之後，可將乾燥完了之長3—4 m，寬300 mm左右，用耐火磚作好的湯道一端置到電爐的裝入口上準備注入然後把盛於盛鋼筒內的材料經過秤量（如218圖般）從前記湯道之另一端傾注之。盛鋼筒的底孔約為50—60 mm熔鋼注入殆盡快要漏出熔滓時將盛鋼筒之Stopper（塞）閉塞起來把盛鋼筒復歸原位。

製造非合金鋼的場合熔材無須經過秤量只以平爐裝入重量7—10%的減耗概算之則可。製造中高合金鋼的場合應該注意到不要由於秤量之錯誤而作壞最後的成份。從各種地方有時會損了大量的熔鋼，故須充分的引起注意。平爐的減耗量由於裝入鐵屑的性質亦有不同。又平爐爐床的穴中也能殘存相當的熔鋼。出鋼口的位置過高會防礙平爐鋼的流出。最後氧化得很差的鋼注入盛鋼筒內的時候瓦斯的發散很多，這樣在沸騰當中隨同鋼滓一起能流出相當量的熔鋼。

從平爐移熔鋼到電氣爐內的時候，熔鋼溫度若低或盛鋼筒沒能充分預熱得好，熔鋼不會很好的流到電氣爐中去的。若盛鋼筒底部的熔鋼由於某種事情的發生已經凝固，而通過Stopper流不出來時可以微傾盛鋼筒從上部注出之。這種場合當然須要將湯道上端的口部面積放大些以便流入大量的鐵水，至如盛鋼筒的上注出口部，須要打掃得乾淨等細小問題是不言自明的。

上注的時候在注出之前應先把盛鋼筒內加上石灰使滓硬化，然後放上擋板不要使滓進到電氣爐內。即使很好注意仍然會跑進稍許錫滓的，此滓有複雜的危險，故須在稍許加熱以後很快的把它掏出去為要。

第三節 熔材成份

經過平爐熔解的鋼，和電氣爐自冷材實行完全氧化熔解然後除去氧

化鋼滓的鋼，成分是完全相同的。大體上為0.1% C，0.01~0.02% Mn，0.02%以下的磷，0.03% S，硅為痕跡。平爐的氧化作用程度由於使用鐵屑品質及完成品的要求性質等而不同。使用高磷材料的場合要把炭，鐵氧化0.01%以下，脫磷到0.01%。此時鋼材致被過氧化而發生赤熱脆裂。若想製造出來和電氣爐鋼一樣良品，則必須避免此種操作方法。平爐上若使用磷少錳多的材料時即使不把鋼氧化到以致發生赤熱脆裂那種程度也能簡單的得到適當的低磷鋼。

用平爐熔解合金鋼屑是很少有的。即因一切的合金元素在平爐中會被完全氧化丟失，很不經濟的關係。又有大量的合金元素特別Cr₂O₃進入到平爐鋼滓內以後滓會硬化流動性不佳，熔鋼的溫度昇不高，不能進行充分的化學反應。如鎳鋼屑，鎳鉻鋼屑之類即使大量的在平爐中熔解，鎳亦不會進入到鋼滓內，至如鉻因量較少不值得計較，故熔解之亦無不可。

第四節 氧化及出滓

經過平爐前熔解的材料一般不須要在電爐中更進行氧化，但有的時候亦需要氧化。舉例講：平爐和電氣爐的作業在時間上不一致的時候，特別是利用着連續作業之傾動爐的場合，以電氣爐材料的話C，Mn，P量有時過多了，於是電氣爐便不得不等着平爐操作的完畢，可是把電氣爐室起等着，這從各方法看起來是不利的，所以雖尚平爐操作的中途也只好把平爐鋼移到電氣爐裡去。這時為了造氧化鋼滓，和裝入材料一起應加入適當量的石灰與鐵銹石。然這時熔材若沒有充分的高熱，即低熱的話加入這些東西進去後鋼會圍繞着添加物而凝結的。尤其電爐在長時間的休停後冷涼很甚時這些添加物會附着於爐床及爐壁上的，此時若不停止石灰及鐵銹石的加入，其附着物與不溶解物不但不能溶解反而形成了過熱把爐蓋溶化了。這些不溶解物倘在精鍊中溶解了的話，對完成鋼滓的性質是極有害的，裝到電爐內的熔材溫度低的時候，就不要照規距的加入石灰石與鐵銹石了，而為了使軟鋼的溶解點低，且為了附着於爐床上的不溶解物易於溶解可以先把焦炭粉舖到爐床上去。然後把爐門密閉起來通上強電流待熔解鋼溫度適當的昇高之後再加造滓材料即可。如是就能很快的溶解和開始精鍊作業氧化鋼滓的抽出和冷材經完全氧化的方法相同。

第五節 增炭脫硫及脫氧

對沒有鋼滓的裸鋼，或在電爐中氧化除滓後的裸鋼實行增炭這是特殊的情況。既增炭之後即可以普通的方法來造完成鋼滓。大型電氣爐使用熔材作業的場合，精鍊鋼滓的造滓材料不要先行混合起來，最初加入石灰與螢石先造成滓，待充分溶解之後加入焦炭粉。加入時須要加到爐的中心部。弧光作用在大型爐的場合不能涉及邊緣地帶，又需要很長的時間，所以欲使邊緣部都成為炭化鈣滓是困難的。故當採取試料判斷電爐內脫氧程度的時候必須要自中心部與邊緣部兩處採取試驗之。單採自弧光所及範圍內時，大爐因究竟不同小爐不可能以一而推定全般的。故此為使鋼滓均化一必須良好的加以攪拌。若因此而熔鋼中進去炭也沒有辦法，只可靠計算來推定其含有量。鋼滓的還元性因為時常變化，故須屢次添加焦炭來維持其還元性。

大型爐內的合金元素因分布不均，因此在採取試料分析之前必須將爐內好好的攪拌一下而後採取之。可能的話隔離一定時間進行二次試驗，更能準確。

至如脫磷問題，只要能正規的進行了脫氧作用就不會有什麼問題的。

第六節 轉爐鋼的精鍊

在用小型轉爐製造鋼鑄物的時候，常有要求着較高級的電氣爐鋼的場合。這時可以先將生鐵於轉爐內吹製出來然後在電氣爐中脫磷脫硫及脫氧。想造成鋼塊，很少見以生鐵爐、轉爐，更覺爐精鍊的複雜過程代替全用平爐的方法。若設有平爐，即使電氣爐發生故障不能使用，也能極經濟的製造出來良好的鋼塊。轉爐鍊的鋼塊不好故不能用。在德國雖然用宅，但在良生鐵價昂，普通生鐵的磷，磷含量又過多的場合下，如用普通生鐵靠轉爐鍊的鋼純度是不够好的，故難和平爐競賽。

小轉爐與電氣爐合併用的場合，轉爐內成份的吹製應該在硅氧化後立刻停止，此時的熔鋼溫度最高。注入熔鋼成份為0.3—0.7% C，磷硫量與生鐵內原存量同。向電氣爐內移入時為了使轉爐鋼滓分離須用底注盛鋼筒。

電氣爐的脫磷靠一般的氧化性鋼滓來作。脫硫與脫氧則靠氧化性鋼

滓被掬除後的白色鋼滓來作。

精鍊若用炭化鈣鋼滓來進行的話很不經濟，鏽物上多不用它。總之這樣製成的鋼只要能稍優於轉爐或平爐鋼即可，並不以製造和坩堝鋼相等的優良品為目的。

第十七章 鹽基性電氣爐鋼的性質

The properties of the Basic electric - steel

鹽基性電氣爐適合着一切冶金學的理論，爐的效率最佳，溫度與氧化還元等皆可隨意加以調整。又能把磷硫脫到其它方法作不到的程度，且不受瓦斯的影响所以它的製品能和坩堝鋼互爭上下。其抗張力，延伸率及韌性等比起其它的製品皆獲得了良好的成績。看第76表就會知道，炭硅的成份即使相等電爐製鋼的物理性質確乎是優秀的。炭量即使低也有規格以上的強度，又炭量即使高也有規格以上的延伸率所以電氣爐鋼的使用範圍較大。

第76表 各種製鋼法的製品性質比較

| 爐的種類 | 彈性限 (kg/mm ²) | 抗張力 (kg/mm ²) | 延伸率 (%) | 收縮率 (%) |
|--------|------------------------------|------------------------------|------------|------------|
| 酸性轉爐 | 30.00 | 46.00 | 28.00 | 54.00 |
| 酸性平爐 | 30.00 | 44.00 | 29.00 | 59.00 |
| 鹽基性平爐 | 30.00 | 43.00 | 30.00 | 58.00 |
| 鹽基性電氣爐 | 32.00 | 45.00 | 32.00 | 60.00 |

C—0.2% 100mm×20mm ϕ

其次在鑄物上的一個困難就是龜裂與砂眼等的發生，但電氣爐法的場合因溫度調整與脫氧能進行得很好，故流動性好，所以對小型鑄物或薄小東西等能够鑄造得很好且不易生龜裂。這是因為電爐比較小，甚便於造小鑄物的原因。

既有這樣多的利點但可惜今日的電力高尚貴，以致沒能壓倒其它一切的煉鋼方法。但是比較坩堝鋼的話它既便宜又能得到同程度的良品所以完全被電氣爐法代替了。電氣爐法今日已經在鑄物，汽車，飛機以及其它優良材料等的製造上廣泛被利用着。

經此爐製造出來的炭素鋼有如第77表般的性質，特殊鋼的性質，留待第十八章詳述之。

第77表 電氣爐鋼的性質

| 種類 | 炭素 (%) | 硅素 (%) | 錳生 (%) | 硫黃 (%) | 磷 (%) | 抗張力 (kg/mm ²) | 彈性限 (kg/mm ²) | 延伸率 (%) | 收縮率 (%) |
|----|--------|--------|--------|--------|-------|---------------------------|---------------------------|---------|---------|
| 極軟 | 0.07 | 0.005 | 0.055 | 0.020 | 0.004 | 36.8 | 28.6 | 33.2 | 73.5 |
| 軟 | 0.23 | 0.135 | 0.402 | 0.021 | 0.006 | 42.5 | 30.5 | 31.0 | 60.0 |
| 半軟 | 0.35 | 0.138 | 0.592 | 0.023 | 0.004 | 51.2 | 31.8 | 29.6 | 60.2 |
| 半硬 | 0.46 | 0.129 | 0.356 | 0.019 | 0.009 | 66.9 | 35.2 | 19.5 | 51.0 |
| 硬 | 0.60 | 0.137 | 0.428 | 0.021 | 0.010 | 74.2 | 43.0 | 13.0 | 41.0 |
| 最硬 | 0.77 | 0.186 | 0.497 | 0.017 | 0.011 | 81.7 | 46.0 | 9.5 | 30.5 |

Russ:—Die Elektrostahlöfen.

第十八章 特殊鋼製造法 The Manufacture of Special steels.

第一節 概 說

在前面幾章裡已關於使用冷材及使用熔材的鹽基性電爐之一般作業法詳細的談過了。以酸性爐製造特殊鋼的詳細談論於下，而酸性法留待次章再談罷。

對於合金鋼的製造及組織上缺陷的成因等問題是製鋼業者特別需要加以注意的。於熔解中應該注意的一些問題，頂到現在尙沒談到的，舉出一二實例加以說明於下。

第二節 炭素工具鋼 The Carbon tool steel

炭素工具鋼在今日電氣爐的生產量中佔着大部份，故稍詳細的述記一下。製造炭素工具鋼時若爐床殘有合金鋼的話這些合金元素會跑進去傷害非合金鋼真正性質的。能够造出純炭素鋼的工場亦即是能造出十足值得信賴的合金鋼的證明。合金鋼由於合金元素添加量的增加能把製造當中的缺點掩蓋了。但純炭素鋼在製造當中的一些極細密的地方都會真實的反映在製品上。

炭素工具鋼的炭含量在 0.55—1.5% 之間，過去多由坩堝製造之，極少部份為酸性平爐製。需要最廣的為炭量在 0.8—1.2 % 者，較軟的用途極少。

最初熔解這種鋼的時候須用純粹的材料。因為稍許混進去鉻，鎢，鎳等時常會給與熱處理及導電率方面極不好的影響。即每次製造過高合金鋼之後不應該馬上熔解純炭素鋼，而應該熔解低合金鋼的。爐床不完全的時候能有許多殘鋼及合金元素留到爐床上，因而在下次的熔解時會跑到鋼中形成了豫定以上的性質。熔解時由於特別慎重的試驗力求把有惡影響的不純物，即便微量亦要澈底除盡。靠簡單的酸面檢

查也能發見不純物的混在。以化學試驗亦能够發見不純物，但這只是不純物普遍散在的場合而已。

妨害炭素鋼純度的第一原因為鍊鋼屑。以一般的構造材料鍊及鍊銻的應用範圍逐漸廣泛起來了。近年來特別是在砲彈，大砲，鋼鎗等內因為要用鎳合金製造所以鎳成份漸漸的增加了。此混合物一部份是自然混進來的，另外確乎是因為屑鐵市場上增加了鍊屑的結果。鎳不同銻因它在熔解時不氧化，所以屑鐵中的鎳分是年年多的。炭素工具鋼上所容許的最大鎳量一般為0.2%。含量到0.25%時多會受到鎳的影響在淬火之際很明顯的會表現出來。上記的最大制限量在向裝入材料中配合陳舊鐵屑計算上是有用的。炭素工具鋼的熔解法不可實行完全氧化作用。故此裝入材料中的磷含量必須要適當(0.02%以下)。銻等在完全氧化的場合也會進到鋼滓內去，不然的場合能留到鋼滓中的。銻含量低一些好。在這裡所談到的鋼種，大多數有0.2%鎳量能操作。

從上述的說明裡，即可以知道以電氣爐製造炭素工具鋼的場合，問題就在於裝入材料方面，故此選料極須注意。如坩堝製鋼法相同，皆需使用純粹的材料。所以常用由木炭生鐵，瑞典生鐵等經過氧化熔鍊而造出來的鋼材，這樣純粹的裝入材料價值甚高，但是熔解時間快，所以熔解價格便宜，比較使用不純的材料相差不多。因為材料不純的時候在熔解時間內一定要使材料充分氧化，完成之脫硫作用方面需要長時間，並且脫氧作用時若不細心的注意是不能達到目的的。0.9% C及0.4% Mn 以上的炭素鋼(刻印鋼)，以鹽基性電氣爐能够製造但屢有在鍊，銻鋼上所見的白銻。

2.00—3.00% C 鋼(伸鍊用絲板鍊)，很多用電氣爐製造之而不需要特別的注意。

第三節 高速度工具鋼 The High speed steels.

用電氣爐造高速度鋼毫無冶金學上的困難。使用約 $\frac{1}{3}$ 的低磷軟鋼屑與新合金元素及 $\frac{1}{3}$ 的高速度鋼屑等做原料製造之。當然一些高速度工具鋼的旋屑和切斷片等都可以使用。熔解時為使鋼滓中的合金成

分再度還元故須爲還元性。

許多使用者們對高速度鋼製品的規格要求得很嚴格。時常要求着不必要的狹小分析範圍，這對製鋼業者是很大的難題。高速度鋼因爲在狹小範圍內同時含有着C, Cr, W, V或Mo等故以還元性的炭化鈣實行精鍊較好。因而從鋼滓內的吸炭就難以防止了。譬如炭含量相差 $\pm 0.02\%$ 也很成問題，但如果沒有絲毫的付餘範圍一方面又想滿足這份要求，那麼在熔解之末期鋼滓中就會形成沒有炭的危險。然若以炭化鈣鋼滓實行精鍊時又應該牢記熔鋼中會增加炭量的。並且這時爲製造高速度鋼而添加進去的合金元素之計算也難以期待完全。

今將如下成份之5噸高速度鋼的熔解實例(%)記錄於下：

| C | Si | Mn | W | Cr | V |
|-----------|------|-----|-------|---------|---------|
| 0.65/0.75 | 0.20 | 0.2 | 18/19 | 4.0/4.5 | 1.5/1.8 |

使用材料如下：

| | | |
|-------|--------|--------|
| Fe-W | 0.6% C | 84% W |
| Fe-Cr | 4.0% C | 65% Cr |
| Fe-V | 0.1% C | 82% V |
| Fe-Mn | 8.0% C | 80% Mn |

5000kg 的裝入材料內需要

$$W = \frac{18.5 \times 5000}{100} = 925 \text{ kg}$$

的金屬鎢，即相當於84% FeW之 $\frac{925}{84} \approx 1.100 \text{ kg}$ 以下類同

$$\text{FeCr} \dots\dots\dots \frac{1.425 \times 5000}{100 \times 65} \approx 33 \text{ kg} \quad \text{FeCr}$$

$$\text{FeV} \dots\dots\dots \frac{1.65 \times 5000}{100 \times 82} \approx 95 \text{ kg} \quad \text{FeV}$$

$$\text{FeMn} \dots\dots\dots \frac{0.10 \times 5000}{100 \times 80} \approx 6 \text{ kg} \quad \text{FeMn}$$

$$\text{FeSi} \dots\dots\dots 70\% \text{ Si 約加 } 7 \text{ kg 的 FeSi}$$

以上添加合金總數

$$1.10 + 33 + 95 + 6 + 7 = 1.538 \text{ kg}$$

$$\text{如是屑鐵量需要 } 5.000 - 1.538 = 3.462 \text{ kg}$$

當然了，這個數目字是指磷分少純粹屑鐵而言的。倘若用的是一般屑鐵的話，在加合金元素之先必須要造成氧化鋼滓實行氧化，所以猶應該過分的裝入氧化損失重量 4—8% (要看屑鐵品種而不同的)。

再看看從上面裝入材料中所來的炭量，

| | |
|--------|---------------------------------------|
| 來自非合金屑 | $34.59 \times 0.1 = 3.5 \text{ kg C}$ |
| 錳-鐵 | $11.00 \times 0.6 = 6.6 \text{ kg C}$ |
| 鉻-鐵 | $3.3 \times 4.0 = 13.2 \text{ kg C}$ |
| 錒-鐵 | $0.95 \times 0.1 = 0.1 \text{ kg C}$ |
| 鐵-鐵 | $0.06 \times 8.0 = 0.5 \text{ kg C}$ |

這些炭量總計起來為 23.9 kg, 對 5000 kg 的裝入重量為 0.48% C。從炭化鈣鋼滓內也會進來炭，故須給留出 0.2% 的餘付。

第四節 不銹鋼 The stainless steels

1.3—1.4% C 的不銹鋼製造成各種各樣的硬度等級。0.15% C 以下軟質者的製造極須注意。製造此低炭鋼須用 0.15% C 以下的鎂。但是炭量低的鉻鐵價錢高，炭量高者價錢便宜，亦可用鉻鑽石代替高貴的鉻鐵減低其製造成本。用鉻鑽石的時候，盡可能把純粹的鉻鐵和還元劑共同加入之。還元劑量按規則應該使用是能把鐵石中的氧化物完全還元以上稍過剩的量為佳。然而向電氣爐內加氧化物是不科學的，故盡可能要用純粹的鉻鐵。

第五節 鎳，鉻鋼 The Nickel-Chromium steels

普通以構造鋼所用的 Ni 鋼與 Ni-Cr 鋼可能分成二種。即 4.5% 鎳與 1.0% 鉻二者併用的東西，第一種為 0.1—0.16% C 的參炭鋼，第二種為 0.25—0.40% C 的調質鋼。對這二種材料的製造一般多量使用鋼屑及綜合金屑。以電氣爐製造高級鋼材的場合應該採用氧化熔鍊法。因電解鎳中含有多量的氫瓦斯，此瓦斯若不靠氧化熔鍊法是絕對不可能分離的。製造普通調質鋼的場合可採用完全氧化熔鍊或

部份氧化熔煉法。製造滲炭鋼時材料內若含有鉻的話，採用部份氧化熔解法可將一部份回收之。精鍊中造成炭化鈣鋼滓，能完全的把鉻收回來，然而對於滲炭鋼的製造，其大多是將炭量完全氧化到極低程度所以裝入材料中的合金元素唯有錳不丟，而鉻差不多都跑到渣裡去了。

由中途加入之錳鐵，鉻鐵或鋼滓等內能增炭，故此氧化期應該估計到可能的增炭量而把炭量過分的降低到 $0.06-0.1\%$ 為妙。這樣鋼至於被過氧化，同時又因為難以造成極軟鋼，所以有的以鐵礦石來代替鐵礦石的，這樣氧化熔鋼中含有多錳是很安全的。而最後加進去的一部份錳能增長還元作用又達到脫氧的目的。因熔鋼中氧化鐵很少故以錳代替用炭量少的硅錳或低炭鉻鐵等其結果更好。最後以還元劑而造精鍊鋼滓的時候，不只用焦炭，而用焦炭與粉末硅素鐵的混合物為妙。

製造鍊，鉻構造用鋼時，使熔解師最沒辦法的問題有二點。即對於鋼材缺陷的雀斑狀組織與白點問題等的防止法。而這二個問題在熔解其它鋼材的時候是可以完全防止住的。

第六節 纖維狀組織鋼 Fibrous steels,

鍛鍊鋼或壓延鋼材等斷面上的纖維狀組織，從來使用着各種的名稱甚見紊亂，故現在對這些術語意簡單的說明於下：

1. 纖維狀 (Fiber)
2. 筋狀 (Riber)
3. 纖維形筋狀 (Fiber)
4. 木目狀 (Woody)
5. 層狀
6. 列(縞)狀 (Banded)

所說的纖維狀是鐵本來的纖維流 (Flow of fiber)，起因於結晶凝離。也叫着顯微鏡凝離。鋼當結晶時各各結晶粒的中心部為 pearlite 而外部却為 ferrite。結晶成這樣的東西後給與鍛鍊時則生成 ferrite 與 pearlite 層，形成纖維狀。高溫鑄造的時候結晶

凝離大，低溫鑄造則小。工具鋼，鎳鉻鋼等最易生成之，Ni 的影響大而鉻是沒有影響的。製造 Ni-Cr 鋼時只加 Ni 的，和 Ni-Cr 皆有的二種鋼互相比較一下看時只用 Ni 時大，加 Cr 後則小。

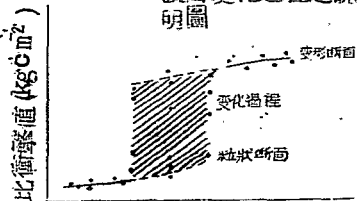
鋼材中不能說是絕對純粹，連一點鋼滓之類非金屬質的介在物也沒有的。根據此介在物的量與其存在狀態等表現着種種不同的結果，隨之又加上了許多不同的名稱。在這許多種之中鋼滓若沿着鐵本來的纖維流很規則巧妙平行的介在着的時候不但對於鋼質無何惡影響，有時反而很好，這就是後出之鍊鐵，以衝擊值高的鋼材是很優秀的。這叫着筋狀組織 (Fibrous structure)，為古來所賞用的。若鋼滓的存在多而不均一，並且破壞了鐵的纖維流時，對鋼質是有壞影響的。對於這些場合各使用着木目狀層狀等名稱。筋狀組織在材質方面來講是良好的，而木目狀及其它組織却不然。由於這些木目狀組織等因而破壞了的面，名之為層狀破面。

1. 筋狀鋼 (Fibrous steel) (參照第 219 圖)

筋狀鋼是像前面所講的那樣鋼滓和鐵纖維成平行而介在着，在材質上說並不是不好的東西。這個名字在德國叫「Faser」同其它的名稱很清楚的區分着，但在英國仍然是叫着「Fiber」單單的把它認為是一個纖維狀的組織。在日本國內也有同樣的想法。但實際上正像前面所說的那樣鋼滓很規則的順着纖維流介在着，折斷後好像 219 圖 (上) 那樣有很多的筋。對於此種斷面雖有許多不同的議論，但只要材質本身好就毫無關係，何況有時

反而很好呢。前圖中的斷面表現有關於材質和折斷方法。先就折斷方法來講。即使同材質，同樣熱處理同尺寸的材料若以不同的刻印 (notch) 角度給與折斷時，以銳角刻印角度折斷者成為第 219 圖 (上) 的筋狀，以圓形刻印折斷者形成同圖 (下) 的粒狀。又急且強折時成粒狀，緩斷之則成筋狀。這即說雖為同樣的鍛鍊鋼材，由於其折斷方法如何，有的很不容易斷。前者有很多容易斷試驗片的變形亦少，其斷面為第 219

第 220 圖 自粒狀破面向筋狀破面變化過程之說明圖



組織的細細度增加，溫度上昇，鍛鍊度增加，試驗片直徑之減少，刻印角度之減少，衝擊速度之減少。

圖(下)般呈平齊粒狀。但後者却要費很大的力量，變形程度亦甚，形成第219圖(上)般很多筋。這如第220圖般是有其一定的動搖偏差範圍的。在這上下範圍內若有某一種條件極微且不注意的變化了的時候，便會呈粒狀斷面，或呈滿處筋條變形很甚的斷面。促使生成筋條變形斷面的原因，——即衝擊值增大的原因，計有溫度的上昇，細粒的組織體，鍛鍊度大等。反之若想減少衝擊值，生成粒狀斷面，可將硬度增大些，徑大些，及刻印的角度放大些的。

再從材質方面談說一下，由化學成份相同的二個熔鋼中採取的試驗片，雖然都是經過了同一的試驗條件與處理方法，但有表現着高衝擊值筋條的斷面和表現着低衝擊值的粒狀斷面的。這基因於熔解過程之不同的關係，熔解師應該負責的。當然也由於脫氧程度如何與鋼滓含量多少的問題。第221圖中一個是因為鋼滓含量多形成了筋狀，另一個是因為鋼滓少而形成了粒狀。

這個問題從鍊鐵的構造及其性質上就會看到的。鍊鐵如第222圖般是以含有鋼滓的團塊而造成，以後經過汽鎚，水壓機或壓延機等給與延長了的。被含在內之鋼滓的一部份被壓了出來，殘餘部份如圖所見般形成了縱的行列留於原鐵纖維中。故此形成了鐵絲繩般的構造。由於外部原因之裂口不是直線的延長着，而是順着最附近處鋼滓的行列而裂的，此物屈曲時便形成筋條橫張的東西。類似這種的筋狀鋼由於鋼化學成份及鍛鍊或熱處理等的適當是可以造成的。熱鋼塊加以處理，把鋼伸長了即可。於壓延溫度下不可能熔合(混合)的石灰，硅酸，粘土等類在鋼塊中若成爲小的塊狀是不起作用的。惟有鐵的硅酸鹽及錳硅酸鹽可以熔合在一起。含有這種混合物的鋼電氣爐可以造之。製造方法：將熔鋼強行氧化，氧化後很快加硅素而不給與既生之大量硅酸鹽分離的時間即可。另外臨出鋼時把一些耐火粘土加到熔鋼中或是加進去鋼滓就能造成筋狀組織的鋼。然而這樣的操作方法是根本不同於造純粹鋼的普通方法，並且違反製造鋼業者之冶金學之良心。煉鋼業者在不得已而採用此法時也應該知道其內裡究竟的。

(參照第221, 222圖)

含有鋼滓的鋼塊在凝固冷卻的時候比純粹鋼塊容易裂。原因是在鑄造狀態下的混合物向成巢狀位於比較粗大鐵粒之間而使鐵粒與鐵粒的結合惡化的關係。處理熱塊時含滓的鋼比純鋼，角部易生龜裂，表面易生痘痕。鋼滓列形成的纖維狀鋼與鍊鐵向在和纖維方向成直角方向

的力量是不大的，它的衝擊值低至最低限度。

不妨再稍把它的特徵述說一下。纖維狀鋼當行淬火或滲炭硬化時容易發生所謂弱點。淬火後在鋼的邊緣部疎散着弱點。這種現象若更給與急冷時大致是可以除掉的，但對此弱點發生的原因，很必然的應該說明是因有纖維的關係所致。混在於鐵粒間的鋼滓當滲炭硬化之際把侵入進來之炭量的一部份用於還元。有鋼滓附近的炭量少於無滓處的炭量，這根據硬化程度而不同的。更行淬火的時候，所餘的鋼滓在粒的境界上在某一種程度下有如絕緣層般的作用，隨之熱便移向急冷劑溫度之降下很緩慢，於是硬化便一部或全部的停止。

故此鋼滓很適當的混存着的筋狀組織鋼在一定的範圍內是好的。即在不受纖維方向以外的拉力時，例如只要不是鎖環，發條板等物的話筋狀鋼亦素稱良好的。

十數年前都認為纖維很發達的組織好，也正因為多方受到了定貨者們的要求，結果在製造者方面時常加入耐火粘土增大了纖維而販賣着。因為過去多數人都想到纖維正好像是鐵絲繩一樣，即使斷了一條絲，猶有許多與大局無關，那末鋼中的纖維亦是越多越好，越多越結實了。可是在今日以鋼破面的判定方法恰恰相反，以前是筋狀多者好而今日却是少者為妙。這當然是在說非金屬質介在物要少的。最後一點須要說明的即向曲軸內流入纖維是指着鐵本來的纖維決非指非金屬質介在物而言的。因為將此兩者混同了的結果以前致有故意混入耐火粘土進去的。第 2 2 3 圖即為纖維流散得良好之曲軸的切斷面。

(參照 2 2 3 圖)

2. 木目狀鋼 (Woody steel)

木目狀鋼不同於前面的筋狀鋼，非金屬質的不純物毫無規律的，多量混在着致使纖維流破壞了故此以材質來講是極不好的。關於這種組織名之為層狀(縞狀)等等之。而由於這種原因破裂的斷面名之為層狀破面 (Schichtbruch) 或木目狀破面 (Holzfaserbruch)。據 E. Rapatz 氏在 1921 年所發表的總括之報告的文獻上說，層狀破面的原因是集於收縮孔或該孔附近的不純物併攏的凝離及瓦斯氣泡等的關係，而 P. Oberhoffer, H. Schiffler 及 W. Liesenbuch 諸氏們致力則是由於含氧量的增加上的氧氣結晶凝離的影響。從這各種不同的見解上雖難能把層狀破面的生成原因歸納成爲一種正確的說法，但大體上可以知道它不外乎是非金屬質的介在物與氣泡等的關

鋼中存在着介在物的時候，由於鍛鍊會被延長向金屬流的方向。這種鋼在和金屬流成直角的方向上若受到引張力時，有介在物的部份已經等於破斷了，所以這一部份是不會伸長的。這種鋼裡面恰像是平行的被刻着一條刻印，形成了和鄰接金屬不相連結，防礙金屬伸延的作用，終至於切斷，總之會併成「一連串的刻印」互相連結成有所謂列狀特徵的組織。鋼中若存有少量微小氣泡時亦有和介在物同一的影響。特別是經過壓延後的試驗片上非常容易發生層狀組織，即使由同一鋼塊上採取下來的試驗片若經過鍛造的東西差不多看不到有層狀組織。一般又都在和壓延方向同一方向的破面上呈現層狀組織，含炭量在1%以上的非金鋼發生層狀組織的傾向比較少些這是事實。層狀組織的發生程度更隨着鋼塊的大小而增加。

反之使熔鋼非常緩慢冷卻時大可防止層狀組織的發生。熔融溫度越高層狀破面的生成若少。再是實行熱處理把結晶微細化了的時候亦可以減少的。由800度放到油中急冷再於450度退火者層狀破面雖大但急冷後更經過標準化之鋼板層狀組織却非常小。

故此想要防止層狀組織的話，第一是在高溫加以精鍊，使鋼滓上昇會造成純質的鋼。低溫時鋼滓等會存於鋼滓中成為層狀而表現出來的。即鋼滓多者會形成很大的所謂木目，成為龜裂的原因，所以出鋼時必須要除得乾淨。再就是盡可能要低溫鑄造，並且鑄入之鐵液要急激的給與冷卻。這樣，結晶凝滯與不純物就會少，隨之成為層狀面等事亦少。再一個是當加工時屢次變換其方向使周圍全體普遍的受力，將層狀組織大加微細化後始能獲得良好的結果。然而想用熱處理法來減少層狀組織，在工場內的實際上是困難的。特別是因為大一點的鋼材必須要相當的高溫和很長的時間。

(參照第224, 225, 226, 227, 228, 229圖)

最後關於層狀破面的組織圖指示數種於下。第224圖是數種呈現着層狀組織的鋼材斷面，第225圖與226圖是將a成份的鋼材經過Oberhoffer氏試藥與匹苦林酸鈉等腐蝕了的東西。第227圖是將b成份的鋼材以Oberhoffer氏試藥腐蝕過了的，而第228圖是指示着a成份的鋼材，其中炭與磷形成了列狀呈現出來濃淡不同的排列。第229圖亦為a成份但層狀破面很顯著。

| | C(%) | Si(%) | Mn(%) | O ₂ (%) | 熔解溫度(度) |
|---|------|-------|-------|--------------------|---------|
| a | 0.85 | 0.24 | 0.50 | 0.0029 | 1.480 |
| b | 0.97 | 0.175 | 0.56 | 0.0037 | 1.515 |

第七節 白點鋼 The flaky steels.

在低級合金鋼或中級合金鋼經過鍛鍊者，或尚未淬火與已熱淬火者之發裂中常有白點 (Flake White spot) 如第 230 圖與第 231 圖就是這些白點，和其周圍部份顯然不同的外觀。再不然就形成了扁平的裂紋，其平面常延向鍛鍊方向。柔軟合金鋼白點很小，但亦能看得到。白點普通有指用大，特大本書。合金鋼材的白點。一有鋼錢大。白點鋼材深加腐蝕之切斷面如第 232 圖般，白點不論在什麼場合都在微細的內部裂面並且有着和其它部份不同的組織而存在於縱裂中的。特別在淬火時生成的白點影響是無法矯正的。它的影響即是時而成為刻印同時又極切增加局部的淬火牽引，故淬火鋼甚易破壞。關於這個缺陷問題十數年來直至今日猶為煉鋼家與各製鍊工場所爭論的地方。世界大戰當中爭論尤甚。原因是因為每個參加戰爭的國家都在它們用路，鍊鋼材從事製造砲身時，好像流行病一樣各各砲身材料中皆發生了白點在發砲之際終至於破壞了，當時這却是個嚴重的問題。煉鋼家們說我們很熱心的基於鑄鋼塊的外觀作檢查而沒有看到任何瓦斯氣泡與裂痕，又會對能成為鑄鋼材之白點原因的鋼塊種類及大小嚴加選擇，可是仍然發生了白點，他們又由於「鍛鍊完了的鋼材加以急冷時發生了無數白點，而極其緩冷時却沒有白點的生成」這個現象強調過白點的生成應該屬於加工者的責任。但是歷任工人與鍛冶工人却極力的反駁說「同一化學成份的鋼材，在坩堝上就沒有白點，電氣爐與平爐鋼就時常見到，若為鹽基性爐時尤甚。況且當檢查（顯微鏡）白點部份時，時常看到裂紋中間夾有鋼滓所以在鋼塊本身上是有缺陷的，又說從小鋼塊上採取下來的鋼材與從大鋼塊上採下來的鋼材兩者以同一方法進行比較，結果大多是前者比後者的缺陷少，小鋼

(參照第 230, 231, 232 圖)。

塊的鋼材上即使有白點若加以鍛鍊白點就會消失，最多也不過在一種的纖維上生有小裂紋而已所以製鋼家所說的極不可靠。

關於白點問題議論紛紛，於區區的學說界尚無定論，直至今日仍為問題之中心。然而白點因是在鋼塊鍛鍊及熱處理等總操作過程中生起的，故欲研究白點問題，當從製造開始直到加工將中間的一切影響全加以研究的。以下簡單的把著者受到德國製鋼會社技師奧德庫拉博士指導而研究的關於白點成因及防止法之實驗概略記述一下。

2. 白點成因

(參照第 233, 234, 235 圖)

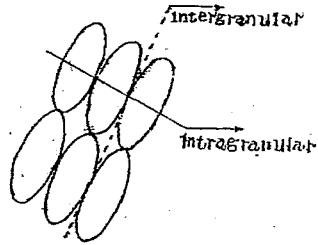
白點屬於鋼塊與鍛鍊鋼內部所發生的裂紋，如第 231 圖般永為扁平之圓形或橢圓形異於周圍之母體，白耀着，而其橫斷面如第 232 圖般以蠶狀龜裂而表現着，若發見此裂紋時其材料試驗成績極不好（見第 78 表），故此鋼材應力避使用。

第 78 表 白點鋼與無白點鋼的比較

| 1. 白點鋼 | | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | W | Mo |
|-----------|----|--------------------------|------|------|---------------------------|---------|------|------|------|------|
| (3噸鋼塊) | | 0.18 | 0.30 | 0.54 | 0.017 | 0.004 | 4.07 | 1.37 | 0.92 | 0.35 |
| 符號 | 位置 | 抗張力(kg/mm ²) | 延伸率% | 絞榨率% | 衝擊值(kgm/cm ²) | 松村式反覆試驗 | | | | |
| A.1 | 頂部 | 114.8 | 5.0 | 86.7 | 3.00 | 8.124 | | | | |
| A.2 | " | 115.9 | 3.0 | 40.8 | 2.50 | 7.301 | | | | |
| A.3 | " | 112.2 | 4.0 | 81.7 | 3.00 | 8.205 | | | | |
| B1 | 底部 | 125.0 | 10.0 | 16.8 | 5.50 | 14.538 | | | | |
| B.2 | " | 126.3 | 10.4 | 20.9 | 7.00 | 15.550 | | | | |
| B.3 | " | 125.5 | 12.4 | 23.0 | 8.00 | 16.540 | | | | |
| 2. 無白點鋼 | | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | W | Mo |
| (850kg鋼塊) | | 0.20 | 0.23 | 0.58 | 0.017 | 0.005 | 4.45 | 1.53 | 0.80 | 0.20 |
| 符號 | 位置 | 抗張力(kg/mm ²) | 延伸率% | 絞榨率% | 衝擊值(kgm/cm ²) | 松村式反覆試驗 | | | | |
| C.1 | 頂部 | 138.3 | 11.2 | 57.5 | 12.2 | 20.139 | | | | |
| C.2 | " | 138.5 | 10.9 | 54.6 | 11.0 | 21.005 | | | | |
| D.1 | 底部 | 143.7 | 12.6 | 54.4 | 12.6 | 23.627 | | | | |
| D.2 | " | 140.2 | 13.0 | 57.4 | 12.5 | 23.800 | | | | |

白點在含有與收縮裂或 hair crack (毛裂) 混同等事，但白點和普通牽引龜裂之淬火裂以及鋼塊的縱裂，橫裂或其它的熱龜裂等是完全不同的。蓋收縮裂者如 236 圖之點線及 237 圖之外部龜裂般是沿着次結晶粒界面而起的龜裂，即所謂 intergranular 為是，可是白點却如第 236 圖的實線及第 237 圖之內部龜裂或第 238 圖般為貫通着一次結晶粒界面的龜裂即所謂 intragranular 為是。

當熔鑄鑄入模子內時最外部先很急的凝固形成固體而內部尚為液體狀態，外部漸向中心部一層複一層的凝固，及至內部凝固時因外部既已冷卻凝固，故有很大的收縮，作用到內張力最弱的一次結晶粒界面上而破裂的。冷卻越急收縮裂越大。此裂紋因在結晶長大以前發生的故必然起於最弱的結晶粒界面上。即是 intergranular。

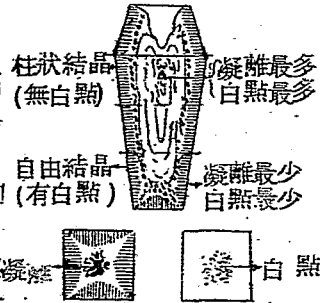


第 236 圖 白點收縮裂說明圖

(參照第 237, 238 圖)

次之凝固鑄塊的最外部，因炭或其它的不純物少故幾乎近於純鐵，但越靠鋼塊內部炭與其它不純物等量越會增加，最後凝固部份即中央部竟成不純物等聚集之所，純鐵無所謂凝固但不純物越多越甚。故此變態點是刻變化的。此成份與變態點的變化時容積亦伴隨着變化的，而容積變化時又必然伴有內張力，故鋼材若耐不得此張力便要破裂的。然而在凝固後因結晶本身比結晶粒界面尤弱，故貫通了結晶而形破裂的。即成為 intragranular。

鋼塊的最外部柱狀結晶很緻密且不含不純物，所以如第 237-242 圖般，在此一部份不會生成白點，而白點生於柱狀結晶與自由結晶以裡的地方。又從第 78 表及第 239 圖中可以看到，鋼塊下部比中部，上部的白點都少，所以結論即可說是鑄造鋼塊的不純物與凝離頗有關於白點組織。故此鋼塊越大因為凝離越大，而發生白點的機會亦隨



第 239 圖 鋼塊的凝離和白點的關係

之多。凝離者一般為 C, Si, Mn, P, S 等元素和 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe 等非金屬質不純物或瓦斯體之凝集總稱。然而元素及瓦斯體尚比較容易擴散，不容易的要算非金屬不純物，因此白點的發生以非金屬不純物為主要的影響，單體元素及瓦斯體的影響少。但元素與瓦斯體 (N, H, O 等) 分布得不均一時亦有同樣的影響。而在這裡所說的凝離或偏析 (Segregation) 全部意思着非金屬質不純物的凝集。

(參照第 241, 242, 243, 244, 245, 240 圖)

白點是在凝離回後發生的，大體自 Ar₁ (700 度附近) 開始，直至 350—200 度的範圍，初時較少，後時最多。在 100 度以下全然沒有。這是因為凝離部份較周圍的變態慢，所以冷卻方法倘不適宜。凝離部份的 Austenite 組織不能全變成 Sorbite 或 Pearlite，其中的一部份直留到 350—200 度，可是在這個溫度範圍內若給與急冷時殘留部份的 Austenite 組織將會變成 Martensite 組織，此時便壓縮已變成 Pearlite 或 Sorbite 組織的周圍部份，因而發生龜裂。然而若在這個溫度範圍給與緩冷時凝離部份的 Austenite 組織不成為 Martensite 而和不凝離部份一樣共成為 Sorbite，隨之既無體積的變化亦不會生成白點。第 245 圖是第 244 圖上的白點部份的顯微組織。此白點是將下記成份的 Ni-Cr 鋼鍛鍊成 $\frac{1}{4}$ 更實行熱處理後才表現出來的。

| C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr |
|-------|-------|-------|--------|--------|-------|------|
| 0.25% | 0.20% | 0.54% | 0.020% | 0.006% | 3.35% | 0.7% |

第 245, 6 兩圖 只經及經過了稀硝酸的腐蝕，而第 247 圖是以 50% 鹽酸侵蝕 30 分把白點很明顯表明了。

3. 容易發生白點的條件

白點是在精鍊鑄造鐵造及熱處理等各階段上發生的，但其各階段的發生容易度比率如第 79 表設。精鍊不良的話，勿論以後給與何等的作業終究會發生白點，故欲製造高純度的優秀鋼，精鍊問題是先決條件。

精鍊不充分非金屬質介在物若存在得多時，這將會成為結晶核，形成了頗大的結晶。隨之凝離度亦大。反之脫氧很好時因無結晶核，凝固時會起過冷卻，這樣急冷的結果結晶很小。故此說脫氧脫好了的話

差不多無凝離也不發生白點的。這樣看來煉鋼作業的巧拙整個是決定鋼材運命的總關鍵，對煉鋼作業的鑽研是極其重要的。製鋼良好而鑄不好時在下一次的作業上能得以防止。又單
第78表 對白點發生之確實度

| 各種場合 | 確實度 |
|--------|-----|
| 精煉不良場合 | 10 |
| 鑄造 | 6 |
| 煉鋼 | 4 |
| 鍛造 | 2 |
| 熱處理 | 1 |

(參照第246, 247圖)

再談那一種鋼最容易發生白點。酸性平爐鋼與酸性電氣爐鋼極鈍感，而鹽基性平爐鋼及鹽基性電氣爐鋼很銳敏。特別是鹽基性弧光式電氣爐極為銳敏。採用濃厚之炭化鈣鋼滓來操作時越發銳敏(參照第十四章第五節)。坩堝鋼也有，高周波電氣爐屬鹽基性者都很銳敏。

更從化學成份上說，炭素鋼極鈍，次之鉻鋼稍鈍，Ni鋼與Ni—Cr鋼銳敏。特別是含有鉛者極為銳敏。越屬於高級合金鋼的越敏感而含鉛者最甚。含有錳、鈦鋼略同於鉻鋼。鎢、釩等略同鍊鋼，加用硅與鋁者會形成 SiO_2 或 Al_2O_3 極難擴散故甚危險。白點大體起始自A₁變態點附近直到200度附近是最危險的。再是一度生成了白點的鋼材放到爐中加熱到200度以上時白點會消失的，冷卻時又會生成。這個問題從那裡可以知道呢，假如存在於鋼塊中的白點不一度消失而原樣保留的話，經過高溫壓延等加工時毫無問題會被伸長的但實際上永為圓形，故言鋼塊中的白點會一度消失，然後冷卻時又會發生的。

4. 防止白點的須要條件

正和前面所說的那樣白點既然是基固於凝離而生成的，那末要想防白點就先要防止凝離，以後再緩慢的冷卻到200度以下。故此須要注意到次記各項，

- 1, 高溫度長時間精鍊(純化)
- 2, 靜穩鑄造(防止凝離)
- 3, 鋼塊長時間加熱(擴散)
- 4, 鍛煉及熱處理後緩冷之(防止牽引)

1, 熔解作業

要想防止凝離必須實行高溫長時間的精鍊，但最要緊的還是要先有個能耐得長時間高溫度的製鋼爐。這樣要算酸性平爐最好，鹽基性電爐是最不利的。這也即是說明了為什麼酸性平爐難發生白點，而鹽基

性電氣爐則容易生成白點的道理。然而即使使用鹽基性電氣爐若能實行前記的氯化熔鍊法（參照第十五章第五節）來作的話也可能防止白點的。

(2) 鑄造作業

像純鐵或共晶成份的鋼那樣在短時間內能凝固不會發生凝離，所以須要製造純度高的鋼乃為第一要事，但僅要求這種理想鋼是很困難的。所以仍要講求一些妥善的辦法。

防止凝離第一要盡量採取允許範圍內的低鑄造溫度。因為只有這樣它的凝固時間才會短，隨之凝離亦少。又越是採取低溫，在斷面上的一次結晶越小，這對於鋼材也是很好的。然而過低時，造成鋼塊的外皮上容易生成許多綫紋同時不純物及瓦斯體立不能充分的漂浮上來這樣反而成爲白點因素。第二是鑄造速度，鑄造速度大則易於發生白點。

Houdremont 氏說像第 80 表那樣高溫緩慢鑄造比低溫鑄造鋼的白點猶少。0.25% C 4% Ni, 1% W 成份的熔鋼用最快或很慢的速度，即頂到冒口下 3 3 秒與 8 0 秒，而鑄造成的直徑 330mm 鋼塊上，前者鋼的白點既粗大且全面存在，可是後者鋼的白點却零星散在着，所以鑄造速度的減少雖不能保證說沒有白點，但意思着確能減少的。

第 80 表 鑄造條件對白點的影響

| 鋼種 | 塊類 | 塗料 | 鑄造條件 | 鍛鍊比不同之鍛鍊中鋼的白點 | |
|----|----|------------|--------|---------------|-----|
| | | | | 1:3 | 1:8 |
| 1 | a | 塗 1 號拉克油鋼模 | 低溫鑄造 | 大 | |
| | b | " " " | " " " | 大 | |
| | c | " " " | 高溫緩慢鑄造 | 中 | |
| 2 | a | 塗 2 號拉克油鋼模 | 低溫鑄造 | 大 | |
| | b | " " " | " " " | 大 | 小 |
| | c | " " " | 高溫緩慢鑄造 | 小 | |
| 3 | a | 塗 瀝青鋼模 | 低溫鑄造 | 大 | |
| | b | " " " | " " " | 大 | 小 |
| | c | " " " | 高溫緩慢鑄造 | 小 | |

| 鋼塊 種 類 | 塗 料 | 鑄造條件 | 鑄鍊比不同之鑄鍊中鍋的白點 | | |
|-----------|-----|-------|---------------|-----|--|
| | | | 1:3 | 1:8 | |
| 4 | a | 無塗料鋼膜 | 低溫鑄造 | 大 | |
| | b | “ “ “ | “ “ “ | 中 | |
| | c | “ “ “ | 高溫緩慢鑄造 | 小 | |

鑄造溫度要用最適當的溫度，即熔鋼的表面能結成一層薄膜昇上來那樣的溫度比較合適。適當的溫度緩慢的鑄造，這樣無論對於某一點都是好的。德國的 Matgiessen 一般多解釋為低溫鑄造，但依著者想是解釋鑄造的意思。頗適合現場人員所謂的「穩點鑄」的意思。

若想作得適當的鑄造，盛鋼筒或湯道等的直徑有極大的關係，大小若不合宜對注入狀態是會有很大影響的。舉一個例子講 V.C.N.35 的鋼種鑄造成 850kg 鋼塊時使用 45.35 及 25% 徑的注出孔鑄造時間越短白點越多。即高溫緩慢鑄造時雖無白點，但低溫鑄造的白點却大。

第 8) 表 鑄造狀態與白點的關係

| 鋼塊番號 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| 塞口徑 (mm) | 45 | 35 | 25 | 20 |
| 鑄造溫度 (度) | 1,528 | 1,530 | 1,538 | 1,545 |
| 鑄造時間 (秒) | 35 | 50 | 75 | 85 |
| 白 點 | 大 | 小 | 無 | 小 |

然而以過度高溫長時間的鑄造品亦會發生白點，所以溶液的溫度能够在「熔鋼表面結着極薄皮」的溫度下鑄造是為適當的。即能靜靜的鑄入溫度均一的鐵液最為理想。

其次是鋼塊的冷卻方法問題，越是緩冷越能防止住白點。Ashdown 氏也說，想要沒有白點實行緩冷則可。問題就在以不生成 Martensite 組織的程度進行緩冷。Ni-Cr 鋼，Ni-Cr-Mo 鋼等特別須要緩冷到 200 度以下。因為必須要除掉 Martensite 的組織，故應在模子內緩冷到變到暗黑色即 200 度以下。更為了慎重起見，待冷到 200 度後放到已預熱至 600 度的爐中進行緩涼更好。另一個防止鋼塊發生白點的方法是，當注入後的鋼塊尚在 800 度左右的時期連同鋼模

一起送到鍛造工場，裝到加熱爐內實行豫熱則可。

(參照 248 圖) (參照 81 表)

有人說「模子的形狀對白點的生成極有影響」但這兩者之間毫無關係的。模子大小與白點倒極有關係，鑄塊大則容生白點。再是模子的溫度過低時容易發生白點。大體 80 度左右為適當。

(3) 鋼塊的豫熱

鋼塊中的凝離既然不可能完全防止所以必須使之澆期，想澆散必須充分予熱。Obecchoffer 氏說「起了凝離的鋼在 1100—1300 度之間進行長時間加熱時即能均一化」又 Leither 氏亦說「在鍛鍊溫度下實行長時間加熱時不只能使凝離均一化並且大的裂紋也都會消失」。但是單靠加熱並不是消失而是熔着，唯有實行鍛造才會完全消失的。而鋼造方法容後詳談，在這裡只就予熱方面談論一下。

除掉此凝離所需要的溫度，即予熱溫度與時間是根據鋼的化學成份，鋼塊大小及精鍊情況等而不同的，故頗難概而言之，但炭素鋼一般比較易於擴散，很少發生白點所以並不須要長時間的加熱，但 Ni-Cr 鋼及 Cr 鋼等因難以擴散故須進行相當長時間的加熱。含 Mo (鉬) 者尤甚。又精鍊不完全或鑄造溫度高的時候需要比較長一些的時間。大鋼塊由於其大而必需要長時間加熱這固屬當然，但鋼塊的熱傳導狀態因和鋼塊直徑的平方成比例，故其加熱時間亦應隨其徑比的平方而延長的。直徑 200% 時為 4 小時的話，400% 徑時為 16 小時 600% 徑為 $4 \times (600 \div 200)^2 = 36$ 小時。

特別是特殊鋼因為熱傳導極不好，所以初時務以緩慢加熱，待赤熱後方可昇高溫度的。爐內火焰必須為氧化力弱的火焰為要。在這個時候極須注意的是，熱鋼塊時其外部的溫度雖有辦法知道，然內部溫度究竟多少？同時知道直到內部的均一溫度需要多少時間這是很重要的。豫熱時間短或是沒有昇到所定的溫度時有發生白點的危險。最近據 Bonnek 氏們的研究結果（關於鍛鍊前的灼熱溫度與白點組織的影響）上說：鋼種 V, C, N35 向各種溫度加熱 24 小時，以普通的方法鍛鍊後進行空冷（空氣中冷却）於 250 度處理之鋼塊上白點頗多，但熱至 1100 度的鋼塊上一點也沒有。

從來一般都根據第 82 表及第 83 表上所載的數值實行加熱，但在這個程度下防止白點是困難的。

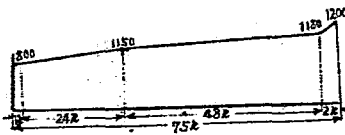
第82表 從來的加熱溫度

| | |
|-------------------|--------|
| 低炭素鋼 (0.3% C以下) | 1,800度 |
| 中炭素鋼 (0.3—0.5% C) | 1,250度 |
| 高炭素鋼 (0.5% C以上) | 1,200度 |
| Ni, Ni-Cr 鋼及其它特殊鋼 | 1,250度 |

第83表 從來加熱時間

| | | | | | | |
|-----------|-----|-------|--------|--------|--------|--------|
| 鋼塊大小 (kg) | 850 | 4,000 | 10,000 | 15,000 | 25,000 | 35,000 |
| 平均直徑 (mm) | 345 | 585 | 750 | 950 | 1,400 | 1,800 |
| 加熱時間 (時) | 8 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |

即將 V, C, N35 的 850kg 鋼塊於 1180—1200 度加熱 8, 16, 32 小時以後，各々給與鍛錄成 $\frac{1}{2}$ 這時 8 小時加熱者白點多，16 小時



第249圖 鋼塊加熱曲線 (錄, 鉻, 鎳, 鉛.)

者少，32小時者全然不見。又如 Ni, Cr, W, Mo 等極難擴散的鋼材須要充分的預熱。如第249圖般以 800 度的赤熱材料放入加熱爐內放置 1 小時，俟爐溫與鋼塊溫度一致時點火以 12 小時的時間升高到 1150—1180 度，

於此溫度保持 24 小時後更以 12

小時把溫度昇到 1200 度然後作業之。自從像以上那樣實行長時間預熱使成爲均等的性質後再行作業這樣以來大的鋼塊在某一種程度下亦得以防止其白

點的發生了。

第84表 適當之加熱溫度

| | |
|-------------------|--------|
| 極軟鋼 (0.1% C以下) | 1,300度 |
| 低炭素鋼 (0.2—0.3% C) | 1,250度 |
| 中炭素鋼 (0.3—0.5% C) | 1,200度 |
| 高炭素鋼 (0.5% C以上) | 1,800度 |
| Ni, Ni-Cr 鋼及其它特殊鋼 | 1,200度 |

成份之如何得

第 85 表 適當之加熱溫度

| | | | | | | | |
|----------|-----|-----|-------|--------|--------|--------|--------|
| 平均直徑(mm) | | 345 | 585 | 750 | 950 | 1,100 | 1,300 |
| 鋼塊重量(kg) | | 850 | 4,000 | 10,000 | 15,000 | 25,000 | 35,000 |
| 加熱時間(分) | 炭素鋼 | 8 | 12 | 16 | 20 | 25 | 30 |
| | 鉻鋼 | 16 | 25 | 32 | 42 | 50 | 55 |
| | 鎳鋼 | 32 | 55 | 66 | 90 | 105 | 115 |
| | 鉬鋼 | 48 | 85 | 105 | 135 | 160 | 175 |

到了如第 84 表及第 85 表之適當的數值。然而正像前面所講過的那樣由於精練情況及鑄造狀態多少有些差異，所以此加熱時間須於各工場在每次裝入時適當確定時間的。以上的記錄完全屬於鹽基性電氣爐鋼的場合，而對其它種類的鍊鋼法大體上須採用第 8 6 表般的數值。

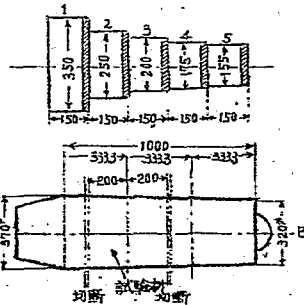
(4) 鍛鍊作業

把鋼塊充分預熱至鍛鍊溫度後仔細的實行鍛鍊白點即會消失，但倘不小心是難能達此目的，所謂小心即當鍛鍊初時應該輕且快，越高級鋼越應該一同少打一點，而低級鋼倒可以多打一些的。溫度稍微降低時就應該急速的放到爐內加熱

第 86 表 各種製鋼法對預熱時間比

| 製鋼法 | 預熱時間比 |
|---------|-------|
| 酸性平爐鋼 | 1.00 |
| 酸性電氣爐鋼 | 1.25 |
| 鹽基性平爐鋼 | 1.50 |
| 鹽基性電氣爐鋼 | 1.75 |
| 炭化鈣鋼洋製鋼 | 2.00 |

後再行鍛鍊。大體在 1100~1200 度時由爐中取出直鍛鍊到 900 度 (30 分) 然後再加熱。常見有的將鋼材熱到 1300 度以上的高溫度，強行鍛鍊到 800 度附近的低溫，類似這種無理的操作是不好的，極須注意。加熱時儘可能不要在鋼材已降至低溫後實行加熱才好，這樣再加熱的時間不須要很長即可。加熱爐溫度永



第 250 圖 鍛鍊比研究材採取方法 (850kg 鋼塊 V. ON35)

須和鋼塊溫度一致，絕對不可激急加熱爲要。

由於鍛造比大小白點能够消滅。據Houdremont氏研究稱若增加鍛造比白點可以減少。1:8鍛造比之大者較1:3鍛造比小者白點少。又於著者的研究當中亦發見了V. O. N35以2, 3, 4, 5 倍的鍛造比鍛鍊之後，鍛造比越大白點越少。

第87表 鍛造比與白點關係

| 鍛鍊比 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----|---|---|---|---|
| 白點 | 大 | 小 | 無 | 無 |

這是因爲鍛鍊比小的鋼冷涼速度很快所以才容易發生白點的。然而鍛鍊比若據Mauer-korschan氏，Mauer-Gummert氏等研究來說，Ni-Cr-Mo鋼5倍以上其它的鋼在3倍以下較好，但依我的經驗則謂3—5倍爲最佳。小於此因壓縮率亦小不好，大於此亦不好。因爲鍛鍊比若大則必須使用大的鋼塊，隨之凝縮大是不好的，故此從爲了要獲得優秀鋼質這一點上講過大的鍛鍊比是值得考慮的。又鍛鍊比過大時正像第89表上的例子般，雖合格於材料試驗但如第88表上所載的那樣鋼塊中央部的粗惡部有易於露出到外面的危險易多生缺陷。所以鋼塊不宜選用大塊的，然若鍛鍊比小的時候可將鋼塊一度擊短（由一端鍛打之），增大直徑然後形成所要形狀爲要。

（參照251圖）

Houdremont氏說，有白點的鍛鍊鋼若再鍛鍊到1, 2的鍛鍊比時白點即會消失，但這個數值並不是包括一切的。舉例講像第79表所記載精鍊鑄造豫熱等都不良的鋼無論如何鍛鍊亦難以消滅它。所以Houdremont氏所講的1, 2是指着在好條件下造的鋼材而言的。原先沒有白點的鋼材經過急冷若發生了白點的場合，實行充分豫熱之後再鍛鍊到1, 2時能够消失，這是事實。實際上鍛鍊完了的鋼以1, 2之比再行鍛鍊時，白點消失了以後即使以鹽酸強加腐蝕也看不到白點的痕跡，但將這些東西淬火，特別是實行滲炭淬火時，又會顯然的出現。所以說以1, 2的鍛造比實行鍛鍊時即使白點消失了但其材料本身是有缺陷的。於是結論是精鍊良好的場合採用此法雖可，但精鍊不良的場合還是不用此法爲佳。對鋼塊上的白點問題Mauer-korschen兩氏稱：若給與5倍鍛鍊時即能完全消滅，但據著者的經驗來說若是


第88表 關於鍛造比之研究

| 番 號 | 使用鋼塊 | | 鍛造品 | | 鍛鍊比 | 成 績 | 結果 |
|--------|-------|-----------------------------|------------|---------------------------|------|-----------|----|
| | 大小 | 平均斷面 積(mm ²) | 直徑 (mm) | 斷面積 (mm ²) | | | |
| 1 | 15噸 | 746,000 | 190 | 28,350 | 26.3 | 精工表面結晶粒粗大 | 廢却 |
| 2 | " | " | " | " | " | 精工前齒痕白點出現 | " |
| 3 | " | " | " | " | " | 同上 | " |
| 4 | " | " | " | " | " | 精工中齒痕白點出現 | " |
| 5 | 6噸 | 486,500 | 180 | 25,450 | 17.2 | 齒痕出現 | " |
| 6 | " | " | " | " | " | 白點出現 | " |
| 7 | 850kg | 93,250 | 170 | 22,700 | 4.2 | 無故障 | 良 |
| 8 | " | " | " | " | " | " | " |
| 9 | " | " | " | " | " | " | " |
| 10 | " | " | " | " | " | " | " |

第89表 同上物理性及化學性

| 番 號 | C | Si | Mn | P | S | Ni | 彈性限 (kg/mm ²) | 抗張力 (kg/mm ²) | 延伸率 (%) | 衝擊值 (CV) | 布氏 硬度數 |
|--------|------|------|------|-------|-------|------|------------------------------|------------------------------|------------|-------------|-----------|
| 1 | 0.27 | 0.22 | 0.68 | 0.025 | 0.037 | 4.45 | 641 | 748 | 165 | 352 | 228 |
| 2 | " | " | " | " | " | " | 670 | 784 | 75 | 352 | 228 |
| 3 | 0.26 | 0.31 | 0.70 | 0.025 | 0.011 | 4.23 | 547 | 764 | 240 | 500 | 212 |
| 4 | " | " | " | " | " | " | 549 | 767 | 210 | 520 | 217 |
| 5 | 0.30 | 0.26 | 0.70 | 0.022 | 0.009 | 3.94 | 619 | 766 | 190 | 600 | 223 |
| 6 | " | " | " | " | " | " | 621 | 777 | 230 | 530 | 228 |
| 7 | 0.26 | 0.18 | 0.71 | 0.013 | 0.009 | 3.98 | 594 | 742 | 200 | 540 | 212 |
| 8 | " | " | " | " | " | " | 523 | 725 | 205 | 540 | 207 |
| 9 | " | " | " | " | " | " | 571 | 713 | 220 | 570 | 212 |
| 10 | " | " | " | " | " | " | 569 | 714 | 225 | 600 | 212 |

在比較好條件之下造成了的鋼塊以4倍的鍛鍊即可消滅。

鋼塊大小與鍛鍊機力量問題很重要，以力量小的鍛鍊機來鍛造大鋼塊是不好的。被鍛鋼塊必須呈內形狀(福島博士註，力量小的鍛造機只能鍛打表皮層，內部不會被鍛鍊。鍛後的鋼塊不易形成  狀，不

成凸狀即沒有鍛造效果)。故鋼塊大小與鍛鍊機力量須有下表的關係

第90表 鋼塊大小與鍛造機的關係

| | | | | |
|-----------|---------|---------|-----------|-----------|
| 鋼塊大小 (噸) | 3—5 | 10—15 | 20—35 | 50—80 |
| 平均直徑 (mm) | 500—600 | 800—900 | 1000—1400 | 1500—2000 |
| 鍛鍊機力量 (噸) | 1,500 | 2,000 | 3,000 | 4,000 |

白點於鍛鍊完畢鋼材之冷卻時會再度發生的。它既然受冷卻速度的影響而在冷卻當中會發生白點，那麼像前面已講過一樣使200度的溫度範圍盡可能緩慢的冷卻，如進行灰中或砂中冷卻以減少其牽引是必要的。絕對須要防止接觸冷風。Houdremont氏把加熱到900度的Ni-Cr鋼自各種溫度裡取出進行了空冷，結果自300度以上放冷者都生有白點，而自200度以下放冷者沒有。該氏又稱「大體上鋼若自300度以上實行急冷時會發生白點故須緩冷到100度為要」。

(參照第252圖)

據著者的實驗結果，熱到900度的V, C, N35從600, 400, 200, 100度取出實行空冷時，200度的白點最多，400度亦不少，100度時全然不見。

(5) 熱處理

白點主要是在頂到鍛鍊作業這個階段發生的，於熱處理作業當中發生的極少。同時若不在熱處理操作以先給與防止的話，以後的防止就困難了。即白點問題和熱處理關係很少。不過冷卻時在200度附近若涼得不適當仍會發生的。第253圖是Ni-Cr鋼上的白點，淬火還火之先本來沒有而淬火還火後才發生出來的。該圖上的白點是因為在冷卻時不小心自300度附近拿到空氣中冷涼了的關係。緩冷到100度以下一個白點也沒有發生。

(參照第253, 254圖)

大體上鋼材先經過標準化處理使成均質是好的，所以在熱處理之先必須實行標準化。然不管標準化亦好，淬火還火亦好總之必須緩冷到200度以下。實行標準化的場合須在靜風中操作，淬火還火時注意不要在200度以上的溫度中自油內拿出為要。

5. 白點之檢出法

白點的檢出方法一般皆根據鋼材的破面或把鋼材置入10~20%之鹽酸，硝酸內檢查白點之有無，但這些方法都不能全，難得滿意的結果。於是著者採取了巨視 (Macroetching) 法把試料表面磨光放到50%鹽酸內30分，然後用沸騰水洗滌之，這樣倘有白點一目了然。第255圖即為其例。倘欲更完全檢查鋼塊中的白點時可將鋼塊鍛成90%方的長棒，從鋼塊之上 $\frac{1}{5}$ 部份（即凝離最甚部份）採取下來10%厚的試驗片，然後以上記方法進行檢查即可。

6. 結 論

白點的成因在於凝離。凝離即等於元素，非金屬物質不純物及瓦斯體等的凝集。元素及瓦斯體因較易於擴散，故為害尚少。難以擴散的要屬非金屬不純物，所以白點的成因最主要還是非金屬的不純物。然元素，瓦斯體倘分布得不均一時當然亦頗有害。

自 Bennek 氏們極力主張白點的氫氣說以來，對這方面的研究頗盛一時。也許它是促成凝離的一要素，不過著者認為「只氫氣一種是白點的成因」這種想法是不夠的。何況「且多者無白點，且少者反而白點多」又實際上有過這種實驗例子呢。唯其分布狀態確是個問題，故實行酸化熔鍊根除 H_2 , N_2 或以稀薄炭化鈣質鑄滓防其影響於未然這都是必要的。

白點出現在低溫即 A_1 線以下。因凝離部份的變態遲於周圍部份，故冷却方法苟不適當，凝離部份的Austenite不會完全變成Sorbite，而部份的留到300~200度附近，在此溫度範圍下遇急冷而變成Martensite，於是壓縮周圍部形成了白點。以上為白點的生成機轉。從這裡我們會知道如果能使最危險緊要的此溫度範圍極緩冷之使凝離部份的Austenite亦變成和周圍部同樣的Pearlite或Sorbite組織的話，那麼減少了體積的變化，白點亦無從生成了。

於是得到的結論是消滅白點，當防止凝離，並且要一直緩冷到200度以下。更具體些講即請對下記四項好々注意一下，白點自會消失。

1. 高溫長時間精鍊 (純化)
2. 靜穩鑄造 (凝離防止)
3. 鋼塊的長時間加熱 (擴散)
4. 鍛鍊及熱處理後緩冷 (牽引防止)

第八節 變壓器鐵板用鋼 Steel for Transformer sheets

製造下記成份的變壓器鐵板用鋼(0.08% C以下, 3.8—4.2% Si, 0.1% Mn, 0.025% P, 0.025% S)在熔鍊者說起是個特殊的問題。必須完全氧化到極低的炭量為止,但是在其它極軟鋼製造當中所容許的操作方法,此時却不容許。一般爲了防止鋼的過氧化特使鋼中含有0.15%或以上的錳。正因爲被這些條件所限,故欲作出無瓦斯且脫氧良好的鋼材,唯有特殊獨到之技術才可靠。其製造法之梗概於下。

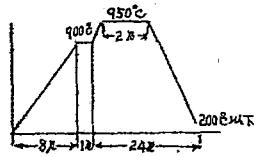
先裝入材料,材料配合成在熔解後能達到0.3—0.4% C, 0.2—0.3% Mn那樣。而後加石灰鑽石等造成氧化鋼滓進行長時間氧化達到0.04—0.05% C及0.08% Mn以下炭素即使氧化殆盡而錳量獨高時須一度掏出上記鋼滓複炭約0.2%炭素,重造新的氧化鋼滓。反之錳量已低至0.1%下而炭素很多的時候當加錳。加入標準以不使鐵液溫度吸收氧氣(O₂)爲限,加入適當量錳有保護作用。

以硅素含有量多的硅素鋼板爲裝入材料時炭的氧化很鈍,在硅素氧化成SiO₂中間炭不能完全燃燒變成CO₂。軟鋼若不沸騰,正和前面提瓦斯之說明般在氧化之際瓦斯逃不出去,以致製品上瓦斯頗多。實際上使用硅素鋼板層過多時製品中瓦斯量極多成績很不好。鋼塊內的瓦斯體大部份爲氫氣(H₂)。

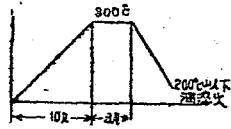
裝入材料的脫磷很容易,若爲銳敏的氧化鋼滓則能完全除掉。將加有鐵石的鋼滓完全拘除後再造成,石灰及螢石合成的還元鋼滓。使用石灰石很危險。石灰風化後亦容易帶進水分。如次式H₂O + Fe → FeO + H₂般水分分解,鋼中則含有H₂。造滓材料充分熔解完了後即時加入硅素鐵粉末作爲還元劑。此滓冷却後若呈白色即證明熔鋼已被脫氧,脫硫得很好。此時熔鋼內約含0.06% C, 0.08% Mn,而取出的試料則無赤熱脆裂可行鍛鍊。

於是添加必要的硅素。此時所用之硅素鐵若不純,對鋼會有極壞的影響。特別是不許可含有炭,錳,磷等在內。使用50%硅素鐵時更須注意到不要有瓦斯至屬重要。75%硅素鐵在裝入材料章中早已說過沒有多大危險。在硅素鐵初次添加之際往常須加鋁至約0.07%。

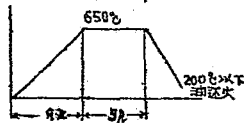
比重輕的鋁加入時可捆在鐵棒上押到熔鋼中。須加之硅素鐵全部加入完畢後強行攪拌而後出鋼。爲了使硅素分布均一化此攪拌作用是不可少的操作。高硅的硅素鐵比重較輕致漂浮於鋼面上部，很少進入熔鋼中。這樣注入盛鋼筒內時溫度不同不很平均等是常有的事。連同最後加入的鋁一共能成爲0.16%那樣加入之爲要。



(1) 標準化



(2) 淬火



(3) 還火

第254圖 熱處理法

(續前圖)

「第213頁」

第十九章 酸性電氣鍊鋼法

The acid electric steel manuf- cture

第一節 概 說

酸性電爐鍊鋼法的應用範圍比較鹽基性（鹼性）電爐鍊鋼法小，但最近美國却逐漸在發達着。併約佔鋼鑄物全生產額之半。但究竟猶屬小鑄物場合用之，於鋼塊的製造上用者甚少。本爐的修理費與造洋材料費具低於鹽基性爐，操作時間又短使用電力費亦比鹽基性爐在製造向質鋼的場合為低，然而和上各項利益恰好相反的一點即酸性爐在材料上需要極好的原料，結局成本頗高。

在德國直到現在電氣鑄鋼方面極少使用本爐。其酸性電爐法進步得所以慢的部份原因，是難以獲得適宜鐵屑的關係。關於這點容後重述。最主要的還是因為德國各製鋼工廠缺乏酸性電爐在操作上的經驗。而美國因為受到了世界大戰中苦土和得勒密特昂貴的影響，所以大部份才改換了酸性爐的。

上面說過了酸性電氣爐主要用於小鑄物上。隨之爐體容積多為3噸左右。相反的在製造鋼塊的場合多和鹽基性爐相同以6噸爐為唯一的形狀。酸性爐在5噸以上的時候爐裡只能應用在無爐床加熱式的電氣爐上。爐床加熱式的電爐頂到現在並沒用於鋼的熔解上——因為在高溫下硅酸的傳導率很不好的關係。

第二節 爐體構造

The Construction of Furnace

酸性爐的爐蓋同於鹽基性爐，以硅磚築造之。酸性法操作因不受石灰的侵蝕作用，故其壽命增高數倍以上。按鹽基性爐為30—80回而酸性爐則為200—300回。這一點在連續作業的場合確乎是有利的，但反之間斷作業時在停工期間內爐體涼了又需再行加熱，這樣爐蓋壽命自然會短。

大型鹽基性爐的爐床形狀大多為盤子狀，而小型酸性爐多為深杯狀。隨之鐵屑於直接電弧之下熔解極快。鹽基性爐由於冶金關係上

鋼滓的表面極大反應才會進行得迅速，但本爐床的形狀因反應面小故稱不利。然酸性爐的場合除鋼滓之外全體爐床面因皆有冶金作用所以尚無鋼滓面必須大的必要。第256圖是和255kg坩堝的比較，其反應面對重量比鹽基性爐為酸性爐的 $\frac{1}{2}$ 。

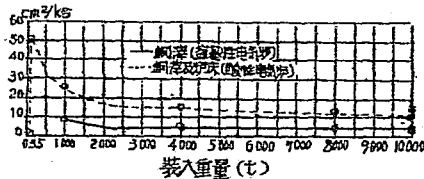
爐床構造是將鐵板內面砌成2層耐火磚。此層因不接觸高溫故不須留給餘地磚縫。於此層之上砌造300—400%的硅磚爐裡。鐵板和側壁之間留上10—20%的自由空間。或者將鐵板與磚層中間填上銀砂或石棉等以便磚層的自由膨脹。

本來爐床要在磚層之上燒結上300—400%厚的硅砂。爐床砂層角形者為佳，擊成豌豆大的硅砂混粘土質粘着劑(Ganister)鋪墊之。爐床的築造法和酸性平爐床相同。

爐床燒結法如下：將一指厚的硅砂層鋪墊到極乾的爐床磚上用柴火或燻子給與烘蒸發結，次之用大塊焦炭通電加熱使溫度昇至白熱程度。初層燒結既畢，更以同樣方法反覆操作。直到鋪成400%最少需要24小時的時間和5000—10000 kWh的電力。

爐床搗固法很簡單且省時間和向新築磚層上面鋪砂與粘土混合物的場合，鹽基性爐之鋪mgO與瀝青混合物場合為樣，這個時候鋪墊硅砂與瀝青之混合物即可。此砂層以壓縮空氣鎚充分進行搗固。爐裡鋪墊完畢後將上面塗末水玻璃，這樣可防予燒時的龜裂發生。然後用柴火乾燥6小時。除掉餘灰另以焦炭或電極片加入之。經過這樣以後待爐床燒結得充分堅固始告結束。若以同樣的注意和同樣的經驗實行鋪墊爐裡則上記之二法皆有同樣的效果。

熔解後的爐床爐壁修理可用濕砂。爐床上倘殘有凝鋼時，和鹽基性爐場合同，在修理之前加硅砂給與除掉為要。為了要利用出鋼後之餘熱故修理作業應求得盡量迅速。築造良好使用仔



第256圖 坩堝及電氣爐熔解之有效反應面

(Bouquet)

細的酸性爐末頗耐長期使用。熔解原料上鐵銹少時爐床能使用 1000 回，銹多的鐵在熔解當中和爐床反應，裡材表面上 FeO 增多 SiO_2 會減少。因為這種關係酸性爐裏在熔解作業中低減了必要之化學反應機能，勢必更換。

磚砌之側壁和爐蓋有同樣的壽命，故在側壁修理同時爐蓋亦要更換。

第三節 裝入材料

The Charging Materials.

裝入材料方面在酸性電氣鍊鋼法上是極須要注意的問題。本業鋼法當中因難以提硫提磷故兩元素於鐵層內的含量必須在成品之最高限度以下為要。一般製造鑄鋼品時材料內最高不得含有 0.04% P 及 0.04% S，或二者之和不得超過 0.07%，為滿足此要求先用鹽基性平爐或鹽基性電爐實行前熔解，已被氧化了的熔材再用酸性電爐精鍊。這樣既容易且適宜。前熔解法在一般使用冷材作業的鑄鋼界上面已被採用着。

酸性電氣爐上祇有次記層鐵可用。鑄物之本口製罐層，發條層，軌道層，鋼塊層，大銀鍊層，壓延層及其它同等之純淨高級層鐵等。市場買到的層鐵成份合乎規格是不可能的。因為層鐵商人不肯費却很大的工夫只為了略高的賣價而加意挑選對酸性電爐的原料。第二個要求是不要有銹的鐵。鐵銹會侵酸性材料形成了硅酸鐵，又會大量消耗爐的裏材。

英國的鑄鋼工場對這類層鐵多特設層鐵倉庫力避風雨加意保存着，此層鐵倉庫不僅能使積載作業容易化，對爐操作上亦有莫大的利益。

第四節 熔解、氧化時的變化情況

The Operation during Melting and Oxidation.

熔解當中和鹽基性爐的場合一樣， Si ， C ， Mn ，會燃燒。鐵銹會使炭， Si ， Mn 等變化成爲 CO ， SiO_2 ， MnO ， CO 成氣體而逃散， MnO

220

和 SiO_2 與殘存 FeO 等共造成氧化金屬頗多的稀薄鋼滓。此鋼滓將熔化了爐裏增添硅酸分。鋼滓中 SiO_2 含量達到 56—60% 時鋼滓對使爐裏滓化的作用則告停止。

熔解完畢後的鋼滓主要為硅酸鐵和硅酸鈣之混合物。可以次記之平均成份表示之。

50—60% SiO_2 , 15—20% FeO , 15—20% MnO ,

當然若加用鉻，鎢含有物時鋼滓中亦會含有鉻，鎢的氧化物。此外 Al_2O_3 亦含少許。鋼滓性質於冷卻狀態下為玻璃狀很脆，為不透明的黑色。鋼滓生成量和裝入材料的氧化程度有關，但大體上為裝入重量的 2—6%。酸性爐在熔解期不加添滓材。若因鋼滓成份不良致使熔解不順調時可加熔劑進行調和之。此有害的原因以及調整都必須對使用材料方面充分加以考慮。上示成份之酸性鋼滓的氧化作用極弱，和 60% CaO , 40% FeO , MnO 而成的鹽基性鋼滓相比是不成問題的。鹽基性鋼滓中的金屬氧化物最後成為遊離狀態，但是在酸性爐中却和 SiO_2 結合只有極少量和熔鋼中的炭素起作用而已。所以酸性煉鋼法中炭素的消耗量極少，因此於熔解中的脫炭很困難需要甚長的時間（不像鹽基性法那麼容易）。因為這個道理裝入材料務要挑選軟質者為要。

即使希望氧化的場合亦應使用少量的鎂石（50—100kg/ton）。並且在每添加後要稍待一個時間以便前者反應。若大量的使用鎂石時鋼滓中徒增了許多 FeO 會侵蝕爐裏。酸性爐的作業上也須要實行氧化熔鍊的所以也和鹽基性法一樣要加用鎂石和錳使熔鋼氧化沸騰以便造成優秀之鋼材。

和炭的氧化相反，錳於熔解中和硅一樣大部份要氧化的。錳的減耗量在熔解中竟達裝入全錳量之年數以上甚之為 $\frac{3}{4}$ 。鉻，鎢和 FeO 起作用有 10—20% 進入到滓中。這個減耗比例當然是指操作順利場合即中性場合而言，若為強氧化性或強還元性的話又自有莫大的出入。

第三章 熔解作業標準

The normalising of the melting process

熔解作業作得均勻在酸性法上具有着特別的意義。即由於爐體情況如何而完成鋼之硅含量會頗高的爲行一樣的熔解作業第一個條件要使用同性質和向大小的裝入材料，第二要保持着同樣的熔解條件。這兩點要求在熔解師方面是極困難的，然若能防止由於內部和外部之連絡，空氣之侵入則可。調整均勻作業之主要問題是在於觀察由爐門間隙及由電極穴逃出之火焰。赤褐色，煤煙少的火焰爲過氧化之證，淡黃色焰爲中性氣體，強還元性爲濃黃火焰其勢兇猛。此時爐外部生出很厚的灰白如雪之薄片。這是由 SiO_2 和 SiC 之混合物而成的微細 Si 與 SiC 的燃燒物。這些都是在電弧爐上於強還元作用的場合下造成，然後通過爐體間隙跑到外面去的。極端氧化和過度還元對熔解後的精鍊作業都是不好的。故須注意使其變化成標準狀態爲要。過度氧化大多是裝入物氧化很甚或從爐門不斷侵入空氣等所致形成了過氧化現象以後熔鋼中 FeO 很多益常侵犯爐裏。遇到這種情況時須馬上加砂或砂與焦炭之混合物減輕此害。另外向熔鋼內投入生鐵亦可減少鋼滓中的 FeO 。

熔解時的過度還元大多是由於裝入材料凝固的結果。電極全體因層鐵之凝固而迅速下降，直到已熔部份，終至很少熔鋼或全無熔鋼之爐底鐵。結果局部被過熱此部份的爐裏熔化成塊。如是受到直接弧光的作用而生成 SiO_2 分很多的鋼滓。由此內將有多量硅素被還元而進入熔鋼內在這個時候可把該塊撞落到熔解穴裏去或是加入新的鐵屑來矯正此不良狀態。使用砂土多的鐵屑或使用修爐材料過多時在熔解中 SiO_2 會進到鋼滓裏去形成了結塊的因素。

第六節 還元作用原理

The Principle of Deoxidation

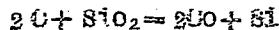
酸性法中的精鍊操作很簡單，只要熔鋼與鋼滓的熱度昇的高，即使不施以其它的作用，自然會進行還元的。提硫作用沒有鹽基性石灰鋼滓那樣大。於以酸性鋼滓來還元的適當經過中有二個事實。第一個是酸性鋼滓對 FeO 的強熔解能力。第二個是由鋼滓內和爐裏上被還元的硅素同熔鋼中的 FeO 起作用而使之還元。氧化鋼滓對 FeO 的吸收力

確乎很大。但却難以具體的數目字來表示它。極軟鋼在流動狀態下能够溶解1.5%的FeO。向這種已飽和之熔鋼內先加入多SiO₂質的東西，而後，再加入石灰多的東西進去時，熔於熔鋼中的FeO在這兩種場合會以一定的比率分布到金屬和鋼滓中去，熔鋼中的FeO和鋼滓中的FeO擴散變化值達到平均濃度而止，分布比數和溫度有關，故難指出一定的數目字，但總的酸性鋼滓之從熔鋼內奪取FeO的能力確乎比鹽基性鋼滓大。

鹽基性煉鋼法場合熔鋼的還元是由於擴散作用已進入到鋼滓內之FeO被還元劑(C或Si)而還元。同時恢復了由於FeO進入到鋼滓中而被毀了的平衡，繼續進行還元作業。鋼滓內之炭化鈣量只不過是還元劑尚有餘剩的一個表示而已。由75%CaO及25%SiO₂及1.5%CaC而成的鋼滓在經驗上能使FeO的含有量減到0.10%。和此鋼滓濃度相平衡的熔鋼中之FeO量為由於擴散作用而脫除可能之限界。這以上若不用硅素或鋅便不能脫除FeO之氧氣。

酸性熔解場合的這些關係很不一致。即便是酸性鋼滓由於擴散作用FeO亦會進入鋼滓中去，但留存在熔鋼中之FeO濃度比無還元劑場合之鹽基性鋼滓頗減少。依靠鋼滓中FeO之直接分解還元作用的進行程度在酸性法的場合甚弱。這主要有以下幾點原因。第一由於向鋼滓內添加還元劑多量的SiO₂與FeO一起被還元。結果鋼內的硅素含量超過了難以容許之多量。第二在酸性鋼滓內若無制限的添加還元劑時，金屬的氧化物會完全消失形成了熔點極高之純SiO₂鋼滓，隨之電導率顯著增大，如普通100~160弗特的電壓是不會發生弧光的。這樣調整器便失掉了效用，電極之尖端通過滓層以至伸到熔鋼中。發生這種情況時應該即時停止電流，提昇電極。但同樣毛病若一而再，再而三的作下去，會招致到不可容許程度的增炭，自不須提，硅量亦由之無法掌握一定。

根據上面的原理，對酸性法SiO₂鋼滓的處理上，不應單靠SiO而應該加到滓內另外一些強力的還元劑使滓中的重金屬氧化物盡量充分分解。此補助材料可用石灰。關於此熔劑的作用留後關於硅素還元處更加說明之。由滓內硅素能還元，乃為酸性滓之第二特性。炭素對SiO₂的作用致使金屬硅素以次式之機構遊離之。此反應可能是在直



接弧光下，電極上的粉末炭素和高熱鋼滓起反應，而遊離硅素之一部

份形成霧狀隨同爐內瓦斯之逃出通過電極穴而逃掉的。這樣既然體在中途再度形成 SiO_2 而成爲所謂綿狀的薄片。於此形成物之中除 SiO_2 之外尚會看到有比較多量的 SiC 。此 SiC 是從鋼滓內的直接還元 ($SiO_2 + 3C \rightarrow 2CO + SiC$) 或間接的硅素和炭素的結合而形成的。在弧光中生成的硅素與 SiC 之殘餘部通過薄層的滓層沈入熔鋼中而熔解。

發生機的硅素即分解生成的硅素從金屬中有一種特別強力的還元作用。含有已形成硅化鐵 ($FeSi$) 液態之硅素的鋼，在熱塊處理上或在使用上許多場合易陷於不利狀態。同時即使是一樣的鋼材 (譬如坩堝鋼)，受到發生機硅素作用的鋼其性質一般是良好的。這個想法亦是以上面的想法爲基礎的。

硅素在以原子形出現的瞬間比原子結合形成分子狀態時的反應能力大。試看氫氣：氫氣於發生機的原子狀態時極易變化，而一旦成爲分子氫氣時在反應混合物中就不起變化了，這即是一例。但正和以氫氣作例的場合——必須在反應混合物內的場合一樣，發生機硅素亦必須生成反應混合物內部 (即熔鋼內) 是爲前提條件，若被排除到滓外，情況當然不合轍了。對於發生狀態下硅素之更清確，更卓越的活動性說明於第十四章第五節處已經載述過，更補充之於下。向含有許多氧氣之熔鋼內大量加入硅素鐵合金時很快的會熔解，由於次式關係能形成 SiO_2 之粉末沈澱物。 $Si + 2FeO \rightarrow 2Fe + SiO_2$ 。此不純物爲極頑強之介在物一直浮遊至鑄造期，在凝固時便介在於結晶粒的界面危害鋼質。從酸性鋼滓或坩堝壁上硅素還元時相反的 SiO_2 沈澱物生成於熔鋼面上。此 SiO_2 慢々の分解成 Si 進入熔鋼裡去，但會被 FeO 氧化而再度形成 SiO_2 。然而所生成的 SiO_2 量很少。熔鋼中的 FeO 含量由於擴散作用由熔鋼深層向邊緣部漸成均一。又由新的硅素，熔鋼中之 FeO 被還元，達至進行到熔鋼中的 FeO 和鋼滓成平衡狀態後便告停止。熔鋼中的硅素不僅能使 FeO 分解尚能同鋼成爲合金。自滓中硅素的還元及硅素的添加，溫度越高越強同時滓中 SiO_2 量越多爐內越是還元狀態越盛。

精鍊中之溫度調整法在酸性煉鋼法的場合不同於鹽基性法。不同的地方即酸性法中爐熱若高時硅素還元量大，故爲了保持適當的硅素須要降低溫度。精鍊中不要昇熱過高，而出鋼之前數分昇熱之。溫度高，鋼滓的酸性度大硅素的還元則甚。爲調合鋼滓之酸性性質以熔劑平

均加入15%的石灰，以此能夠同時獲得以上的利益。（德國之某工廠有加入Schamott來改善酸性鋼滓之流動性的。稱之為Schamott鋼滓。但因價昂，故多用石灰和砂二者調合起來的東西）。按硅素的還元在頂到添加合金以及達到預定成份中間若拖長到一定必要時間時熔鋼中的硅素恐會增到許容量以上。加入石灰之鋼滓的電氣傳導率因比純 SiO_2 鋼滓猶小，故即使110弗特的電壓亦能發生弧光。由於鋼滓內加有石灰，殘餘鹽基性分（ FeO , MnO ）之和氧氣的親合力弱化了，故以硅素或焦炭粉很容易被還元。鋼滓上面撒上錳鐵粉末亦有和石灰相同的作用。錳與 FeO 置換形成 MnO 與 Fe 以至形成硅酸錳。鋼滓中之 FeO 量減少時從平衡上講直接的影響到熔鋼中 FeO ，結果是要減少的。

爐溫上昇，鋼滓之酸性度大時，同時爐內之還元力亦大時（如向滓內加焦炭使成還元性等場合），硅素會良好被還元的。再者，熔鋼內之炭含量大時硅素之還元進行順調，進入鋼中之硅素量亦多。所以為了使硅素的還元進行迅速化和為了使對硅的吸收安全化有特加炭素的不酸性法在對硅量為0.20%以下而炭素及合金含量等有所限制的鋼製造上是困難的，尤其是合金鋼的製造。因為在加入合金硅素方面上需要很長時間，而在這個時間內硅素致被還元而進入鋼中去的關係。

第七節 操業實例

Example for melting practice

以下將酸性法之熔解作業實例表示出來並開其詳細加以說明之。

由裝入材料之平均成份和熔解時之平均成份的相互比較，得知炭，鉻的減耗量約為15%，錳約35%，硅約75%。磷沒有減少。磷量原為0.034%者在熔解完了時更加上來自添加物中的磷，不僅沒有減少反而增加到0.037%。硫黃無顯著變化，裝入物及完成鋼滓的含有量完全相同。

熔解時試滓的試驗結果知道了後須要很快的除滓。從第92表上自會清楚此滓是以55% SiO_2 與35% $\text{FeO} + \text{MnO}$ 而成的，雖有此高氧化物含有量但已經在前面說過其對熔鋼的氧化作用却很弱。

第91表 酸性電氣爐的熔解作業實例

| 豫定成分 | C(%) | Si(%) | Mn(%) | Ni(%) | Cr(%) | | | | |
|------|---------------|-----------|--------------------|-----------|-----------|-------|-------|------|------|
| | 0.35-0.45 | 0.20-0.30 | 0.40-0.60 | 2.80-3.20 | 0.80-1.00 | | | | |
| 時分 | 摘 要 | 數量(t) | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr |
| 0:00 | 裝入始 | | | | | | | | |
| | 裝 Ni-Cr 鋼 屑 | 2000 | 0.13 | 0.25 | 0.55 | 0.013 | 0.020 | 3.58 | 0.82 |
| | 入 軟 鋼 屑 | 1800 | 0.10 | 0.00 | 0.35 | 0.039 | 0.045 | — | — |
| | 材 赤 鐵 生 鐵 | 300 | 4.00 | 2.95 | 0.65 | 0.066 | 0.040 | — | — |
| | 料 平均成分(合計數量) | 4100 | 0.40 | 0.34 | 0.47 | 0.034 | 0.024 | 1.75 | 0.40 |
| 0:20 | 送 電 | | | | | | | | |
| 4:40 | 熔 解 | | | | | | | | |
| | 試料採取 試料NO.1 | | 0.35 | 0.09 | 0.17 | 0.034 | 0.021 | 1.75 | 0.34 |
| 5:03 | 加 入 鎳 | 55 | | | | | | | |
| 5:09 | 試料採取 試料NO.2 | | 0.33 | 0.07 | 0.14 | 0.033 | 0.020 | 3.15 | 0.31 |
| 5:18 | 熔解期之鋼滓出 | | | | | | | | |
| | 砂 | 29 | | | | | | | |
| | 石 灰 | 8 | | | | | | | |
| 5:20 | 錳 生 鐵 (80%Mn) | 30 | | | | | | | |
| 5:27 | 試料採取 試料NO.3 | | 0.35 | 0.07 | 0.65 | 0.036 | 0.022 | 3.03 | 0.30 |
| 5:47 | 砂 | 10 | | | | | | | |
| 6:00 | 試料採取 試料NO.4 | | 0.35 | 0.20 | 0.43 | 0.036 | 0.023 | 3.02 | 0.31 |
| 6:08 | 赤 鐵 生 鐵 | 50 | | | | | | | |
| | 錳 生 鐵 (80%Mn) | 15 | | | | | | | |
| | 鉻 鐵 (60%Cr) | 40 | | | | | | | |
| | 砂 | 10 | | | | | | | |
| 6:16 | 最終試料取 試料NO.5 | | 0.42 | 0.25 | 0.59 | 0.037 | 0.024 | 2.96 | 0.36 |
| 6:20 | 石 灰 | 10 | | | | | | | |
| 6:25 | 出 鋼 取 鋼 試 料 | | 0.28%Si 其他試料NO.5 同 | | | | | | |

第92表 鋼滓之成分

| 時 摘 要 | SiO ₂ | FeO | MnO | Cr ₂ O ₃ | CaO | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | P ₂ O ₅ | S |
|---------------|------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|------|
| 440 熔解時試料 | 55.30 | 17.60 | 15.42 | 3.64 | 3.03 | 4.16 | 0.16 | 0.05 | 0.04 |
| 5.18 除渣鋼滓的試料 | 54.90 | 16.93 | 15.83 | 4.57 | 2.90 | 4.40 | 0.11 | 0.05 | 0.04 |
| 5.27 脫酸鋼滓試料 | 61.75 | 10.70 | 17.54 | 1.04 | 15.74 | 2.02 | 0.17 | 0.01 | 0.04 |
| 6.06 砂加入後試料 | 61.40 | 9.58 | 17.95 | 0.25 | 8.77 | 1.79 | 0.08 | 0.01 | 0.02 |
| 6.16 新加入後最終試料 | 74.53 | 5.45 | 12.75 | 1.62 | 4.20 | 1.95 | 0.03 | 0.01 | 0.01 |

以此鋼滓即使作用到30分以上熔鋼內之炭素，硅素，錳，鉻等只不過為0.02—0.08%程度的減耗。搗出之鋼滓量約有100kg左右，相當於裝入重量的2.5%。本熔解鋼滓因由金屬氧化物飽和了，故在這個狀態下熔鋼中不能含有氧氣。從這個道理上講出滓是必要的使鋼滓還元化費時間隨之亦不經濟。所以大部分砂與一部份石灰造成裝入量之1—2%的新滓（用Sehamott的場合亦有）

新滓是以60% SiO₂，15%石灰，18%氧化鐵與氧化錳而成的。此氧化物而是來自熔鋼中，此滓所呈顏色由於金屬氧化物量之多寡自濃褐綠色變向淡黃灰色。由於更加砂及由於從爐裏上奪取SiO₂和由於溫度的上昇還元能力也會上昇的。30分鐘中間熔鋼中能增加0.13%的硅素。熔鋼內的硅含量約達0.15%時採取試料傾注時不見火花，凝固時亦不發生瓦斯。滓內SiO₂含量在60—70%時，由此起始每30分間熔鋼內增加0.1%的硅素。欲使硅素的增加漸停止的話，投入石灰將滓變成鹼基性，使反應遲鈍化則可。

於此狀態下對盛鋼筒鋼不須付與多大注意。酸性電爐煉出的鋼在鑄造時可以不用具有塞柱與塞口裝置的盛鋼筒，而用傾注式者則可。鹼基性鋼必須用塞柱裝置的盛鋼筒，原因就是因為鹼基性鋼滓沒有粘性容易在傾注時隨流而出，很多鋼滓容易混入鋼中。反之酸性鋼滓因頗有粘性，鑄注前極容易全部除掉，故即用傾注式盛鋼筒鑄造之亦無混入鋼滓等事。

第八節 酸性法之應用範圍

Field of Application of Acid
Process.

酸性電氣爐法因不能提硫，磷故需要比鹽基性更純即高貴之材料。對製造鑄鋼物場合此要求不過份嚴格。酸性鑄鋼只限於精細小形的高級鋼製造用之。普通的鑄鋼品在磷，硫含量的限制上因不很嚴格故酸性熔解主要用於鋼鑄物方面。

酸性法對高級鋼的鑄塊製造上是不利的。因在高級鋼製造工場內實際上只能得到鋼塊三分之一強本場產的純粹鐵屑，而所餘約三分之二的裝入原料很難獲得適品，價格高昂乃必然之事。倘工廠內同時設有其外數基電氣爐的話，尋求上項適當材料尚較容易。但須大部份為鹽基性電爐，由其全產鋼屑來供應少數酸性爐用之則可。

由於以上的分配法或其它各點上酸性法是值得推獎的。酸性電氣爐對一切鋼種的製造上並不是一致適合的。如極軟鋼及高合金高炭素鋼的製造皆在困難甚至不可能之例。酸性爐不能進行強氧化作用。另一方面因在成份調節上以及加入合金鐵時需要長時間，隨之熔鋼內的硅含量會增到不可容許之高，結果不佳（其容許範圍大體在0.4%）。

利用平爐實行前熔解，即便是高磷高硫鐵屑亦無問題的能使之減少但只以此二種爐難稱為完全之設備。因酸性爐不盡適合各種鋼的製造故有設一鹽基性電爐之必要。

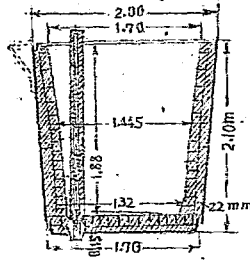
裝入材料高貴之不利，由於酸性爐之其它利點可以抵消部份。其有利的地方即是所用硅酸爐材遙比得勒密脫或氧化鎂價格便宜且爐壽命大。酸性爐裏之優秀性在價錢上等於同程度鹽基性爐裏價值之半。酸性爐之精鍊時間亦比同樣物品在鹽基性爐場合短。其時間可縮短一小時，同樣的電氣能，電極，成本，爐消費等之費用亦隨之而減。

從上面所述各點對酸性爐製品及鹽基性爐製品的經濟問題可作一比較評價。

第二章 鑄造法
The pouring

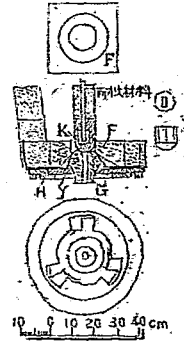
熔鋼鑄造時大多都用第 258, 259 兩圖般有塞柱 (Stopper) 的盛鋼筒。此式盛鋼筒在鑄造時混入鋼滓等事最少, 比傾動式者既簡單又便宜且動作迅速。因電氣爐一般都不很大故多用容量為 2—7 噸之起重機盛鋼筒。當然此外尚有大於此或小於此的。盛鋼筒外板, 焊接者比鉚接者在重量上能輕減 25% 左右。

在鑄造作業中盛鋼筒塞柱或塞柱及塞口有時會溶化而增加了熔鋼中



第 257 圖 貼壁之盛鋼筒

不少的不純物害及鋼質, 極須注意。在重要的場合塞柱與塞口有以 18% SiO₂, 2% Al₂O₃, 58% C, 17% 水分的黑鉛製者來代用燒成粘土製之塞柱與塞口。又鋼滓對盛鋼筒侵蝕力量大時亦可以使用 3.4% SiO₂, 3.9% Fe₂O₃, 1% Al₂O₃, 5.1% CaO, 86.5% MgO 製的塞口。



- F 耐火磚
- G 塞口
- H 承塞口用具
- K 同上
- 塞柱

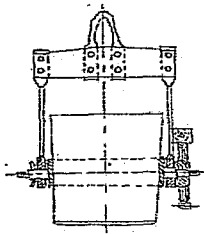
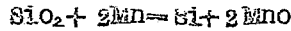
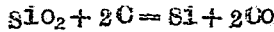
第 258 圖 盛鋼筒之塞流裝置

除起重機盛鋼筒之外尚有車上盛鋼筒可用。車上盛鋼筒行走在已排好鑄型之作業台上, 鑄入時使用漏斗或湯道。自動運轉式的車上盛鋼筒具有着塞柱湯道。向砂模中鑄入熔鋼時大多不用帶有塞柱湯道的盛鋼筒, 而採用傾動式或杓形盛鋼筒。當然所鑄者為酸性爐熔鋼。

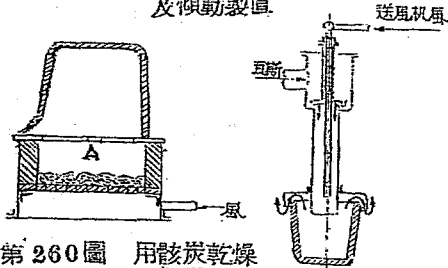
次之盛鋼筒的乾燥問題很重要, 極須注意。乾燥方法有種, 於中

最簡單的方法是將大型盛鋼筒中裝入木或炭火乾燥之。小型盛鋼筒亦採取同樣的方法，或者像第 260 圖那樣放到焦炭爐上烘乾之。欲更完全乾燥可用瓦斯（如第 261 及第 262 兩圖）。其瓦斯為發生爐瓦斯或熔鑄爐瓦斯等，亦有使用重油的。

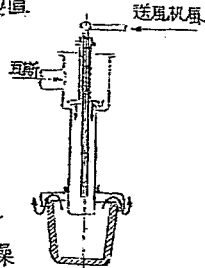
酸性爐鋼滓不同於鹽基性爐鋼滓乃無須重提。酸性爐滓對熱的傳導不良，故在熔鋼運搬當中有防止熱損失的作用。鹽基性鋼鑄入砂模中時在瓦斯沒脫出之間鋼會凝固，結果造成了砂眼頗多的鑄物。而酸性鋼滓時因不斷有硅素自酸性滓進入到熔鋼中有鎮靜作用。此種化學變化在鹽基性鋼滓上是不會有的



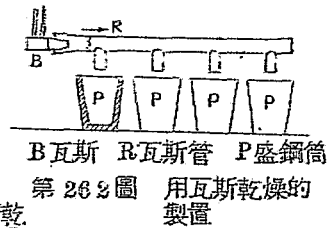
第 259 圖 盛鋼筒的吊鉤及傾動裝置



第 260 圖 用該炭乾燥的製置



第 261 圖 用瓦斯乾燥的製置



B 瓦斯 R 瓦斯管 P 盛鋼筒
第 262 圖 用瓦斯乾燥的製置

說起鑄造溫度不論在鋼塊製造上或是鑄物方面低溫鑄造的結果總是比高溫鑄造場合好些。又說是原工性也好。酸性鋼即使在稍低 20 度之低溫鑄造亦無任何缺陷。錳鋼及硅量多的鋼可用有黑銹製成柱的盛鋼筒。在德國有使用氧化鎂內管之粘土製塞口的地方。

以前曾用過只設有擋板而無塞柱的盛鋼筒，但現在已不用。車上盛鋼筒先運轉到電爐出鋼口之下然後走到已排好鑄型的作業台上鑄造之。

關於鑄造方法尚請參照敝人所著鐵及鋼鑄物之第二編第四章是荷。

第1表 電氣爐之發達

| 國名 | 電氣爐數 | | | | 電氣製鋼高 1,000噸 | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|---------|---------|---------|
| | 1910年 | 1915年 | 1919年 | 1920年 | 1919年 | 1918年 | 1924年 | 1926年 |
| 北美合衆國 | 10 | 41 | 287 | 360 | 30,200 | 511,400 | 482,500 | 662,100 |
| 意大利 | 12 | 22 | 48 | 50 | — | 52,800 | 142,000 | — |
| 德國 | 30 | 43 | 98 | 110 | 88,900 | 240,000 | 30,000 | 78,000 |
| 法國 | 23 | 17 | 52 | 69 | 21,100 | 52,200 | 65,600 | 83,500 |
| 英國 | 7 | 16 | 133 | 150 | — | 115,400 | 64,600 | 62,000 |

| 國名 | 電氣爐數 | | | | 電氣製鋼高 1,000噸 | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|--------------|-----------|---------|---------|
| | 1910年 | 1915年 | 1919年 | 1920年 | 1919年 | 1918年 | 1924年 | 1926年 |
| 瑞典 | 5 | 18 | 50 | — | 2,300 | 13,100 | 37,600 | 42,000 |
| 日本 | — | 1 | 11 | 11 | — | 4,300 | 12,000 | — |
| 加那大 | 3 | 2 | 43 | — | 500 | 119,100 | 6,200 | — |
| 比利時 | 3 | 3 | — | 5 | 26,900 | — | 7,900 | 12,000 |
| 奧地利 | 10 | 13 | 31 | — | — | 41,300 | — | — |
| 瑞士 | 2 | 2 | — | 6 | — | — | — | — |
| 蘇聯 | 2 | 9 | 21 | — | — | — | — | — |
| 挪威 | — | 2 | — | 20 | — | — | — | — |
| 西班牙 | — | 1 | — | 10 | — | — | — | — |
| 南亞弗利加 | 3 | 1 | — | 4 | — | — | — | — |
| 濠洲 | — | 1 | 2 | 2 | — | — | — | — |
| 智利 | — | — | 3 | 5 | — | — | — | — |
| 丁抹 | — | — | 3 | — | — | — | — | — |
| 其他 | — | 12 | 1 | 15 | — | — | — | — |
| 合計 | 114 | 213 | 815 | 1,025 | 169,900 | 1,439,500 | 848,900 | 939,600 |

Iron Age Jan 3 1918. St u E. 1921.

第2表 坩埚爐及電氣爐製鋼量趨勢

| 年代 | 坩埚鋼 (噸) | 電氣鋼 (噸) | 合計 (噸) | 坩埚鋼之比率 (%) | 電氣鋼之比率 (%) |
|------|------------|------------|-----------|---------------|---------------|
| 1908 | 88,183 | 19,536 | 107,619 | 81.9 | 18.1 |
| 1910 | 83,202 | 38,188 | 119,390 | 69.7 | 30.5 |
| 1912 | 76,447 | 74,177 | 150,624 | 50.7 | 49.5 |
| 1913 | 99,393 | 88,888 | 188,274 | 52.8 | 47.2 |
| 1914 | 95,096 | 89,336 | 184,432 | 51.6 | 48.4 |
| 1915 | 100,587 | 131,579 | 232,157 | 43.5 | 56.7 |
| 1916 | 108,205 | 190,036 | 298,241 | 36.3 | 63.7 |
| 1917 | 129,784 | 219,700 | 349,484 | 37.2 | 62.8 |
| 1918 | 86,555 | 243,047 | 329,592 | 26.5 | 73.5 |

第3表 北美之鑄物製造量

| 年代 | 酸性平爐 (%) | 基本性平爐 (%) | 平爐合計 (%) | 電氣爐 (%) | 轉爐 (%) | 坩埚爐 (%) |
|------|-------------|--------------|-------------|------------|-----------|------------|
| 1908 | 45.2 | 44.8 | 90.0 | 0.00 | 5.94 | 2.39 |
| 1909 | 44.9 | 46.7 | 91.6 | 0.05 | 5.16 | 2.28 |
| 1910 | 45.7 | 46.0 | 91.7 | 0.14 | 6.20 | 1.56 |
| 1911 | 47.0 | 41.2 | 88.2 | 0.29 | 8.81 | 2.17 |
| 1912 | 44.3 | 45.8 | 90.1 | 0.48 | 7.11 | 2.12 |
| 1913 | 44.2 | 45.1 | 89.3 | — | — | — |
| 1914 | 38.9 | 48.3 | 87.2 | 1.23 | 9.50 | 1.61 |
| 1915 | 46.4 | 38.4 | 84.8 | 2.66 | 10.66 | 1.71 |
| 1916 | 41.6 | 44.2 | 85.8 | 3.12 | 10.40 | 1.68 |
| 1917 | 45.5 | 38.8 | 84.3 | 4.50 | 11.00 | 0.27 |
| 1918 | 44.9 | 35.9 | 80.8 | 7.67 | 11.40 | 0.69 |
| 1919 | 46.0 | 32.2 | 78.2 | 11.45 | 10.11 | 0.10 |
| 1920 | 43.1 | 35.6 | 78.7 | 12.41 | 8.38 | 0.14 |

| | | | | | | |
|------|------|------|------|-------|------|------|
| 1921 | 38.6 | 39.0 | 77.6 | 15.22 | 6.94 | 0.18 |
| 1922 | 39.8 | 41.1 | 80.4 | 14.97 | 4.61 | 0.11 |
| 1923 | 39.9 | 39.2 | 79.1 | 16.63 | 4.63 | 0.13 |
| 1924 | 40.7 | 35.9 | 76.6 | 18.50 | 4.76 | 0.12 |
| 1925 | 35.6 | 37.7 | 73.3 | 22.29 | 4.30 | 0.15 |

| | (噸) | (噸) | (噸) | (噸) | (噸) | (噸) | 電氣爐 (%) |
|------|--------|--------|---------|--------|-------|-------|---------|
| 1925 | 462303 | 455282 | 917585 | 273534 | 53384 | 1.833 | 22.20 |
| 1926 | 505379 | 480627 | 986006 | 326445 | 43036 | 2.041 | 24.20 |
| 1927 | 430414 | 393881 | 824295 | 294809 | 33024 | 1.340 | 25.43 |
| 1928 | 458590 | 381926 | 840516 | 338568 | 23450 | 1.253 | 28.62 |
| 1929 | 544076 | 588213 | 1132289 | 419039 | 30829 | 383 | 26.42 |
| 1930 | 413675 | 369798 | 783473 | 305181 | 14371 | 690 | 27.60 |

Iron Age, May 28, 1925 及 Vol 127, 1931

第4表 德國之鑄物製造量 (%)

| 年代 | 酸性鹽基性平爐 | | | 電氣爐 | 坩堝爐 | 年代 | 酸性鹽基性平爐 | | | 電氣爐 | 坩堝爐 |
|------|---------|------|-------|-----|-----|------|---------|------|------|------|------|
| | 平爐 | 平爐 | 合計 | | | | 平爐 | 平爐 | 合計 | | |
| 1910 | 4.25 | 57.5 | 100.0 | — | — | 1923 | 26.3 | 65.7 | 92.0 | 6.7 | 1.3 |
| 1913 | 5.00 | 7.00 | 100.0 | — | — | 1924 | 35.0 | 61.1 | 96.1 | 3.27 | 0.63 |
| 1920 | 4.11 | 54.1 | 95.2 | 4.5 | 0.3 | 1925 | 35.0 | 61.2 | 96.2 | 3.19 | 0.61 |
| 1921 | 3.27 | 63.6 | 96.3 | 3.1 | 0.5 | 1926 | 32.7 | 61.8 | 94.5 | 5.50 | — |
| 1922 | 3.57 | 60.1 | 95.3 | 3.6 | 0.4 | | | | | | |

Ciesserei Zg Nr. 3, 1927.

第 5 表 北美之鋼塊及鑄鋼製造量

| 年代 | 酸性平爐 (噸) | 鹽基性平爐 (噸) | 平爐合計 (噸) | 電氣爐 (噸) | 轉 爐 (噸) | 甜坩爐 (噸) | 電氣 爐(%) |
|------|-------------|--------------|-------------|------------|------------|------------|------------|
| 1922 | 921,812 | 283,871 | 1,205,683 | 3,463,39 | 59,19,298 | 28,606 | 0.97 |
| 1923 | 1,134,686 | 346,650 | 1,481,336 | 5,156,72 | 84,84,088 | 44,079 | 1.15 |
| 1924 | 857,827 | 307,195 | 1,165,022 | 4,325,26 | 5,899,590 | 22,473 | 1.17 |
| 1925 | 947,146 | 370,873 | 1,318,019 | 5,155,12 | 67,23,962 | 19,562 | 1.36 |
| 1926 | 1,038,664 | 393,533 | 1,432,197 | 5,517,23 | 69,34,568 | 15,483 | 1.35 |
| 1927 | 924,067 | 371,442 | 1,295,509 | 5,660,87 | 61,19,172 | 9,036 | 1.49 |
| 1928 | 913,473 | 432,004 | 1,345,477 | 6,022,60 | 65,20,195 | 7,769 | 1.55 |
| 1929 | 1,120,469 | 472,241 | 1,592,710 | 6,514,81 | 71,22,509 | 6,645 | 1.69 |
| 1930 | 780,853 | 426,831 | 1,207,684 | 6,125,99 | 50,53,459 | 2,253 | 1.51 |

Iron Age Vol. 127. 1931.

第 6 表 日本電氣爐之發達情況

| 年代 | 大正 7年 | 大正 10年 | 昭和 1年 | 昭和 4年 | 昭和 7年 | 昭和 8年 | 昭和 9年 | 高周波 爐(9年) |
|-----------------------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|---------------|
| 電 氣 爐 容 量 | 1噸以下 | | | 6 | 7 | 10 | 12 | 0.300 噸(3) |
| | 1.5噸 | | | 1 | 5 | 6 | 14 | |
| | 1.75噸 | | | 2 | 5 | 2 | 2 | 0.350 噸(2) |
| | 2噸 | | | 5 | 6 | 10 | 16 | |
| | 2.5噸 | | | 1 | 4 | 4 | 4 | |
| | 3噸 | | | 9 | 10 | 12 | 25 | 0.500 噸(5) |
| | 4噸 | | | 1 | 1 | 1 | 6 | |
| | 5噸 | | | 2 | 2 | 5 | 7 | |
| | 6噸 | | | 3 | 5 | 7 | 9 | 1.000 噸(1) |
| | 8噸 | | | — | 2 | 3 | 4 | |
| | 10噸 | | | 1 | 1 | 1 | 1 | |
| | 15噸以上 | | | — | — | 3 | 6 | 2.000 噸(2) |
| 計 | 4 | 11 | 20 | 31 | 45 | 64 | 106 | 13 |

商工省調 煉鐵參考資料 (鐵和鋼昭和10年11月)

第7表 日本鋼之生産量(商工省鑛山局)(%)

| 年 | 代 | 平 | 爐 | 轉 | 爐 | 電氣爐 | 坩 | 坩 | 坩 | 其宅 | 鑄鋼品 |
|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|---|----|------|
| 大正6年 | 1917 | | 98.80 | | | 0.44 | 1.48 | 0.05 | | | 4.58 |
| | 9 | 1920 | | 99.2 | | 0.52 | 0.21 | 0.08 | | | 5.22 |
| | 10 | 1921 | 91.3 | | 7.8 | 0.62 | 0.29 | 0.01 | | | 5.72 |
| | 11 | 1922 | 88.8 | | 10.4 | 0.49 | 0.31 | 0.02 | | | 4.88 |
| | 12 | 1923 | 88.4 | | 10.8 | 0.65 | 0.15 | | | | 3.66 |
| | 13 | 1924 | 92.7 | | 6.1 | 1.09 | 0.07 | | | | 2.70 |
| | 14 | 1925 | 92.9 | | 5.8 | 1.19 | 0.09 | | | | 3.28 |
| 昭和元年 | 1926 | 92.9 | | 5.6 | | 1.21 | 0.18 | | | | 3.10 |
| | 2 | 1927 | 93.1 | | 1.7 | 1.57 | 0.08 | | | | 2.60 |
| | 3 | 1928 | 97.8 | | 0.5 | 1.98 | 0.08 | | | | 2.83 |
| | 4 | 1929 | 97.5 | | | 2.30 | 0.07 | | | | 1.90 |
| | 5 | 1930 | 97.5 | | | 2.72 | 0.07 | | | | 2.04 |
| | 6 | 1931 | 97.0 | | | 2.80 | 0.08 | | | | 1.78 |
| | 7 | 1932 | 97.0 | | | 2.90 | 0.10 | | | | 1.99 |
| | 8 | 1933 | 96.0 | | | 4.30 | 0.08 | | | | 2.19 |
| | 9 | 1934 | 96.6 | | | 5.60 | 0.08 | | | | 2.19 |

第8表 日本鋼之生産量(商工省鑛山局認)(噸)

| 年次 | 平 爐 鋼 | | 轉 爐 鋼 | | 坩 坩 爐 鋼 | | 電 氣 爐 鋼 | | 合 計 | |
|------|-----------|-----------|---------|-----|---------|-----|---------|--------|-----------|--------|
| | 鋼 塊 | 鑄 鋼 | 鋼 塊 | 鑄 鋼 | 鋼 塊 | 鑄 鋼 | 鋼 塊 | 鑄 鋼 | 鋼 塊 | 鑄 鋼 |
| 1923 | | 847,725 | 103,474 | | 1,517 | | 3,292 | | 959,008 | |
| 1924 | | 1,018,680 | 67,821 | | 797 | | 11,986 | | 1,099,691 | |
| 1925 | | 1,206,580 | 84,928 | | 1,204 | | 15,496 | | 1,300,208 | |
| 1926 | | 1,400,632 | 84,677 | | 2,747 | | 18,159 | | 1,506,215 | |
| 1927 | | 1,569,552 | 87,998 | | 1,175 | | 26,517 | | 1,685,242 | |
| 1928 | | 1,863,391 | 3,340 | | 1,503 | | 37,746 | | 1,905,980 | |
| 1929 | | 2,233,198 | 1,210 | | 1,778 | | 52,654 | | 2,298,840 | |
| 1930 | 2,207,012 | 13,349 | | 35 | 1710 | 1 | 39,017 | 23,123 | 2,247,739 | 41,598 |
| 1931 | 1,816,794 | 12,029 | | | 1,536 | | 31,352 | 23,418 | 1,849,682 | 36,443 |
| 1932 | 2,306,501 | 13,805 | 940 | | 2,296 | | 41,862 | 27,373 | 2,351,599 | 44,683 |
| 1933 | 2,077,014 | 29,333 | | | 2,191 | 1 | 98,827 | 40,734 | 2,128,032 | 70,063 |
| 1934 | 2,604,343 | 29,267 | | | 1,120 | | 147,270 | 59,520 | 2,754,733 | 88,787 |

第9表 各種導體之比抵抗

| 元 素 | 比 抵 抗 C | 導 電 率 $\alpha = \frac{1}{C}$ | 溫 度 係 數 |
|-----------------------|-------------|---------------------------------|----------------|
| 鋁 | 0.03—0.05 | 32—20 | 0.0039 |
| 青 銅 | 0.12 | 8.35 | 0.001 |
| 錫 | 0.5 | 2 | 0.0041 |
| 鉛 | 0.2 | 5 | 0.00387 |
| 鐵 | 0.10—0.12 | 10—8.35 | 0.00045 |
| 瓦 斯 炭 | 50 | 0.02 | 0.0005 |
| 石 炭 | 65—100 | 0.015—0.0010 | 0.0003—0.0008 |
| 銅 | 0.018 | 56 | 0.0038 |
| 鎳 銅 合 金 | 0.46 | 2.04 | 0.00003 |
| 鎂 | 0.04 | 25 | 0.0039 |
| 錳 | 0.42 | 2.33 | 0.00002 |
| 黃 銅 | 0.07—0.09 | 14.3—11.1 | 0.0015 |
| 洋 銀 | 0.15—0.40 | 6.7—2.5 | 0.0002—0.00035 |
| 鎳 | 0.15 | 6.7 | 0.0037 |
| 銅 鎳 合 金 (Nichelin) | 0.43 | 2.33 | 0.00028 |
| 鉑 | 0.14 | 6 | 0.0024 |
| 汞 | 0.95 | 1 | 0.0009 |
| 銀 | 0.016—0.018 | 66—62 | 0.0034—0.0038 |
| 銅 | 0.19—0.25 | 10—4 | 0.0052 |
| 鋅 | 0.06 | 18 | 0.0039 |
| 錫 | 0.14 | 6 | 0.0039 |
| 鈹 | 1.2 | 0.83 | 0.0037 |

第10表 各種耐火材料之成分

| 種類 | 灼減 | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | CaO | MgO | Cr ₂ O ₃ | 耐火度 | |
|--------|-----------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|-------|--------------------------------|-------|------|
| 酸性 | 矽砂 | 0.57 | 94.87 | 2.84 | 1.86 | 痕跡 | 0.29 | — | 1750 |
| | 矽砂 | 0.47 | 98.87 | 0.83 | 0.82 | — | — | — | • |
| 性 | 矽石磚 | — | 96.29 | 0.41 | 0.51 | 2.75 | 65.2 | — | • |
| | • | — | 95.87 | 1.05 | 1.57 | 0.87 | 10.2 | — | • |
| 性 | 耐火粘土 | 9.06 | 50.07 | 2.09 | 38.67 | 痕跡 | 痕跡 | — | 1700 |
| | 耐火磚 | — | 52.86 | 2.58 | 44.39 | • | • | — | • |
| 鹽基(鹼)性 | 氧化鎳 | 0.86 | 3.07 | 6.73 | 1.07 | 3.06 | 85.05 | — | 2150 |
| | 氧化鎳磚 | — | 2.45 | 7.06 | 0.85 | 2.87 | 86.68 | — | • |
| | 苦灰石 | 46.98 | 1.03 | 0.43 | 0.37 | 2.767 | 23.25 | — | — |
| | 燒苦灰 | — | 3.19 | 1.07 | 0.87 | 5.617 | 28.43 | — | — |
| | Magdolite | — | 4.05 | 4.23 | 0.67 | 5.135 | 39.77 | — | — |
| 性 | Syndolite | — | 4.81 | 5.37 | 1.06 | 4.987 | 38.51 | — | — |
| 中性 | Cr 鐵礦 | 4.17 | 4.87 | 18.76 | 12.73 | 1.57 | 14.29 | 43.16 | 2050 |
| | 鎳磚 | — | 6.89 | 20.37 | 9.53 | 1.83 | 16.28 | 44.75 | • |
| | Bauxite | 0.88 | 6.40 | 1.43 | 87.30 | — | — | — | 1800 |

第11表 各種耐火材料之物理性質

| 磚 | 熔融點 (度) | 單位體積之重 (g/cm ³) | 軟化點 (度) | 1000度下 的熱傳導率 (kcal/cm ² sec/度) | 比熱 (kcal/ g/度) | 對剝落 之抵抗 註 |
|------|---------------|--------------------------------|-----------------|--|-----------------------------------|-----------------|
| 耐火粘土 | 1615— 1715 | 2.65— 2.75 | 1.350 | 0.0039 | 100度為 0.199 1000度為 0.253 | 良 |
| 矽石 | 17.05 | 2.29— 2.44 | 1.600— 1.650 | 0.0044 | 100度為 0.219 1000度為 0.298 | 不良 |
| 鎳石 | 2,165 | 3.44— 3.60 | 1.400— 1.550 | 0.0079 | 100度為 2.281 1000度為 0.324 | 極不良 |

| 磚 | 熔融點 (度) | 單位體 積之重 量(g/ cm ³) | 軟化點 (度) | 1,000度下 的熱傳導率 (kcal/cm ² sec/度) | 比熱 (kcal/ g/度) | 對剝落 之抵抗 性 |
|----------------|-----------------|---|-------------------------|---|------------------------|-----------------|
| Coruna um | 約2,000 | 3.12— 3.20 | 1,650 度 不軟化 龜裂 | 200度為 0,0070 1,000度為 0,0200 | 3.0 1,000 為0,186 | 良 |
| Bauxit e | 1,565— 1,785 | 3.15— 3,25 | 1,350 | | | 良 |
| Alund um | 2,050 | 3.90— 4.00 | 於1,550 度 不軟化 | 650— 1,020度 為0,0083 | 100度為 0,198 | 良 |
| Spinol | 2,135 | | 於熔融 附近軟 化 | | | 良 |
| Silima nite | 1,816 | | 1,700 | | | 良 |

第12表 耐火材料之電氣抵抗(ohm/cm²)

| 溫度 (度) | 溫度 | | | | 溫度 (度) | 溫度 | | | |
|-----------|-------|-------|--------|--------------------|-----------|----|-----|-----|--------------|
| | 鎂磚 | 硅磚 | 火磚 | Alund um磚 | | 鎂磚 | 硅磚 | 火磚 | Alund um磚 |
| 600 | — | — | 21,000 | — | 1500 | 55 | 710 | 280 | — |
| 700 | — | — | 17,000 | 16×10 ⁶ | 1550 | 30 | 22 | 60 | — |
| 800 | — | — | 13,000 | — | 1565 | 25 | 18 | — | — |
| 900 | — | — | 9,000 | 6×10 ⁶ | | | | | |
| 1000 | — | — | 6,600 | 2×10 ⁶ | | | | | |
| 1100 | — | — | 4,400 | — | | | | | |
| 1200 | — | — | 2,700 | — | | | | | |
| 1300 | 6,200 | 9,700 | 1,300 | — | | | | | |
| 1400 | 420 | 2,400 | 690 | — | | | | | |

第13表 硅石磚的成份(%)

| 種 類 | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | CaO | MgO |
|--------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|
| 品川白磚 | 95.98 | 2.07 | 0.78 | 1.86 | — |
| 黑崎窯業○印 | 95.78 | 0.74 | 1.90 | 1.72 | 0.49 |
| □印 | 95.10 | 1.88 | 1.98 | 1.79 | 0.65 |
| 八幡製鐵所 | 95.12 | 2.14 | 1.00 | 1.83 | 0.23 |

第14表 加入材料對粘土質的影響

| 須加入粘土 中的材料 | 量 (%) | 熔點 (度) | 須加入粘土 中的材料 | 量 (%) | 熔點 (度) |
|---------------|----------|-----------|---------------|----------|-----------|
| 炭 錳 | 20 | 1,330 | 氧 化 鈦 | 20 | 1,730 |
| 炭 酸 鎂 | 10 | 1,380 | 氧 化 鋅 | 20 | 1,760 |
| 氧 化 錳 | 20 | 1,400 | 氧 化 鉛 | 20 | 1,770 |
| 炭 酸 鈣 | 20 | 1,450 | 純 粘 土 | — | 1,780 |
| 氧 化 鐵 | 20 | 1,610 | 螢 石 | 20 | 1,810 |
| 不熔性粘土 | 50 | 1,700 | 氧 化 鎇 | 15 | 1,810 |
| 白 玻 璃 | 20 | 1,710 | 礬 土 | 20 | 1,810 |

第15表 耐火磚的成份(%)

| 種 類 | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | 碱 | 水分 |
|--------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|
| 三石鐵石磚 | 61.72 | 33.18 | 0.63 | — | 0.29 | 0.98 | 0.10 |
| 粘土 | 58.13 | 31.52 | 0.24 | — | 0.27 | 0.61 | 0.55 |
| 鹽城內鄉粘土 | 53.85 | 30.86 | 2.14 | 0.40 | 0.11 | 0.29 | 0.69 |
| 磚 | 59.15 | 34.92 | 3.27 | 0.30 | 0.72 | 0.86 | 0.82 |
| 1) 英國Wcartle | 55.50 | 27.75 | 2.01 | 0.37 | 0.75 | 2.63 | 1.05 |
| 2) | 67.10 | 21.18 | 1.08 | 0.32 | 0.84 | 2.02 | 7.10 |
| 3) 復洲粘土 | 22.52 | 57.11 | 4.12 | 0.72 | 0.43 | 0.24 | 0.86 |

1) Revue de Metallurgie, II, 1904, p. 92.

2) Liquid Steel p. 18

3) 九大工學彙報 第二卷.

第16表 矽砂的成份 (%)

| 灼減 | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO | CaO | MgO | 礫 |
|------|------------------|--------------------------------|------|------|------|---|
| 2.82 | 88.81 | 7.90 | 2.00 | 0.22 | 0.15 | — |
| 2.88 | 88.27 | 6.56 | 1.72 | 0.80 | 0.36 | — |

第17表 苦灰石及苦灰磚 (%)

| 產地 | SiO ₂ | CaO | MgO | Fe ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | CO ₂ |
|-----|------------------|------|------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| 津久見 | 0.41 | 3129 | 2010 | — | — | 4480 |
| 熊本 | 0.46 | 3002 | 2007 | — | — | 4450 |
| 大連 | — | — | 2142 | — | — | — |
| 英國 | 2.00 | 3136 | 1928 | — | 1.50 | 4586 |
| | 4.34 | 2986 | 2017 | — | — | 4464 |
| 磚 | 5.58 | 5527 | 3527 | 2.8 | 1.34 | — |

第18表 菱苦土及氧化鎂 (%)

| 產地 | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MnO | CaO | MgO | 灼減 |
|--------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|------|------|------|
| 滿洲菱苦土 | 0.96 | 0.81 | 2.00 | — | 1.19 | 4538 | 4835 |
| 德國 1) | 1.00 | — | — | 0.50 | 1.00 | 4400 | 4900 |
| 英國 2) | 0.75 | 1.00 | 2.50 | — | 1.20 | 4500 | 5000 |
| 奧地利 1) | 0.02 | 0.03 | 2.53 | — | 1.68 | 4248 | 5041 |
| 滿洲氧化鎂 | 7.55 | 1.80 | 6.46 | — | 1.12 | 8254 | — |
| 德國 1) | 4.70 | 1.75 | 7.85 | 0.50 | 2.40 | 8221 | 0.10 |
| 英國 2) | 9.30 | 2.00 | 4.60 | 0.05 | — | 8360 | — |

第19表 鉻鐵礦及鉻磚 (%)

| 產地 | Cr ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | CaO | 水分 |
|-------|--------------------------------|--------------------------------|------|--------------------------------|------------------|-----|-----|
| 鳥取 | 380 | 166 | — | 19.9 | 4.0 | — | — |
| 美國 1) | 40.8 | 17.8 | 14.9 | 22.4 | 3.7 | — | — |
| 英國 2) | 51.7 | 14.2 | 14.3 | 14.1 | 3.5 | 1.7 | 0.3 |
| 鉻磚 | 32.2 | 14.1 | 20.1 | 25.8 | 7.8 | — | — |

1) Ceiger: — Ciessereibüch I,

2) Canegie: — Liquid steel.

第 20 表 Bauxite 的成份 (%) 1)

| 成 分 | 白色 Bauxite | | 紅色 Bauxite | | 美國 Alas -ha | 印 度 | |
|-------------------------------------|------------|------|------------|------|-------------------|--------|-------------|
| | 100度 乾燥 | 不乾燥 | 100度 乾燥 | 不乾燥 | | Madras | Magd -ur |
| Al ₂ O ₃ | 59.8 | 59.6 | 59.9 | 58.6 | 87.3 | 35.38 | 64.61 |
| Fe ₂ O ₃ | 17 | 12 | 23.6 | 24.1 | 14.8 | 34.34 | 6.21 |
| SiO ₂ · TiO ₂ | 4.4 | 4.3 | 1.3 | 3.3 | 64.0 | 0.1 | 3.3 |
| CaO · SiO ₂ | 14.1 | 14.3 | — | 1.8 | — | 10.75 | 1.79 |
| CaO | — | — | — | — | — | 0.4 | 0.04 |
| MgO | — | — | — | — | — | — | 0.03 |
| H ₂ O | 20.0 | 20.6 | 11.1 | 11.8 | — | 19.0 | 24.0 |

第 21 表 鋼屑的分類、價格及成分 (芝加哥每噸的價格)

| 分 類 | 價格 (\$) | 化 學 成 分 (%) | | | | |
|---------|------------|-------------|------|------|------|------|
| | | C | Mn | Si | P | S |
| 大 塊 屑 | 1300 | 0.15/0.30 | 0.60 | 0.10 | 0.05 | 0.05 |
| 轉 轆 器 | 1300 | 0.50/0.76 | 1.00 | 0.20 | 0.04 | 0.04 |
| 小 塊 屑 | 1250 | 0.15/0.30 | 0.60 | 0.10 | 0.04 | 0.04 |
| 低 磷 屑 | 1600 | 0.18/0.24 | 0.60 | 0.10 | 0.02 | 0.02 |
| 壓 鍊 屑 | 800 | 0.15/0.20 | 0.60 | 0.10 | 0.04 | 0.04 |
| 軌 條 屑 | 1425 | 0.50/0.76 | 1.00 | 0.20 | 0.05 | 0.05 |
| 軸類旋盤屑 | 900 | 0.38/0.52 | 0.80 | 0.20 | 0.04 | 0.04 |
| 小 建 築 材 | 1350 | 0.18/0.24 | 0.50 | 0.15 | 0.04 | 0.04 |
| 軸 切 斷 屑 | 1100 | 0.38/0.52 | 0.80 | 0.24 | 0.05 | 0.05 |
| 鐵道用材 | 1400 | 0.05/0.15 | 0.40 | 0.10 | 0.12 | 0.04 |
| 時鐘零件 | 1450 | 0.55/0.70 | 0.70 | 0.40 | 0.06 | 0.05 |
| 彈簧(捲) | 1550 | 0.95/1.05 | 0.40 | 0.20 | 0.03 | 0.03 |
| 穿孔屑(低磷) | 1300 | 0.10/0.24 | 0.60 | 0.10 | 0.02 | 0.02 |
| 鐵道用外輪 | 1250 | 0.50/0.85 | 0.75 | 0.35 | 0.05 | 0.05 |
| 機械工場 | 500 | 0.18/0.30 | 0.60 | 0.20 | 0.05 | 0.05 |
| 旋盤鐵 | 500 | 0.05/0.15 | 0.40 | 0.10 | 0.12 | 0.05 |
| 薄 板 | 500 | 0.05/0.15 | 0.40 | 0.10 | 0.12 | 0.05 |
| 壓 斷 屑 | 700 | 0.10/0.20 | 0.50 | 0.10 | 0.05 | 0.05 |

Barton: Refining electricity.

第22表 鑄鐵成分 (%)

| 產地 | Mn | C | Si | P | S |
|-----|-------|------|------|-------|-------|
| 英國產 | 29.75 | 5.20 | 0.65 | 0.090 | — |
| " | 20.11 | 4.99 | 0.42 | 0.07 | — |
| 美國產 | 19.78 | 5.18 | 0.94 | 0.095 | — |
| " | 15.00 | 4.30 | 0.50 | 0.250 | 0.036 |
| " | 20.40 | 5.00 | 1.10 | 0.060 | — |
| 英國產 | 14.40 | 4.32 | 0.56 | 0.063 | — |
| " | 9.25 | 3.95 | 0.44 | 0.060 | — |
| 日本產 | 10.35 | 4.10 | 1.55 | 0.180 | 0.020 |
| " | 20.37 | 4.98 | 1.12 | 2.240 | 0.010 |

第23表 鑄鐵成分 (%)

| 產地 | Mn | C | Si | P | S |
|-----|-------|------|------|-------|-------|
| 英國產 | 60.00 | 6.30 | 0.60 | 0.100 | 0.005 |
| " | 70.00 | 6.80 | 0.70 | 0.140 | 0.005 |
| " | 80.00 | 7.20 | 0.80 | 0.180 | 0.004 |
| 美國產 | 80.87 | 7.17 | 0.87 | 0.228 | — |
| " | 82.00 | 6.58 | 1.00 | 0.120 | — |
| " | 84.01 | 6.62 | 2.42 | 0.133 | 0.050 |
| 日本產 | 70.00 | 6.00 | 1.50 | 0.350 | — |
| " | 80.00 | 6.50 | 1.20 | 0.400 | — |
| " | 75.00 | 1.00 | 1.00 | 0.400 | — |

第24表 鑄合金的價格

| 合金 | C (%) | Mn (%) | Si (%) | 價格(元) |
|---------|--------|--------|--------|-------|
| 7% C 鋼鉄 | 60乃至80 | 75乃至80 | 0.10以下 | 165 |
| 低炭素Mn | 1.0以下 | " | " | 320 |
| 金屬 Mn | — | 98乃至99 | " | 2,100 |

第25表 硅素鐵的比重

| 硅素量(%) | 比重 | 硅素量(%) | 比重 | 硅素量(%) | 比重 |
|--------|------|--------|------|--------|------|
| 11.58 | 6.46 | 23.43 | 6.51 | 32.05 | 6.18 |
| 15.81 | 6.56 | 24.26 | 4.46 | 47.25 | 4.55 |
| 22.83 | 6.51 | 29.04 | 6.40 | 77.29 | 2.93 |

第26表 硅素鐵的熔融點

| 研究者 | Osmond | Osmond | Dannan | 村上 | 村上 |
|--------|--------|--------|--------|------|------|
| 硅素量(%) | 10 | 50 | 25乃至50 | 45 | 50.4 |
| 熔融點(度) | 1130 | 1400 | 1360 | 1220 | 1225 |

第27表 硅素鐵之成份(%)

| 產地 | Si | O | Mn | P | S |
|-----|-------|------|------|------|------|
| 英 國 | 3270 | 0.29 | 0.31 | 0.31 | 0.04 |
| " | 4870 | 0.07 | 0.13 | 0.04 | 0.03 |
| " | 75.80 | 0.00 | 0.11 | 0.02 | 0.02 |
| " | 94.80 | 0.00 | 0.08 | 0.01 | 0.02 |
| 美 國 | 4895 | 0.67 | 0.31 | 0.12 | 0.02 |
| " | 5037 | 0.35 | 0.22 | 0.03 | 0.09 |
| 德 國 | 2589 | 0.52 | 0.42 | 0.04 | 0.03 |
| " | 5180 | 0.03 | 0.35 | 0.04 | 0.02 |
| " | 75.67 | 0.31 | 0.26 | 0.04 | 0.01 |
| 日 本 | 7072 | 0.25 | 0.28 | 0.04 | 0.03 |
| " | 75.14 | 0.30 | 0.34 | 0.04 | 0.03 |

第28表 硅鑄鐵之成份(%)

| 產地 | Mn | Si | C | P |
|-----|------|--------|--------|-------|
| 德 國 | 2000 | 10乃至12 | 2乃至2.5 | — |
| " | 2050 | 10.20 | 2.15 | 0.185 |
| " | 1950 | 7.45 | 2.65 | 0.178 |
| 美 國 | 2012 | 10.18 | 1.47 | 0.087 |

第29表 硅鐵之成份 (%)

| 產地 | Mn | Si | C | P | S |
|----|----------|----------|------|------|------|
| 英國 | 60 乃至 70 | 20 乃至 25 | — | — | — |
| | 50 " 60 | 22 " 25 | — | — | — |
| 德國 | 6854 | 2502 | 0.12 | 0.01 | 0.01 |
| | 6926 | 2551 | 0.12 | 0.01 | 0.01 |

第30表 鎢鐵之成份 (%)¹⁾

| 種類 | C | Cr | Si | Mn |
|-----|-------------|----------|---------------|---------|
| 鎢 | 4 乃至 6% C | 40 乃至 60 | 0.50 以下 | 0.50 以下 |
| | 2 " 4 " | 20 " 40 | 0.50 " 1.50 " | 0.50 " |
| | 1 " 2 " | 10 " 20 | 0.50 " 1.50 " | 0.50 " |
| 鐵 | 0.1 " 1.0 " | 25 " 1.0 | 0.50 " 1.50 " | 0.50 " |
| 金屬鎢 | 0.10 以下 | 99 " 99 | 0.50 " | 痕跡 |

| 種類 | Ni | S | P | 價格 (元) | |
|-----|-------------|------------|----------|----------|------------|
| 鎢鐵 | 4 乃至 6% C | 0.1 乃至 2.0 | 0.250 以下 | 0.100 以下 | 250 |
| | 2 " 4 " | 0.1 乃至 2.0 | 0.150 以下 | 0.100 " | 400 乃至 500 |
| | 1 " 2 " | 0.1 乃至 2.0 | 0.100 以下 | 0.100 " | 500 " 600 |
| | 0.1 " 1.0 " | 0.1 乃至 2.0 | 0.100 以下 | 0.100 " | 500 " 1000 |
| 金屬鎢 | Fe=0.10 以下 | | | 5.500 | |

第31表 錫之成份 (%)

| 種類 | C | W | Si | Mn | S.P.A.S | Sn | 價格 (元) |
|----|--------|----------|---------|---------|------------|---------|--------|
| 錫 | 0.10 | 96 乃至 99 | 0.50 以下 | 0.50 以下 | 各 0.100 以下 | 0.05 以下 | 3.000 |
| | 以下 | | | | | | |
| 錫鐵 | 0.60 " | 80 " 85 | 0.50 " | 0.50 " | 各 0.100 以下 | 0.05 " | 3.500 |

第32表 鋁合金之成份 (%)

| 種類 | C | Mn | Si | S | CaO | 價格(元) |
|-----|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| 鋁鐵 | 0.50以下 | 約5.00 | 約1.50 | 0.25以下 | — | 56.00 |
| " | 2.00 " | " 7.50 | " 1.50 | 0.25 " | — | — |
| 金屬鋁 | 0.50 " | " 9.60 | " | — | — | 10.000 |
| 鋁鈣 | — | " 4.00 | " | — | 約25.0 | — |

第33表 鈳鐵之成份 (%)

| 種類 | V | Fe | C | Si | Al | Mn | P | S | 價格(元) |
|----|------|-------|------|------|------|------|------|------|--------------|
| 1 | 55.0 | 40.00 | 4.00 | 0.30 | 0.10 | 0.30 | 0.04 | 0.03 | 10.000 乃主 |
| 2 | 34.0 | 64.22 | 1.42 | 0.10 | 0.12 | 0.12 | 0.06 | 0.02 | 12.000 |

第34表 鈦鐵之成份 (%)₁₎

| Fe | Ti | C | Si | Al | Mn | C | P |
|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|
| 36.85 | 56.63 | 4.62 | 1.25 | 0.44 | 0.10 | 0.045 | 0.02 |
| 78.54 | 18.37 | 0.67 | 1.40 | 0.69 | 0.13 | 0.074 | 0.024 |
| 97.68 | 11.21 | 0.67 | 0.37 | — | — | 0.030 | 0.04 |

第35表 鎳之含有成份 (%)₂₎

| 種類 | Ni | C | Si | Al | S | Co | Cu | Fe | Mn | P |
|------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| 純粹 | 99.30 | 0.09 | 0.14 | 0.14 | 0.01 | — | 0.07 | 0.39 | — | — |
| 平均 | 97.30 | 0.14 | 0.54 | 0.54 | 0.02 | 1.20 | 0.08 | 0.49 | — | — |
| Ni 鐵 | 56.00 | 0.61 | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.01 | 0.08 | 43.00 | 0.23 | 0.04 |

第36表 鋁之成份 (%)

| Al | Be | C | Cu | 黑鉛 | Pb | Si |
|-------|------|------|------|------|------|------|
| 98.52 | 0.52 | 0.42 | 0.06 | 0.72 | 0.04 | — |
| 99.20 | 0.25 | — | 痕跡 | — | — | 0.55 |

第37表 磷鐵之成份 (%)

| 種類 | P | Fe | Mn | Si | O | S |
|-----|-------|-------|-------|------|------|------|
| 磷鐵 | 17.23 | 79.40 | 0.40 | 1.46 | 1.14 | — |
| " | 25.56 | 70.66 | 0.84 | 1.80 | 0.20 | — |
| " | 20.50 | — | 3.00 | 0.50 | 0.3 | 0.16 |
| " | 17.85 | — | 2.80 | 0.50 | 0.27 | 0.33 |
| " | 15.71 | — | 5.90 | 0.84 | 0.27 | 0.16 |
| 磷化錳 | 25.00 | 7.00 | 65.00 | 1.00 | 2.00 | — |

第38表 鈾鐵之成份 (%)

| C | Si | S | P | Mn | Fe | Ur |
|------|------|---|---|----|----|-------|
| 3.47 | 0.81 | — | — | — | — | 48.49 |
| 4.71 | 0.65 | — | — | — | — | 51.60 |

第39表 銻鐵之成份 (%)

| Zr | Fe | Si | Al | Ti | Ni | Cr | Cu | Mg | Mn |
|------|------|------|-----|-----|----|----|------|------|------|
| 3550 | 1678 | 3673 | 257 | 259 | — | — | 0.34 | — | 0.09 |
| 2860 | 3817 | 1625 | 583 | 488 | — | — | 3.30 | 2.48 | 0.14 |

第40表 雜合金鐵 (%)₁₎

| 種類 | O | Si | Mn | P | S | Fe | Ca |
|----|---------|----------|------|-------|-------|-------|-------|
| 銻鈣 | 1.14 | 69.8 | 0.22 | 0.036 | 0.014 | 1.15 | 16.05 |
| 銻銻 | 3.40 | 17.2 | 0.70 | — | 0.01 | 28.29 | — |
| 銻錳 | 0.5 | — | — | — | — | — | — |
| 銻錳 | 0.5—1.0 | 0.25—0.5 | — | — | — | — | — |
| 銻錳 | 0.5—1.0 | 0.25—0.5 | — | — | — | — | — |
| 銻錳 | 1.0 | 0.25 | — | — | — | — | — |
| 銻錳 | 2.86 | — | — | 0.03 | 0.005 | — | — |

| 種類 | Al | Cr | Ni | W | Mo | Mg | B |
|-----|-----|-------|-------|-------|-------|------|------|
| 硅·鈣 | 255 | — | — | — | — | 0.26 | — |
| 鉻·硅 | — | 50.2 | — | — | — | 0.22 | — |
| 鉬·鉻 | — | 30.0 | — | — | 50.0 | — | — |
| 鎢·鎳 | — | — | 25—50 | 50—75 | — | — | — |
| 鉬·鎳 | — | — | 25—50 | — | 60—70 | — | — |
| 鉻·鎳 | — | 72—75 | 24 | — | — | — | — |
| 銅·鐵 | — | — | — | — | — | — | 3.20 |

1) Ceiger Handb. der Eisen und
Stahlgiesserei, I.

第 4 1 表 石灰石及石灰之成份 (%)

| 種 類 | CaO | MgO | CO ₂ | SiO ₂ | FeO ₃ +Al ₂ O ₃ | S |
|---------|-------|-------|-----------------|------------------|--|------|
| 石灰石 (良) | 54.10 | 0.55 | 43.20 | 0.92 | 0.91 | 痕跡 |
| • (劣) | 47.30 | 3.95 | 40.50 | 6.25 | 1.97 | 0.20 |
| 石 灰 (良) | 89.40 | 1.20 | 3.60 | 3.50 | 1.70 | 0.08 |
| • (劣) | 62.73 | 16.25 | 7.55 | 10.27 | 2.86 | 0.38 |

第 4 2 表 螢石之成份 (%)

| 種 類 | SiO ₂ | Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃ | CaCO ₃ | CaF ₂ | 價格 (元) |
|-----|------------------|--|-------------------|------------------|--------|
| 高級品 | 1.75 | 1.55 | 3.04 | 93.27 | 239 |
| 低級品 | 4.25 | 1.78 | 8.85 | 84.20 | — |

第 4 3 表 酸化劑之成份 (%)

| 種 類 | Fe | SiO ₂ | Mn | P | S | 價格 (元) |
|-------|-------|------------------|-------|------|------|--------|
| 鐵 肌 | 7.28 | 2.17 | 0.50 | 0.02 | 0.03 | 1.50 |
| 印度鑛鐵石 | — | 9.52 | 51.43 | 0.09 | — | 30.00 |
| 內北鑛鐵石 | — | 6.80 | 49.20 | 0.51 | — | " |
| 赤 鐵 鑛 | 52.64 | 17.11 | 0.15 | 0.03 | 0.03 | 20.00 |

第44表 脫酸劑之發熱量(%)

| 反應式 | 發熱量 (cal) | 對氧每1克原子(16g) 的發熱量(cal) |
|-----------------------------------|--------------|---------------------------|
| $Mn + \frac{1}{2} O_2 = MnO$ | 908 | 908 |
| 結晶 $Si + O_2 = SiO_2$ | 1910 | 955 |
| $2Al + \frac{1}{2} O_2 = Al_2O_3$ | 3802 | 1267 |
| $Ti + O_2 = TiO_2$ | 2150 | 1080 |
| $Fe + \frac{1}{2} O_2 = FeO$ | 650 | 650 |
| 無定形 $C + \frac{1}{2} O_2 = CO$ | 290 | 290 |

第45表 由於加入脫酸劑鐵溫度之變化

| 材 料 | 取 份 (%) | | | 對熔鋼 脫酸劑之 加入量 | 熔鋼・600度±度 冷劑加入 熔劑加入 | |
|-----|-----------|----|----|--------------------|------------------------|-----|
| | C | Si | Mn | | | |
| 生 鐵 | 4 | 2 | 1 | (各1%) | -16 | -3 |
| 鑛 鐵 | 4 | - | 20 | | -14 | 0 |
| 錳生鐵 | 7 | - | 70 | | -9 | +3 |
| 硅素鐵 | - | 50 | - | | +19 | +35 |
| 鉛 鈦 | Al = 100 | | | (各1%) | +10 | - |
| | Ti = 25 | | | | 0 | - |

1) 大石源治 鋼鐵 第11年 第11號。

第46表 澆滌生鐵之成份(%)

| C | Si | Mn | P | S | Cu |
|-----|------|------|-------|-------|-------|
| 350 | 痕跡 | 痕跡 | 0.010 | 0.020 | - |
| 350 | 0.04 | 0.25 | 0.016 | 0.085 | 0.080 |

1) 著者:—鐵和鋼, 第16年 第7號(第四章
pearlite 鑄鐵的製造參考)

第 4.7 表 美國及加那大的電氣製鋼爐¹⁾

| 廠 | 容 量 (噸) | 數 | 爐數合計 |
|---|-------------|----|------|
| 史 奈 · 大 倫 那 肺 爾 特 固 力 布 斯 · 埃 斯 爾 | 6 以下 | 73 | 181 |
| | 6 乃至 10 | 95 | |
| | 10 以上 | 13 | |
| 固 龍 肺 爾 · 的 克 宋 崩 那 | 6 以下 (全部) | | 53 |
| | 3 " (") | | 18 |
| | 6 以下 | 20 | |
| 崩 那 | 6 乃至 10 | 5 | |
| | 10 以上 | 3 | 28 |
| | | | 12 |
| 基 勞 | 6 以下 | 6 | |
| | 6 乃至 10 | 8 | 14 |
| 保 斯 達 阿 謗 導 | 6 以下 | 4 | |
| | 6 乃至 10 | 1 | 5 |
| 魏 卜 新 大 爐 諾 吉 淋 | | | 10 |
| | | | 53 |
| 崩 保 爾 得 特 老 伊 特 否 路 大 | | | 3 |
| | | | 2 |
| 其 他 | 1 | | 1 |
| | 3 以下 (全部) | | 27 |
| 美 國 合 計 | 1 (全部) | | 3 |
| | 6 | 9 | |
| 加 那 大 合 計 | 6 以下 | 4 | 13 |
| | | | 28 |
| 總 計 | | | 406 |
| | | | 50 |
| | | | 456 |

1) Bisco The Manufacture of Electric steel P. 55.

第48表 各種電氣爐的發達 1)

| 弧光式爐 | | | | 誘導式爐 | | | 合計 | | | | | |
|-------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|
| 形 式 | 1910 | 1914 | 1920 | 1924 | 形 式 | 1910 | 1914 | 1920 | 1910 | 1914 | 1920 | 1924 |
| 隆 諾 | 29 | 69 | 300 | 301 | 列西淋老 | | | | | | | |
| 基 勞 | 17 | 33 | | | 河 號查式 | | | | | | | |
| 斯大薩諾 | 6 | 23 | | | 號志爾 | 14 | 20 | | | | | |
| 那斯狹斯 | 2 | 8 | | | 保 倫 | 12 | 14 | | | | | |
| 克 拉 | 6 | 8 | | | 弗力克 | 1 | 6 | 103 | | | | |
| 埃力克特 | 4 | 20 | 626 | 564 | 西與斯 | 1 | 1 | | | | | |
| 勞美達爾 | | | | | 其 他 | 4 | 2 | | | | | |
| 買卜列得 | 5 | 15 | | | | | | | | | | |
| 勞 聯 欠 | — | 8 | | | | | | | | | | |
| 其 他 | 3 | 11 | | | | | | | | | | |
| 合 計 | 72 | 195 | 922 | 865 | | 32 | 42 | 103 | 104 | 238 | 1025 | 961 |

第49表 斯大薩諾式爐

| 容量 (lg) | 電流種類 | 變壓器(kV) | 裝入 | 製品 |
|---------|------|---------|------|------|
| 800 | 三相交流 | 150 | 冷材 | 鋼 |
| 1,000 | " | 200 | 熔材 | 特殊鋼 |
| 1,000 | " | 200 | 壓鍊屑 | 工具鋼 |
| 1,200 | " | 250 | 冷材生鐵 | 鑄鋼 |
| 1,500 | " | 300 | 冷材 | 自動焊材 |
| 1,600 | " | 300 | 冷材 | 合金鋼 |

第50表

| 水平電極之直徑(mm) | 垂直電極之直徑(mm) | 電極消耗量 (kg 時間) | 作業時間 |
|-------------|-------------|---------------|---------|
| 38 | 38 | 0.225 | — |
| 50 | 75 | 0.300 | 1.224時間 |
| 75 | 75 | 0.680 | 數個月 |
| 88 | 100 | 1.070 | — |
| 100 | 125 | 1.750 | 130時間 |
| 125 | 125 | 1.000 | 480 " |

第51表 爐蓋壽命

| 作業時間 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|-----------|-----|-----|----|----|----|
| 持續回數 (鋼塊) | 110 | 70 | 55 | 45 | 38 |
| " (鑄物) | 120 | 110 | 90 | 70 | 50 |

第52表

| 爐體容量 (噸) | 電流強度 (amp) | 變壓器之容量 (kVA) | | 爐1晝夜之出鋼回數(冷材) |
|----------|------------|--------------|-----|---------------|
| | | 全容量 | 噸當量 | |
| 1 | 3,000 | 300 | 600 | 16 |
| 3 | 5,000 | 1,200 | 400 | 9 |
| 5乃至6 | 8,000 | 2,000 | 400 | 7乃至8 |
| 15 | 20,000 | 6,000 | 600 | 5 " 6 |

第53表 熔解特性表

| 爐大小 (kg') | 發電機 容量 (kW) | 鋼熔解之特性 | | 1,000kg 熔解1噸 鋼所要之 大體電力量 (kWh) |
|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|---|
| | | 熔解所要 之大體時 間 | 時 間 當 量 (kg) | |
| 50kg (最大140lb) | 60 | 35分 | 30 | 1,000 |
| 100" (" 225") | 100 | 35" | 160 | 820 |
| 150" (" 325") | 150 | 30" | 270 | 720 |
| 300" (" 650") | 150 | 1時間30分 | 225 | 770 |
| 500" (" 1150") | 150 | 2 " 15" | 205 | 930 |
| 500" (" 1150") | 300 | 1時間 | 455 | 710 |
| 500" (" 2250") | 300 | 1時間35分 | 410 | 820 |
| 1,000" (" 2250") | 600 | 1時間 | 1,000 | 660 |

第54表 爐體之寸法

| 容 量 (噸) | 熔 融 室 | | 裝入口 以上至 爐蓋間 | 裝入口 至附近之 間 差厚 | 爐 床 厚 度 | 熔融室表面積 | |
|---------------|------------|-----------|-------------------|------------------------|------------|--------|------|
| | 直徑 (mm) | 深 (mm) | (mm) | (mm) | (mm) | (m) | (m) |
| 2 | 1600 | 250 | 400 | 400 | 400 | 200 | 1.00 |
| 3 | 1800 | 280乃至320 | 400 | 400 | 450 | 254 | 0.85 |
| 4 | 2000 | 300 " 375 | 400 | 450 | 500 | 314 | 0.79 |
| 6 | 2400 | 325 " 400 | 550 | 500 | 500 | 452 | 0.75 |
| 10 | 2800 | 350 " 450 | 500 | 500 | 550 | 712 | 0.71 |
| 15 | 3,200 | 400 " 500 | 500 | 500 | 600 | 890 | 0.60 |

