

新學制高級工業學校教科書

# 冶鐵學

---

商務印書館發行





新 學 制

高級工業學校教科書

冶

鐵

學

唐吉傑著

商務印書館

一九五四年查訖

新學制  
高級工業學校教科書  
冶鐵學

中華民國十六年七月初版

每册定價大洋捌角

外埠酌加運費匯費

著者 唐吉傑

發行兼印者 上海寶山路  
商務印書館

發行所 上海及各埠  
商務印書館

New System Series  
METALLURGY OF IRON AND STEEL  
For Higher Technological Schools  
By  
Tang Shih Chieh  
1st ed., July, 1927  
Price: \$0.80, postage extra  
THE COMMERCIAL PRESS, LTD.  
Shanghai, China  
All Rights Reserved



# 目 錄

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第一章 總論 .....          | 1  |
| 第一節 導言 .....          | 1  |
| 第二節 鐵之分類 .....        | 2  |
| 第三節 鐵礦 .....          | 5  |
| 第四節 各元素之影響 .....      | 9  |
| 第五節 鐵礦之焙燒 .....       | 13 |
| 第二章 銑鐵製煉法 .....       | 15 |
| 第一節 化鐵爐 .....         | 15 |
| 第二節 鼓風 .....          | 22 |
| 第三節 煉礦工作法 .....       | 25 |
| 第四節 化鐵爐中之化學變化 .....   | 29 |
| 第五節 銑鐵之種類 .....       | 33 |
| 第六節 混銑爐 .....         | 42 |
| 第七節 配料計算法 .....       | 43 |
| 第三章 熟鐵熟鋼及滲碳鋼製煉法 ..... | 47 |
| 第一節 概言 .....          | 47 |
| 第二節 木炭熟鐵製煉法 .....     | 48 |

|                  |                  |    |
|------------------|------------------|----|
| 第三節              | 攪煉法 .....        | 49 |
| 第四節              | 滲碳煉鋼法 .....      | 53 |
| 第四章 坩堝煉鋼法 .....  |                  | 57 |
| 第一節              | 概言 .....         | 57 |
| 第二節              | 原料 .....         | 57 |
| 第三節              | 坩堝 .....         | 60 |
| 第四節              | 坩堝爐 .....        | 62 |
| 第五節              | 煉鋼工作法 .....      | 65 |
| 第六節              | 坩堝鋼之特色及種類 .....  | 67 |
| 第五章 柏塞麥煉鋼法 ..... |                  | 70 |
| 第一節              | 概言 .....         | 70 |
| 第二節              | 迴轉爐及附屬設備 .....   | 71 |
| 第三節              | 酸性煉鋼法 .....      | 73 |
| 第四節              | 鹽基性煉鋼法 .....     | 80 |
| 第五節              | 小柏塞麥法 .....      | 85 |
| 第六節              | 熱量計算法 .....      | 87 |
| 第七節              | 酸性與鹽基性法之比較 ..... | 90 |
| 第六章 馬丁煉鋼法 .....  |                  | 91 |
| 第一節              | 概言 .....         | 91 |
| 第二節              | 開爐 .....         | 92 |
| 第三節              | 酸性開爐法 .....      | 98 |



|     |          |     |
|-----|----------|-----|
| 第四節 | 鹽基性開爐法   | 104 |
| 第五節 | 特種煉鋼法    | 106 |
| 第六節 | 各煉鋼法之比較  | 110 |
| 第七節 | 可鍛鑄鐵     | 114 |
| 第七章 | 鐵與鋼之電煉法  | 117 |
| 第一節 | 概言       | 117 |
| 第二節 | 電煉礦法     | 118 |
| 第三節 | 鋼之再精煉法   | 120 |
| 第四節 | 電爐       | 123 |
| 第八章 | 鋼塊鑄造法    | 132 |
| 第一節 | 鑄造法      | 132 |
| 第二節 | 鋼塊之弱點    | 133 |
| 第三節 | 鋼塊弱點之救濟法 | 137 |
| 第九章 | 鋼料造形法    | 141 |
| 第一節 | 概言       | 141 |
| 第二節 | 烘烙爐      | 142 |
| 第三節 | 打擊法      | 143 |
| 第四節 | 壓榨法      | 145 |
| 第五節 | 軋輾法      | 147 |
| 第十章 | 鐵與鋼之性質   | 151 |

|             |                 |            |
|-------------|-----------------|------------|
| 第一節         | 溶體學說.....       | 151        |
| 第二節         | 鋼之性質.....       | 165        |
| 第三節         | 生鐵之性質.....      | 174        |
| 第四節         | 鐵與鋼之腐蝕.....     | 179        |
| 第五節         | 加熱與性質之關係.....   | 184        |
| <b>第十一章</b> | <b>合金鋼.....</b> | <b>191</b> |
| 第一節         | 概言.....         | 191        |
| 第二節         | 鎳鋼.....         | 192        |
| 第三節         | 錳鋼及鉻鋼.....      | 194        |
| 第四節         | 自硬鋼及高速工具鋼.....  | 196        |
| 第五節         | 硅鋼及釩鋼.....      | 198        |
| 附錄          | .....           | 200        |



# 新學制高級工業學校教科書

---

## 冶 鐵 學

### 第一章 總 論

#### 第一節 導 言

金屬之中最重要者，莫鐵若也。小而家常日用之具，大而鐵路、橋梁、輪船、鎗礮，幾無一非鐵所造者；今日物質文明之駸駸日上，藉鐵之力者居多，而就國勢言之，幾以鋼鐵需用之多少，卜其國之強弱，鐵之重要，蓋可知矣。

據統計家言：全世界產鐵之噸數，適合各金屬全體之二十二倍，而價額約相等；其所以發達至此者：一由於鐵礦之存於地球者極多，煉法簡易，故其價廉；二由於性質堅強，且稍事加減鐵中所含之各種原質，即可得軟硬強弱各異之鐵，以適應吾人特殊之需。

鍊鐵術之範圍極廣，作業頗煩，且以價廉之故，必規模宏大，始能獲利，故常大別為三，各為專門之業，其範圍如次：

(1) 鐵鑪中含有各種雜質，必除却之，且使鐵還原，產出銑鐵或生鐵，業此者曰鍊鐵廠。

(2) 生鐵中尚含少量之不純物質，必除卻之始成鋼鐵，業此者曰煉鋼廠。

(3) 生鐵與鋼鐵乃僅工業品之材料，必製成適當形狀，始能供用，如翻砂廠，鐵軌廠等，乃以此為業者也。

化學的純粹之鐵，質軟且弱，不適於用必含有其他原質，始得各種工業用之鐵材，故吾人所常用者，實鐵與其他原質之合金，特簡其名曰鐵而已。鐵所含之各種原質之中，以碳為最重要，而其量亦最多，故以碳之多少，為鋼與鐵分類之標準。碳而外，如矽，錳，磷，硫等，亦常夾存鐵中，此等亦影響於鐵之各種性質，故每有特別加入此等原質，使其適於或種特殊之用者。茲將工業鐵材中所含各種原質之成分範圍開列於次：

|   |           |   |           |
|---|-----------|---|-----------|
| 碳 | 0.05 至 5% | 磷 | 微量 至 3%   |
| 矽 | 微量 至 5%   | 硫 | 微量 至 0.3% |
| 錳 | 微量 至 2%   |   |           |

## 第二節 鐵之分類

在煉鐵術幼稚時代，鐵之分類 (classifications of iron) 極簡，凡將鐵赤熱之後，急冷於水中，以增長其硬度者曰鋼，否者曰鐵。至近世煉鐵之術大昌，方法既不一，而種類復多，故分類法乃不一而足。茲據西歷千八百七十六年萬國公會所決議者分類如次：



頓加者，曰有可淬性，其硬度不加者，曰無可淬性。）

以上分類法，僅學術或公文上用之，茲將英、法、美各國所實用者列後。

|   |   |                   |   |                      |
|---|---|-------------------|---|----------------------|
| 鐵 | { | 銑鐵 (pig iron)     | { | 灰銑鐵 (gray pig iron)  |
|   |   | 熟鐵 (wrought iron) |   | 白銑鐵 (white pig iron) |
|   |   |                   |   | 木炭鐵 (charcoal iron)  |
|   |   |                   |   | 攪鍊鐵 (puddle iron)    |

|   |   |                            |
|---|---|----------------------------|
| 鋼 | { | 馬丁鋼 (Siemens-Martin steel) |
|   |   | 柏塞麥鋼 (Bessemer steel)      |
|   |   | 坩堝鋼 (crucible steel)       |
|   |   | 電鋼 (electric steel)        |
|   |   | 滲碳鋼 (cement steel)         |

銑鐵之意義及其分類，仍與前述者無異。可鍛鐵中之由木炭所煉者，及由攪鍊法 (puddle process) 所製造者，曰鐵，他如馬丁法、柏塞麥法、坩堝法、電煉法等所出者，統稱為鋼。此分類法現通行於世。

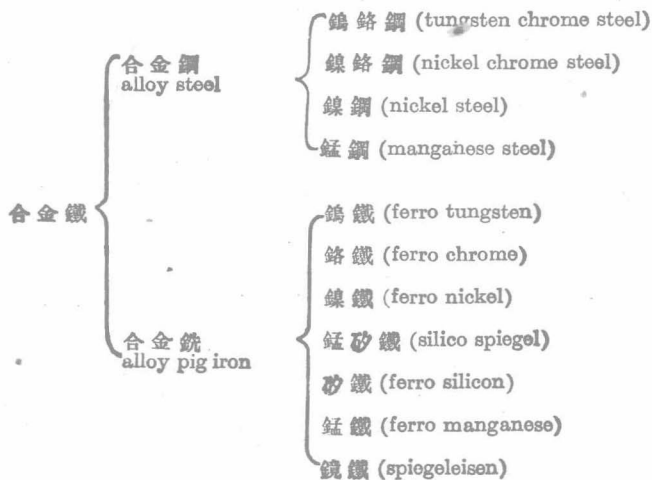
歐美各國常有硬鋼及軟鋼 (hard steel and mild steel) 之別，此非其性質上有劃然之界限，惟以鋼中所含之碳約在千分之三以上者，曰硬鋼，以下者曰軟鋼。例如鐵軌及各種彈簧，屬於硬鋼；他如一般建築材料，如用於船舶橋梁者，屬於軟鋼。

以上所述，皆以碳量為分類之基礎，但亦有以碳外之他種原質為主要成分，以適應或種特別用途者，此曰合金鐵



(alloy iron); 與此並論之時,則前述者曰碳鐵 (carbon iron),

合金鐵之分類如次:



合金銑乃製造各種合金鋼之原料,無可鍛性,不能直接供用。合金鋼則富有可鍛性,且各有特長,近年來凡兵艦之裝甲板及高速度之工具鋼料,皆用此種合金鋼。

### 第三節 鐵礦

金屬之存於地球上者,鋁而外,以鐵為最多;但皆為化合物,若自然鐵及隕石等,為量極微,不足供原料之用;故吾人煉鐵,全仰給於此化合物,即通稱為鐵礦 (iron ores) 者。地球上含鐵之化合物極多,非可一一稱為鐵礦,鐵礦云者,必由此煉成銑鐵,於經濟上能獲利者之謂,故礦中含鐵之成分,不宜過少,至少亦宜在百分之二十五或三十以上,如在

我國交通不便之地，雖含鐵至百分之四五十，尚有不能獲利者。鐵鑛之價值，除含鐵成分而外，關係於夾雜物之有無及其種類，例如磷硫乃鐵鑛之最忌者。鐵鑛中常有之夾雜物為矽酸 ( $\text{SiO}_2$ )，石灰 ( $\text{CaO}$ )，苦土 ( $\text{MgO}$ )，礬土 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ )，錳，磷，硫，銅，砒，鈦等，關於此等夾雜物之影響，容後詳論。

### 1. 赤鐵鑛

赤鐵鑛 (hematite) 乃鐵鑛中之最重要者，其分子式為  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ，純粹者含鐵 70%，呈赤色至暗黑色，但條痕 (streak) 色常赤，為鑑定此鑛之特徵。此種鑛含磷質極少，故其價高，蓋磷之有無，恆影響於銑鐵之性質，而欲得磷少之銑鐵，必用磷少之鐵鑛故也。英國幹巴蘭 (Cumberland) 地方所出之赤鐵鑛，含磷極少，所出之銑鐵，亦最純，故特稱為赤鐵鑛銑鐵 (hematite pig)。今則凡對於磷少之銑鐵，皆以此名之矣。

魚子赤鐵鑛 (oölitic hematite)，乃球形粒狀之變體 (variety)，常含石灰石，故可兼熔劑之用，法國 Lorraine 地方所產極多，實德法煉鐵界之主要原料。

### 2. 磁鐵鑛

磁鐵鑛 (magnetite) 之化學成分為  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ，純粹者含鐵 72.4%，有吸引磁針之性，故名。色與條痕皆黑，暴之雨雪中，則變成褐色。常為八面及十二面結晶體，產於綠泥片巖 (chlorite schist) 之中，及巖石崩壞，則成砂鐵。最著名之產地為瑞典，此處所產者含磷硫極少，故瑞典所出鋼鐵，以純粹著名於世。我國大冶鐵山及其周圍，所出之鐵鑛，皆屬於此。

### 3. 碳酸鐵鑛

碳酸鐵鑛(carbonate ores or siderite)之主要成分爲碳酸鐵,質之稍純者曰菱鐵鑛(spathic iron ore),此中磷硫最少,屢多含錳質。呈真珠光澤,色則不一,由珠白而紅而褐黑,此因易於變色之故。產此有名之地,乃德奧之 Eisenerz 及 Westphalia 等處。質之不純而雜含黏土者,曰黏土鐵鑛(clay ironstone),多產於英國之 Cleveland 地方,爲英國製鐵業之源。

### 4. 褐鐵鑛

褐鐵鑛(limonite)乃含水之氧化鐵。其質稍純者,乃由碳酸鐵鑛,磁鐵鑛等變化而成,富於鐵分,而含磷則少,西班牙北部產此頗多,有名於世。質之不純者,或由含鐵之水溶液沈澱而成,或由不純之鐵鑛變化而生,鐵之品位不高,而多含磷質,昔時頗以製煉爲苦,但自鹼性煉鋼法發明以來,知磷之爲害不大,故前之棄置不採者,今爲重要之富源矣。

### 5. 鐵礦之價值

當發見鐵鑛時,欲決其有無開採之價值,首宜實際考求者數端: (1)鑛量之多少;苟爲量不多,縱鑛質純良,交通便利,亦無開採之價值;苟爲量極多,則雖鑛質稍劣,尙有研究之餘地。 (2)交通之便否。 (3)燃料之有無及其價值。 (4)鑛塊之大小及有無脆性;蓋小塊與性脆者,搬運不便,損失較多,且須壓成磚塊,否則有礙於化鑛爐之通風。 (5)鑛石之組織;粒粗者煤氣易於侵入,故鑛易於還原,緻密者反此,屢有焙燒之必要。 (6)鑛之化學成分;含鐵不宜在25%以

下,前已言之,此外之宜注意者,乃鑛中所含雜質之種類及其多少;鐵鑛中常見之雜質,為矽酸,石灰,苦土,礬土,及氧化鈦等僅矽與鈦之一小部,還原混入銑鐵,其餘則全部變為鐵渣,不至影響於鐵質之良否,但其量愈加,則鐵之含有率愈少,而燃料之消耗愈大,此為經濟上所不許者。鑛中所含之錳,其一部混入銑鐵,可使鐵質改善,故常有特為加入錳鑛者。硫砒之一部,亦入銑鐵,為害極大;黃鐵鑛含鐵至50%以上,及硫砒鐵鑛 (arsenopyrite) 含鐵至34%,乃不能用為鐵鑛者,以其含硫砒過多之故。雜質中之最有害於鐵者,厥惟磷,在今日之煉鐵術,尚不能由含磷之鐵鑛,煉出無磷之銑鐵,故鐵鑛常分為有磷無磷二種,以含磷至鐵量之千分之一為界限無磷鐵鑛為供特殊鑄造所用之銑鐵,及用於酸性煉鋼法之銑鐵之原料,故其價較昂。茲摘錄本溪湖煤鐵公司購買鐵鑛章程中所定鑛砂成分之標準量及價格增減法如下:

### 1. 鑛砂成分之標準量

鐵 65% (對於磁鐵鑛)

60% (對於赤鐵鑛)

50% (對於褐鐵鑛)

錳 0.5%

矽酸 ( $\text{SiO}_2$ ) 10%

硫 0.1%

磷 0.05% (以鑛中所含之鐵量為單位)

銅 0.4% (以鑛中所含之鐵量為單位)

2. 照成分之多少,增減其價格如次。

鐵 在標準量以上,每增加百分之一,每噸加洋一角,每減少百分之一,每噸減洋一角,但磁鐵礦及赤鐵礦之含鐵在百分之五十以下,及褐鐵礦之含鐵在百分之四十以下者不購。

錳 在標準量以上,每增加千分之五,每噸加洋一角。

硅 在標準量以上,每增加百分之一,每噸減洋五分,至百分之二十者不購。

磷 在標準量以上,每增加萬分之一,每噸減洋一角,每減少萬分之一,每噸加洋一角,至萬分之二十五以上者不購。

茲舉世界有名鐵礦之化學成分如次:

|                       | Fe %  | SiO <sub>2</sub> % | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % | CaO % | MgO % | Mn % | S %  | P %  | CO <sub>2</sub> % |
|-----------------------|-------|--------------------|----------------------------------|-------|-------|------|------|------|-------------------|
| 赤鐵礦(美國Lake Superior)  | 62.91 | 5.89               | 1.39                             | 0.70  | 0.42  | 極微量  | 0.05 | 0.11 |                   |
| 赤鐵礦(英國Cumberland)     | 66.60 | 5.66               | 0.06                             | 0.07  | —     | 0.19 | 極微量  | 極微量  |                   |
| 磁鐵礦(大冶鐵山)             | 65.80 | 4.07               | 1.15                             | 0.29  | 0.66  | 0.12 | 極微量  | 0.04 |                   |
| 磁鐵礦(日本釜石鐵山)           | 62.00 | 5.20               | 0.90                             | 2.40  | 0.10  | 0.17 | 0.60 | 0.05 |                   |
| 磁鐵礦(瑞典塔山)             | 63.73 | 6.48               | 1.35                             | 0.75  | 2.14  | 0.26 | —    | 0.02 |                   |
| 炭酸鐵礦(奧國Eisen-<br>erz) | 38.64 | 4.10               | 1.25                             | 5.90  | 4.00  | 2.71 | 0.08 | 0.01 | 27.6              |
| 黏土鐵礦(英國Cleveland)     | 28.86 | 10.22              | 6.95                             | 6.63  | 3.73  | 0.70 | 0.10 | 0.50 | 22.02             |

第四節 各元素之影響

鐵礦皆為氧化物,故與焦炭同時加入化礦爐中,及溫度漸高,則焦炭與礦互相作用,奪礦中之氧,由碳而變為一氧化碳,再變為二氧化碳,鐵則還原成金屬體。礦中之夾雜

物,如硅酐,礬土,苦土等,受爐熱熔解(此時特加某種物質以助其熔解,名曰熔劑(flux),煉鐵所常用之熔劑爲石灰石),變成鐵渣,渣較鐵輕,故上浮,鐵則沈於爐底,由底口放出,即爲銑鐵。

鐵還原時,久與碳及碳之氧化物相接觸,故常吸收溶解少量之碳,而硅,錳,磷,硫等咸受化鐵爐中之還原作用,變成單質,混入鐵中,故銑鐵中常含有此類物質。

鎳,鎢,鉻,鉬,鎢等,皆足以改良鋼鐵之性質,故常特別加入鎳,鎢等礦,使其還原混入鐵中。

茲將各元素之作用及狀態列舉於下:

### 1. 碳

鐵中所含碳量,在每0.05—5.0%之間,爲量雖微,而其影響於鐵之性質者極大,故常以碳之多少,定鐵之種類。碳之存於鐵中之狀態不一,但當鐵熔融時,碳之全部,皆溶解鐵中,如食鹽之溶於水者然;及鐵漸次冷卻,至於凝固,而後碳乃變爲各種狀態: (1)石墨碳(graphite carbon);多含碳之鐵凝固時,碳之一部,變爲石墨,呈薄片狀之結晶,夾於鐵粒之間,此爲灰銑鐵之最要者。(2)非結晶碳(temper carbon);鐵之多含非石墨碳者,使熱至攝氏八百度,復冷卻之,則碳遊離成粒狀,爲非結晶體。此與石墨碳皆爲遊離狀,故曰遊離碳(free carbon)。(3)碳化碳(carbide carbon);鐵由高溫漸次冷卻,則碳之一部與鐵化合,成碳化鐵,在攝氏七百度前後,發達最盛,乃鋼之重要成分。(4)可淬碳(harden-  
ing carbon);鐵凝固後,尙有如在熔鐵中所溶解之碳,不受

何種變化，此曰可淬碳；將鋼鐵熱至高溫而急冷之，則多變此，亦鋼之重要成分，乃使鋼硬度增加之主動力也。此與碳化碳合稱為結合碳 (combined carbon)。

要之，鐵與碳之混合力極大，投碳於熔鐵中，霎時間為鐵所吸收，倘以能使碳遊離之物質，蔽於鐵上，斷絕空氣而熱之，鐵雖未熔，亦能吸碳，其吸收之量，與熱度齊加，至超過鐵之熔點時達於極限，滲碳法 (cementing process) 即利用此理者。

## 2. 錳

無論何種鐵礦，靡不含錳少許，不論錳量之多少，在化鐵爐中全部還原入鐵，與此結成合金。錳入鐵中，可使鐵吸收碳之力增加，且使碳易成結合體。鐵中含錳至百分之二以上者，呈葉形，如剝片重疊，此曰鏡鐵 (spiegeleisen)；含錳至百分之二十以上，則稱錳鐵 (ferro manganese)，其斷面緻密，稍帶黃色。錳與氧之親和力 (affinity) 甚大，故加錳可除鐵中之氧，又與鐵中之硫，容易化合，成硫化錳，浮於鐵面，故加錳可減少硫之有害作用。錳使鐵之硬度及抗壓力增加，但柔軟性，可淬性及鍛接性則因此減少。錳鋼含碳甚微，含錳至百分之十以上，其質頗硬，用普通工具，難於加工，富有韌性，能耐衝擊。

## 3. 矽

矽之氧化物即矽酐，常名石英，或矽石，含於鐵礦，熔劑及燃料中；煉礦時，為碳還原成矽，與鐵成合金。矽在熔融鐵中，與錳恰為反對之作用，使碳遊離，促石墨碳之生成，故白



銑之含硅至百分之一以上者少，灰銑則平均含硅至百分之二以上。硅之氧化速於鐵，故加硅可驅除熔融鐵中之氧。硅可使鐵之抗張力增加，但減殺其可淬性及鍛接性。

#### 4. 磷

磷含於礦中，必使還原與鐵成合金，如此，可使鐵之硬度增加，但抗張力及韌性則大為減殺。在銑鐵中，使成易流動性 (thin fluidity)，適於精緻之鑄造，如美術品，家具等；但其性脆，不宜於鑄造工業品。在可鍛鐵中，雖使鍛接性增加，冷時易於破折，不耐衝擊。磷之無害界限，碳少者為百分之二，碳多者為萬分之五。

#### 5. 硫

硫亦含於鐵礦，熔劑，燃料中，還原而與鐵合。含硫之鐵，為難流動性 (thick fluidity)，故不適用於鑄造，抗張力亦小。硫含於鋼中，有害於鍛接性。熱時加工，屢至破折，或生裂罅，此性曰熱脆 (red short)，適與磷相反。加錳於熔融鐵中，則硫之有害作用可以減小。

#### 6. 銅

為量常微，無大影響。

#### 7. 鎳

鎳可改良鋼鐵之性質，故常特別加入。鐵中含鎳，則硬度，韌性，抗張力俱加，含鎳至百分之三，極耐撞擊，且能防各種侵蝕作用，故兵船之裝甲板，砲身及其他受猛烈撞擊之部分，多用鎳鋼。

#### 8. 鎢，鉻，鉬

此等元素，極能使鐵之硬度增加，故適用於刀銼等，所謂高速鋼 (high speed steel) 者，即此類也。

### 第五節 鐵礦之焙燒

鐵礦之焙燒 (calcination of iron ore) 之目的有二：一，驅除礦中之有害成分，如碳酸鐵礦中之二氧化碳及磁鐵礦中之硫。二，改變鐵礦之組織，如磁鐵礦常為緻密之結構，焙燒之則呈粗粒形，庶幾易與碳及一氧化碳相接觸。

焙燒爐或為方形，或為圓筒形及圓錐形。爐壁皆由火磚所砌成，外廓以鐵板圍之。圖 1 乃西利亞式之焙燒爐 (Silesian calciner)，為圓筒形，僅底部成倒錐式，對徑 3 呎，爐高 5.4 呎。

焙燒時，先由底部發火，而後加入燃料與生礦，二者輪層裝入。燃料盛燃燒於爐之腹部，焙燒作用亦盛行於此。由此漸次下墜，由底部取去。其工作極簡易，

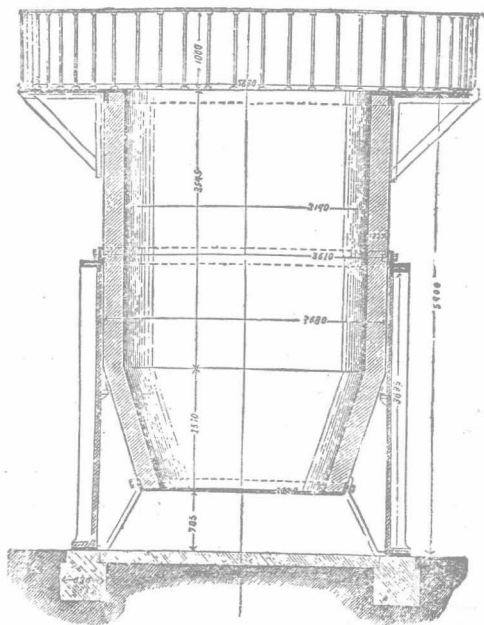


圖 1. 西利亞焙燒爐

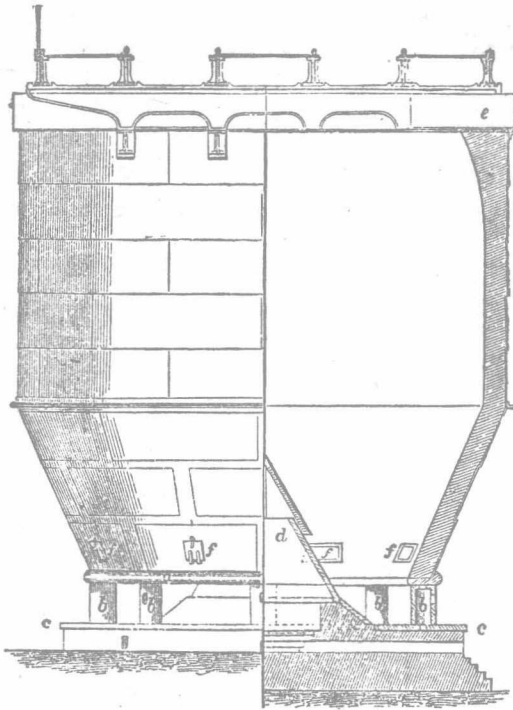


圖2. 英式焙燒爐

規則下降。 *b* 爲鐵柱，乘於鐵板 *c* 之上，所以支持鐵板 *a* 者。 *f* 乃工作之處，且可調節通風。此種焙燒爐，高三十三英尺，對徑二十四英尺者，每晝夜可焙燒鐵礦一百三四十噸，對於每礦一噸需煤百二十磅云。

且能繼續不斷的進行。所用之燃料，乃木炭及焦炭之幾成廢物者，消耗量約礦砂之千分之五。爐之容量 (capacity) 固關係於鐵礦之性質，難以概言，但爐體積每一立方呎每晝夜可燒礦半噸至三噸餘。

圖2乃係英國 Cleveland 所用之焙燒爐。

爐之下部具圓錐 *d*，以便礦之外墜，且以防礦之不

原书缺页

原书缺页

原书缺页

原书缺页



原书缺页

原书缺页

其中如一氧化碳、氫及碳化氫，皆能燃燒生熱，每煤氣一立方呎，約可發生八百「卡路里」之熱量，故或以之燃燒於鍋爐以發蒸汽，或直接用於煤氣機關，或以之供預熱鼓風之用，在鐵廠為最重要之燃料。概言之，每煉鐵一噸，約需焦炭一噸，而每燒焦炭一噸，約可出煤氣4500立方呎，苟用煤氣機關，每四立方呎，可發生一馬力時 (horse-power-hour)，則每日百噸之爐，可出煤氣450000立方呎，可得4700馬力。

煤氣集收法之最簡單者，爐頂開放，僅由爐口中央，垂懸鐵製圓筒，礦由此裝下，煤氣則沿圓筒外圍而上，由煙道導往熱風爐，此因爐頂開放，故不免有煤氣漏洩之虞，僅用於木炭化鐵爐。今日所常用者為帕立之閉口式 (close-top type)，如圖 6, 7，煤氣由 *g* 管放出。

煤氣中含塵埃極多，必除却之，以增加煤氣之熱量，此曰煤氣清塵 (gas purification)。清塵之法，或使煤氣上下流

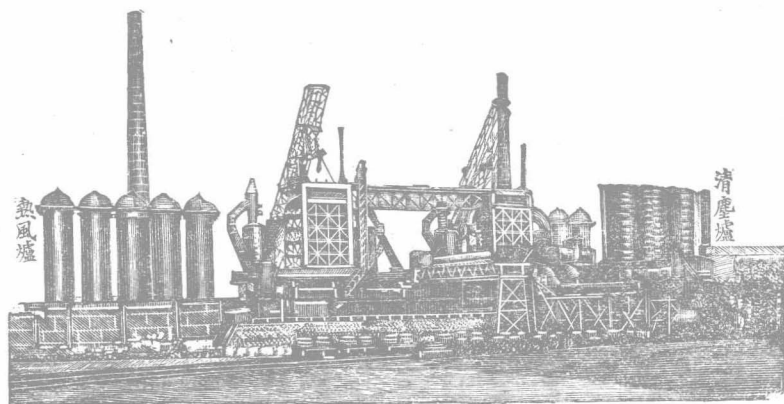


圖 9.

於多數直立鐵管中，以變其方向，減其速度，俾塵埃易於沈降；或噴水於管中，實行洗滌；或用旋風機將噴水與煤氣急劇攪動，使能密合。

## 第二節 鼓風

在化鐵爐中，對於燃料燃燒所必需之空氣，為量極多，每日煉銑鐵一噸，每分約需空氣三立方呎，對於三百噸爐，每日約需百三十萬立方呎之空氣，且必具相當之壓力，始能達到爐之中心及貫透礦石燃料之高層，通常由0.3氣壓至0.5氣壓，美國則有至一氣壓者。此種有相當壓力之空氣，在冶金上通稱鼓風(blast)。

鼓風機(blower)之種類雖多，而用於煉鐵者，幾限於往復式鼓風機(reciprocating blower)之一種，以其能供給壓力較高之空氣故也。原動力多用複式蒸汽機關，以爐煤氣為鍋爐之燃料；但今日多改用煤氣機關，俾與鼓風機直接連結，由此可減少煤氣之消費量，且省去鍋爐設備。煤氣機關之缺點，一在煤氣中尚含塵埃，頗有害於內部構造，二以煤氣機關之回轉甚速，與此同速之鼓風機之空氣瓣，易於破壞，致多漏洩；但今日煤氣之清塵法已大有進步，空氣瓣之構造又多方改良，故煤氣機關能盛行於世，其結果在化鐵爐燃燒焦炭一噸，可餘十三馬力，供鋼廠壓軋之用。凡利用煤氣時所最宜注意者，在煤氣之能否供給不絕，苟其量與成分不定，使煤氣機關多所窒礙，則間接累及煉礦工程，故必有多量之爐煤氣，以過補不及，庶可收煤氣機關之

功效。

近年渦動鼓風機(turbo-blower)漸行於世。此機之特長，在風量風壓均能一定，經濟上亦較便宜。對於此所用之動力只限於電動機(motor)與蒸汽臥輪(steam turbine)。

熱風爐(hot-blast stove):

送入化鐵爐之鼓風，宜預熱之，使成熟風(hot blast)。熱風之利益，乃爐溫易加，及節省燃料；惟由冷風所煉之銑鐵，其質稍純，偶有對於特別用途，用小化鐵爐，以冷風煉之者。由此所出之鐵，特稱為冷風銑鐵(cold-blast pig)。

熱風裝置有二：即鐵管式與蓄熱式是也。鐵管式者，以煤氣燃燒於鐵管之外，使鼓風由管內通過，此為鐵管之性質所限，熱風溫度不能過 $400^{\circ}\text{C}$ 。蓄熱式乃於鐵板圓筒中，砌以火磚，成格子形，先將煤氣燃燒於此，俟熱至高溫，乃

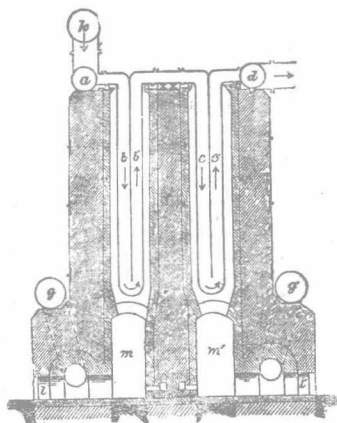
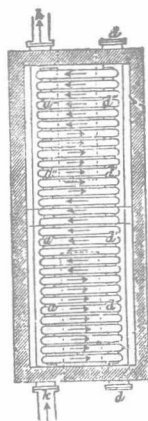
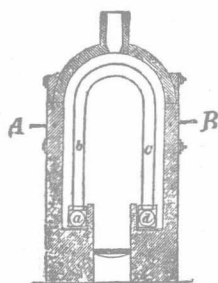


圖 10.



平面圖



立面圖

圖 11.

斷絕煤氣，送入冷風，俾吸收火磚之熱，溫度約可達  $800^{\circ}\text{C}$ 。

鐵管式熱風爐如圖 10，冷氣由  $k$  入  $a$  管，由  $a$  管再入  $b, b', c, c'$  ( $b, c$  管數約二十)，被熱之空氣由  $d$  管入爐，爐煤氣由  $g$  管入燃燒室  $m$ 。

如圖 11，鼓風由  $k$  入，由  $a$  部經  $b, c$  管，集合於  $d$ ，再由  $d'$  而  $a'$ ，由  $a''$  而  $d''$ ，由  $d'''$  而  $a'''$ ，最後由  $h$  管入爐。

蓄熱式之最常用者為顧伯式熱風爐 (Cowper's hot-blast stove)，此為鐵板製之圓筒，頂成半球，內部以火磚砌成格子形，高 20 至 35 呎，對徑 6 至 8 呎。如圖 12， $a$  為燃燒室，為圓形或橢圓形； $b$  為蓄熱處，煤氣由  $d$  引入燃燒室，與由  $e$  入之空氣相會，遂行燃燒，煤氣沿  $a$  而上，及達爐頂  $k$ ，乃折而下，通過蓄熱處，將所有熱量之大部分，傳於蓄熱處之火磚，而後由煤氣瓣  $f$  至煙巷  $g$ 。俟火磚已吸收充分之熱，乃將煤氣斷絕，由  $h$  管導入冷鼓風，沿蓄熱室而上，吸收火磚之熱，乃由活瓣  $i$  入化鐵爐。熱風工作，不能繼續進行，故對於化鐵爐一座，至少需

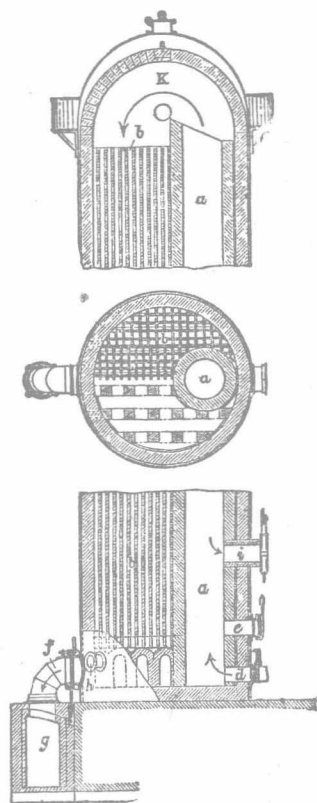


圖 12. 顧伯式熱風爐(一)

熱風爐三座，通常四座，其中二座同時使用，他二者供修理時之需。

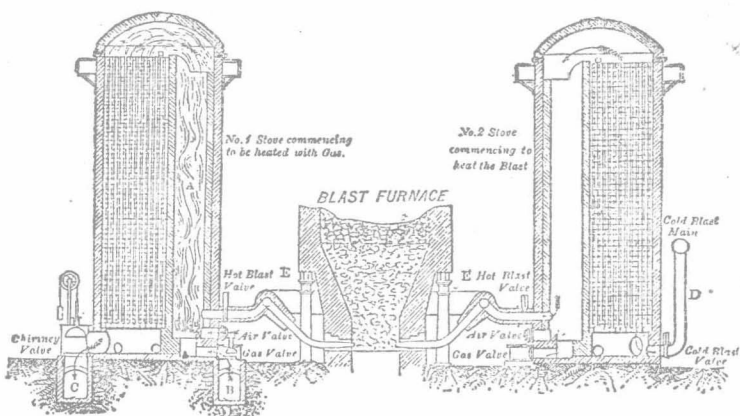


圖13. 顧伯式熱風爐(二)

### 第三節 煉礦工作法

爐之初次着手煉礦曰開爐(blow-in)。爐之新築者，開爐之先，必十分烘乾，用木柴或烟煤，約烘七日，當可完全乾燥。開爐時，積易燃之燃料如木炭者於爐底部，漸次加焦炭，再加適量之熔劑，礦渣，及將達爐頂，始裝入鐵礦。先由底部點火，爐內溫度漸高，及風口附近見有赤熱之焦炭，始送入微風，漸次加多，俟裝入物熔解下降，乃將礦石，熔劑，燃料等裝入，每次裝入之量，礦石，熔劑合計約十五噸，燃料約五六噸。

入爐之鼓風，溫度高而壓力大，一遇燃料，即盛行燃燒，其



發生之熱，使生出之鐵與礦渣完全熔解；燃燒時所生之一氧化碳氣，上昇時，與鐵礦相逢，即行其作用，使鐵還原，自身則被氧化，成二氧化碳；鼓風中之氮，化學上全無變化，僅以其所攜帶之熱，傳於礦石，熔劑，至出爐口時，約冷至攝氏四百度。

鐵礦在爐之上部，受煤氣之熱，漸下則受煤氣之還原作用，至八九百度，全變成金屬鐵。煤氣中之碳之微粒，一部分吸入鐵中，即燃料中之碳，亦一部滲入，故鐵中含碳甚多。

礦中之硅酐，磷酸鹽及氧化錳等，與白熱之燃料中之碳相接觸，其一部分還原成單質之硅，磷，錳等，與鐵混合，或組成合金。又礦中之硅酐，苦土，礬土等，除極小部分還原外，皆與石灰化合成礦渣；此與鐵同受底部之高熱，十分熔融，貯藏於底部，因渣輕於鐵，故浮於鐵上；及貯積相當之量，乃行放出，平均每六小時放鐵一次，放渣四五次。

出鐵法可於爐前設砂鑄場 (sand-casting bed)，此用砂作

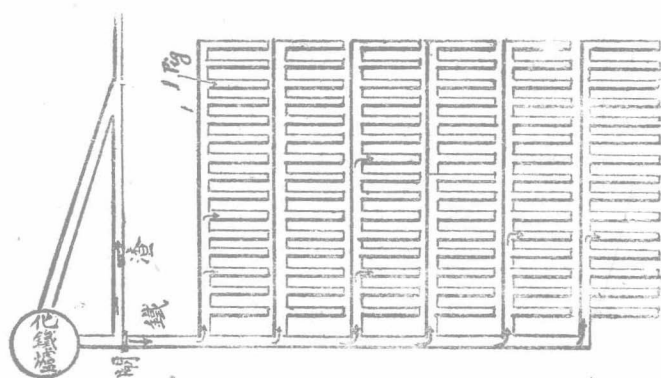


圖 14. 砂鑄場

多數窪處，使鐵分流其中，各成小塊，重約七八十斤。此法之利益，在開辦修理等費，較鑄鐵機為少；但鐵面附有硅砂，此後處理，諸多不便，而尤不適用於供給鹼性平爐煉鋼法之原料，故近來多改用鑄銑機 (pig-casting machine)。此將多數鐵模，乘於循環鏈 (endless chain) 上，另由挹注桶 *D* 注鐵於模中，模漸向後移動，至 *E*，鐵已冷卻，自動的落於 *F* 車，模乃倒懸，復返至 *C* 處，刷以石灰水，使模之內面，覆被石灰薄層，故鐵不致附着。

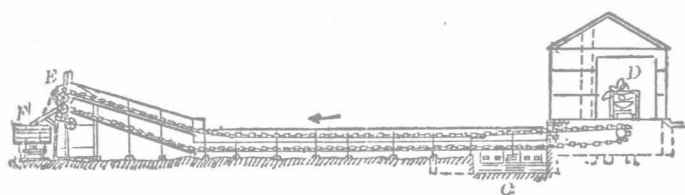


圖 15. 鑄銑機

礦渣原為廢物，且為量極多，拋棄時頗費勞力，但今日設法利用，乃變為化鐵爐之副產物矣。礦渣中所含石灰約 50%，碾碎之，再加適量之石灰，可製水泥 (cement)，特稱「蒲左立尼」(puzzolini)。又加石灰少許，可作白色美麗之磚，祇長期曝乾之，無烘燒之必要。流渣處，以蒸汽由橫面吹之，則成細微之渣綿 (slag wool)，可供鍋爐及鐵管等之保溫劑。

化鐵爐之障礙：

熔煉時障礙 (irregularities) 甚多，其最常見者，乃熔解帶 (melting zone) 上層發生不熔解部分，倘不早行救濟，則漸

次擴大，終至窒息，或倏忽陷落，致起爆裂。此不熔解部曰爐塊 (furnace accretion or scaffold)，爐塊之限於一部者，可由該部分礦石沈降之較遲，知為爐塊生成之證驗；至於爐之周圍同時並生者，則由煤氣之量減少，且帶黃色，礦渣則呈綠色或黑色，可推知之。爐塊生成之原因，由於裝入之不規則，燃料之惡劣，礦石之過碎，熔劑之失當，故宜審其原因之所在，對症施方；至常用之救濟法，則加裝燃料，減少礦量；但燃料下降，頗費時間，而有爐塊時為尤甚，故常加高熱之鼓風，以彌縫一時，且減少送風量，使熔煉遲緩，或由風口裝入煤油，發生高熱，使爐塊熔解。

有於風口上層凝固者，此可用鐵棒打開，或用吹管熔下，至無可如何時，有用炸藥炸開者。爐底部貯藏之鐵，亦有時凝固，使鐵封閉，不能出鐵者，此時由高處另穿出鐵口，使鐵完全流出，而後加高溫度，將凝固之鐵熔解。

在化鐵爐中，屢因一種障礙，累及各部；譬如熔解帶發生爐塊，影響於爐煤氣，連帶及熱風爐，終致貽害熱風。化鐵爐障礙，常影響於銑鐵之性質，例如熔解帶受意外之冷卻（或因風口水套漏水，或因冷塊落下），則所產銑鐵，含硅較低，而硫較高。

凡有意外事變，如工人同盟罷工，或戰事勃發，須暫行停工之時，可將銑鐵放出，裝入焦炭及石灰少許，使充滿爐內，而後將各孔穴完全封閉，能維持至數月之久。倘爐已使用多年，須大加修理時，可將裝礦停止，以塊渣代之，使熔去爐壁之附着物，及由風口內窺不見有熔解物，乃解除各種

減熱裝置，毀其底部，從事修理。

爐煤氣之昇騰，最喜沿爐壁而上，蓋因爐壁間摩擦較小之故，故裝入配料時，務使碎者近壁，使煤氣能平均上昇。

#### 第四節 化鐵爐中之化學變化

鐵礦在爐頂初受上昇煤氣之預熱作用，約 $300^{\circ}\text{C}$ ，即起以下變化，溫度愈加，則變化愈速。



(1) 式之C，形如油煙，附着於礦之外部及孔隙間；但此變化，又受如下之逆作用：



(3) 式始於 $300^{\circ}\text{C}$ ，(4) 式始於 $535^{\circ}\text{C}$ 附近，此作用頗速，故碳之遊離，停止於 $590^{\circ}\text{C}$ 。礦下降時，不絕的受煤氣之還原作用，失其氧之一部，在 $590^{\circ}\text{C}$ 以上，FeO頗安定(stable)，而 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 幾全被還原。



三氧化二鐵與固體碳間之作用始於 $400^{\circ}\text{C}$ ：



至 $700^{\circ}\text{C}$ ，固體碳乃能使FeO還原：

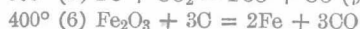
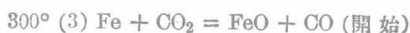
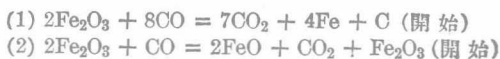
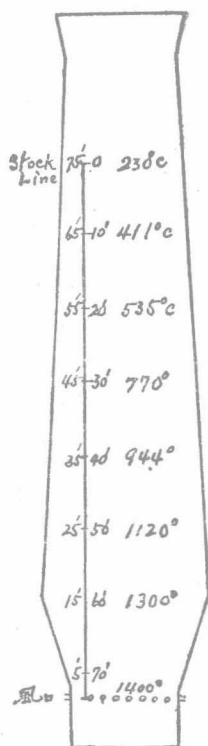


至 $800^{\circ}\text{C}$ ，鐵幾全部還原，成海綿狀，其地位約在風口上三十英尺附近。在 $800^{\circ}\text{C}$ ，石灰石分解，僅餘CaO下降。

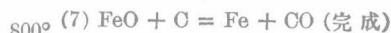
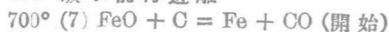


以上諸變化，總括之如下之程式圖，惟所示之數目字，蓋非確定不移者，不過假此以得大體之概念云耳。

在荷線 (stock line) 下 15 或 20 英尺之間，為  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  與  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  之範圍，但漸次受 CO 之還原，變成  $\text{FeO}$ ，CO 則成  $\text{CO}_2$ ，倘僅有此項變化，則爐煤氣中不含 CO，自無發熱能力，但因 (1) 式產



590° 碳不能再遊離



此下  $\text{CO}_2$  不能存在



圖 16.

出鐵與碳，二者皆能使  $\text{CO}_2$  還原，消失多量之能 (energy)。

(3) 式  $\text{Fe} + \text{CO}_2 = \text{FeO} + \text{CO}$ ，吸收 2340「卡路里」，但消失 68040「卡路里」。

(4) 式  $\text{C} + \text{CO}_2 = 2\text{CO}$ ，吸收 38880「卡路里」。

荷線下由 20 英尺至 30 英尺之間，乃  $\text{FeO}$  之範圍，但漸次為碳還原，變成海綿狀之鐵；由 35 英尺以下至熔解帶，則為鐵之範圍，此海綿鐵浸染游離之碳，將其一部吸入而溶解之，其性質乃如吸墨紙之吸入墨汁，此碳化作用，使鐵之熔點下降。

及達熔解帶，鐵乃熔解，通過焦炭中滴下，其吸碳乃達飽和程度。在適應點，石灰乃與焦炭及礦中之不純物質化合，成熔性渣，亦滴入爐底，在此經過途中，各雜質亦被還原，其還原之程度，足以決定銑鐵之特性，蓋被還原者，皆熔入鐵中，其為氧化物者，則為渣所熔解。 $\text{FeS}$  及  $\text{MnS}$  之較少量，亦熔入於鐵，但其他金屬之硫化物如  $\text{CaS}$  者則否。

熔解帶中之化學變化：

焦炭中含多量之硅酐，其中之一部還原，如下式：



此變化之程度，關係於熔鐵通過熔解帶之時間之長短，還原力之強弱，及礦渣吸取硅酐之能力。渣之熔點高者，其通過熔解帶中，極為遲緩，而使鐵亦然，故與鐵以多吸硅之機會。在熔解帶中，更高之溫度，可增長碳對於氧之親和力，故促進 (9) 式之變化，而此更高之溫度，可由送入更熱之鼓風得之。焦炭對於礦石熔劑之比例愈大，愈能促進 (9)

式，蓋此不僅增加還原劑之量，且能加高溫度，即增長此劑之化學活動性 (chemical activity)，故焦炭能物理的及化學的增長熔解帶之還原作用。鹼性渣熔解硅酐之力頗大，故反對(9)式之進行，此為製煉低硅銑鐵之主要方法之一。

化鐵爐中之硫，主由焦炭而來，其一部成一硫化鐵 (FeS)，一部則為黃鐵礦 (FeS<sub>2</sub>)，但此在爐頂失一原子之硫，變成 FeS，FeS 若非變成 CaS，則溶解於鐵中。



CaS 入渣，故渣自爐出時，常發極強之硫臭。由(10)式觀之，可知強大之還原力，可增加鐵中之硅者，對於硫適得相反之結果，此所以鐵之多含硅者，含硫常少，幾成定律。但有例外之二端：(一)凡焦炭量增多，則硅之入鐵者亦隨加，但硫則自相矛盾，蓋焦炭愈多，則硫之隨焦炭來者亦多，適與(10)式之變化逆行。(二)鹼性渣能減少鐵中之硅，亦能減少鐵中之硫，蓋因鹼性渣之溶解 CaS 之力更大之故。其他之情形，凡使硅增加者，皆能使硫減少，而以熔解帶之具高溫者為尤然，故高溫之鐵 (hot iron)，由煉鐵觀之，殆與多硅少硫之鐵同一意解。

錳還原如下之變化：



錳量固關係於裝入鐵礦之性質，但可由渣性稍加減之，如酸性渣，則可多吸取錳，與之化合成硅酸錳 (MnSiO<sub>3</sub>)。

化鐵爐中有極強力之還原作用，其目的在(一)使鐵礦還

原，(二)使硫脫離，(三)使鐵含有飽和之碳。祇因此過強之還原作用，硅、碳多被吸於鐵，使鐵不純，故考究各種還原力較低之方法，冀得較純之銑鐵，但其最大弱點，乃硫之不能脫除，蓋硫乃鐵中最可厭惡之雜質，既入鐵中，不易除脫，且以多含碳硅，有益於鐵，故今日仍襲用此極強之還原法。

爐內溫度，屢因各種障礙，時有高低，倘原料相同，溫度忽降，則錳量較減，硫量增加，硅則減少極大，故所出之銑鐵，由濃灰色變為淡灰色，終成白銑。是以雖同一鐵廠所出之同一商標之鐵，其性質往往不同，而以所含硫硅二者之量為尤甚。

### 第五節 銑鐵之種類

如前所述，在同一化鐵爐中，由裝入礦石之性質，及爐內溫度之高低，其所出銑鐵中所含錳硅等之量各異：

銑鐵  $Mn = 0.1 \sim 5\%$ ， $Si = 0.5 \sim 5\%$

硅鐵  $Si = 5 \sim 16\%$

鏡鐵  $Mn = 5 \sim 25\%$

錳鐵  $Mn = 25 \sim 80\%$

錳硅鐵  $Mn = 15\%$  (約數)， $Si = 10\%$  (約數)

以上五者之中，有非化鐵爐所能製煉者，須用電爐為之，但為便利起見，故在此合併言之。

硅鐵為灰白色，呈細粒狀，專應用於增加鋼中之含硅量。鏡鐵由白色之大結晶體而成，其狀如鏡，故名鏡鐵，以含錳 12~15% 者，其晶體最大。錳鐵乃帶黃白色之細粒形，其用途與鏡鐵相類，以增加鋼中之錳與碳為目的。錳硅鐵



亦用以增加鋼中之錳與硅。

化鐵爐之常製品爲銑鐵，用途極廣，故附以各種名稱，以便區別。例如特別用冷風製煉者，曰冷風銑鐵；常用之熱風所煉者，與此並稱時，則曰熱風銑鐵。有因所用之鐵礦種類而命名者，如赤鐵礦銑鐵與褐鐵礦銑鐵之類。有因所用之燃料而命名者，如木炭銑鐵與焦炭銑鐵是。有因產地命名者，如瑞典銑鐵與漢陽銑鐵是。以上名稱，即以代表該銑鐵之特色，如赤鐵礦銑鐵乃代表銑鐵之少含磷者；瑞典銑鐵，即代表銑鐵中之極純者。又有由用途而命名者，如用以製煉柏塞麥鋼者，曰柏塞麥銑鐵；用以煉熟鐵者，曰鍛冶銑鐵 (forge pig)，用於鑄造者，則曰鑄鐵；但偶有以鑄鐵爲銑鐵之總稱者。由性質上大別爲灰銑鐵與白銑鐵，容後詳述。

銑鐵中石墨之有無，常有極重要之關係，茲故述其發生之理由。鐵在熔體時，有能溶解多量之碳，硅之性，但一旦凝固，則溶解力減少，故先析出結合力極弱之碳，使成石墨，是以含硅愈多，則碳之游離成石墨者亦多。在翻砂廠以舊鐵供鑄造之時常加多含硅之銑鐵，即此之故。但所宜注意者，倘鐵中含碳極多，則含硅在1%以下亦能使石墨生成；倘含碳不多，則須加多量之硅，始能達到目的。鐵之含錳者，凝固之後，乃能保留溶解多量之碳，故含錳適以阻止石墨之生成。硅，錳之外，極影響於石墨之發生者，乃冷卻之遲速，例取同樣銑鐵，徐冷之則石墨多，急冷之則少，故對於鑄品之有厚薄不同者，厚處可用硅少之銑鐵，薄處則宜

用多含硅者，始能得顆粒同大之鑄品，蓋薄處則冷却較速故也。又有某種銑鐵（含碳約3.56%，含硅約0.7%），急冷之成白銑，徐冷之則成灰銑；所謂冷剛鑄鐵（chilled cast iron）者，應用此理，用鐵製模型，使外部急冷，成白銑，故堅硬，內部為灰銑，故柔韌。

### 灰銑鐵：

灰銑鐵（紫口鐵）乃鐵之含石墨碳而呈灰色者，其含硅量至3.5%，其主要用途，為鑄造與煉鋼原料。

用於鑄造之銑鐵，分為多種等級，價各不同。分級時以斷面鐵粒之粗細及色之濃淡為標準。粒之最粗與灰色之最濃厚者，為第一號銑鐵，此由於多含硅，石墨最為發達，其性柔韌，價值最高。粒之較細與色之微淡者，逐次分為第二，第三，第四等號。分級雖專假目力，其實與鐵中之硅量，約相符合，即含硅之量愈多者為第一號，至二，三號則漸次減少，茲舉英國 Cleveland 地方分級之各種銑鐵之成分於次：

|   | 第一號    | 第二號    | 第三號    | 第四號    | 斑銑鐵    | 白銑鐵    |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|   |        |        |        | 熟鐵原料   |        |        |
| 碳 | 3.20 % | 3.36 % | 3.64 % | 2.80 % | 3.09 % | 3.05 % |
| 硅 | 3.50 % | 2.90 % | 2.59 % | 1.93 % | 1.01 % | 0.67 % |

第四號以下，乃爐况不良時所出，不能供鑄造之用，漢陽鐵廠只分為三級，以下者為白銑。

視察分級，雖無大差，但偶有例外，如有含硅甚多而粒反細色反淡者，故新分級法，以硅與硫之多少定之。

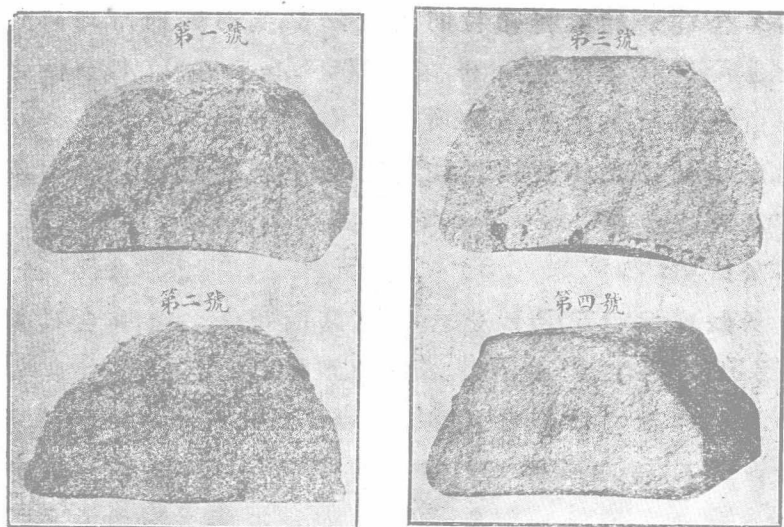


圖 17. 銑鐵之斷面

一九〇四年,美國材料試驗會所定之標準及範圍如下:

|    | 第一號     | 第二號       | 第三號       | 第四號       |           |
|----|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 標準 | 硅       | 2.75 %    | 2.25 %    | 1.75 %    | 1.25 %    |
|    | 硫(容量分析) | 0.035 %   | 0.045 %   | 0.055 %   | 0.065 %   |
|    | 硫(重量分析) | 0.045 %   | 0.055 %   | 0.065 %   | 0.075 %   |
| 範圍 | 硅       | 3.025 %   | 2.455 %   | 1.925 %   | 1.375 %   |
|    | 硫(重量分析) | ~ 2.475 % | ~ 2.025 % | ~ 1.575 % | ~ 1.125 % |
|    |         | 至 0.065 % | 至 0.075 % | 至 0.085 % | 至 0.095 % |

俄國則以含磷量為分級之標標,磷在 0.1 % 以下者為赤鐵礦銑鐵,至 0.7 % 者為普通銑鐵,0.7 % 以上者為含磷銑鐵;又由硅量分為以下四級(錳至 1.0 %,硫必在 0.08 % 以下):

| 零號         | 一號        | 二號        | 三號       |
|------------|-----------|-----------|----------|
| 硅 3.0 % 以上 | 2.4~3.0 % | 1.5~2.4 % | 1.5 % 以下 |

德國無一般採用之標準，僅由各鐵廠自由分級，附以各種類所含硅硫之量，由化學成分為交易之標準。

一號銑鐵之含硅最多，價格較高。由鐵廠言之，欲煉多含硅之鐵，爐溫必高，而爐之產額減少，故煉費較貴。就翻砂廠言之，莫不有廢鐵多量，重供鑄造，此時必加入多含硅之銑，始能得柔韌之鑄品，換言之，新銑鐵之含硅愈多者，則其能伴熔廢鐵之量亦多，故雖付高價，亦可合算。

#### 白銑鐵：

白銑鐵(白口鐵)乃不現石墨者，或因含多量之錳，或因含硅過少(常在0.8%以下)；通常含磷亦少，但用以製煉鹼性轉爐鋼者，則含磷約2%。含硫常多，此因爐底部之溫度不高，故硫多殘留鐵中。用為煉鋼原料者，含錳在2%以上；含錳至1%者，其組織緻密；至1%以上，則結光線狀之晶。

白銑鐵之主要用途，乃供鹼性轉爐煉鋼之原料，所謂託馬斯銑鐵(Thomas pig)者，為德法北部之主要化鐵爐產品之一；其他乃製煉灰銑時爐中發生障礙致溫度低降時所生成者，用途甚少，僅用於煉鋼時之附加品而已。

#### 漢陽鐵廠所出銑鐵之成分如次：

|    | 碳         | 硅         | 錳         | 磷         | 硫           |
|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------|
| 一號 | 3.2~3.5 % | 2.5~3.0 % | 0.5~1.0 % | 0.1~0.2 % | 0.02~0.04 % |
| 二號 | 3.0~3.2 % | 2.0~2.5 % | 0.5~1.0 % | 0.1~0.2 % | 0.02~0.04 % |
| 三號 | 3.0~3.2 % | 1.5~2.0 % | 0.5~0.9 % | 0.1~0.2 % | 0.04~0.05 % |

翻砂廠應隨鑄品之性質，用適當之銑鐵，或將各種加減合混之，此為鑄造業最重要者。

#### 鑄造用生鐵之選擇：

生鐵中之主要成分，爲碳，硅，錳，磷，硫，銅之六元素，其量之多少，極有關係於鑄品之性質。

含碳之量，由3%至4%，其中以石墨碳爲最重要，概言之，石墨愈多，則生鐵愈柔軟，故由總碳量與石墨量之比，可斷其硬軟之度，對於柔軟之機械鑄品，其中石墨應占總碳量之85%，稍硬者可80%，更硬如汽筒鑄品 (casting of steam cylinder) 者，則只宜70%。生鐵中石墨之多少，不僅關係於生鐵之成分，且隨冷却之遲速而異，例如取同樣之生鐵，因用乾砂模或生砂模或鐵模等，其所生石墨之量，彼此懸殊。

硅在生鐵中，可促石墨生成，使生鐵柔軟，而鑄品冷却之遲速，又與其厚薄成正比例，故宜隨鑄品之種類厚薄，定鐵中之硅量：

| 鑄品之厚    | 至 10 耗 | 至 20 耗 | 至 30 耗 | 至 40 耗 | 至 40 耗 以上 |
|---------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| 機械鑄品中之硅 | 2.5 %  | 2.3 %  | 1.9 %  | 1.7 %  | 1.5 %     |
| 汽筒鑄品中之硅 | 1.75 % | 1.6 %  | 1.3 %  | 1.2 %  | 1.1 %     |

汽筒鑄品宜硬而緻密，故較之普通機械鑄品少含硅。

錳可減少鐵中之硫，且有增長抗強之性，但量多則阻止石墨之生成，故在機械鑄品中，錳量以0.8~1.0%爲度，但對於有抵抗酸類之必要者，宜多加錳。

磷極有妨害於生鐵之抗強，尤其使之不能耐彎曲(bending)與衝擊(shock)，對於溫度急變之處，亦不相宜，故在普通鑄品，磷量不可過0.5%以上。但以磷能增長生鐵之流動性，宜含有適當之量，故如鑄造美術品及家用火爐等，常含磷至1%以上。

硫為有害無益之元素，阻礙石墨之生成，使生鐵變硬，且減少流動性及抗張力 (tensile strength)，抗彎力 (bending strength) 及抗擊力 (strength under shock) 等，倘其量在 0.2% 以上，則為害極大。救濟之法，惟用少硫之生鐵與焦炭及多加錳而已 (焦炭中所含硫量之 20~50% 混入鐵中)。

銅亦可忌之元素之一，鐵含銅至 0.1% 以上，則不耐溫度急變，且引起意外之破壞。

以下列舉德國煉鐵大家辛麥巴哈 (Simmerbach) 所主張對於各機械器具之生鐵成分如次：

(1) 鑄造小機件皮帶輪及農具等之軟生鐵

|   |             |    |            |
|---|-------------|----|------------|
| 硅 | 2.25~3.00 % | 硫  | 0.075 % 以下 |
| 錳 | 0.80~1.25 % | 石墨 | 3.250 % 以上 |
| 磷 | 0.50~1.00 % |    |            |

[注] 硅為最重要，必在 2.25 以上，石墨占總碳量之 90%。

(2) 鑄造齒輪小汽筒等之半硬生鐵

|   |             |    |             |
|---|-------------|----|-------------|
| 硅 | 1.50~2.25 % | 硫  | 0.08 % 以下   |
| 錳 | 0.30~0.80 % | 石墨 | 2.25~3.25 % |
| 磷 | 0.50~0.80 % |    |             |

[注] 硅量應隨鑄品之厚薄而增減，石墨占 75~90%，厚者須少含錳，以免收縮。

(3) 鑄造瓣類壓氣機及大鑄品之硬生鐵

|   |             |    |           |
|---|-------------|----|-----------|
| 硅 | 1.30~1.60 % | 硫  | 0.09 % 以下 |
| 錳 | 0.30~0.60 % | 石墨 | 2.25 % 以下 |
| 磷 | 0.30~0.70 % |    |           |

[注] 硅在 1.6 % 以上,其組織稍嫌過於粗鬆,1.3 % 以下,似過於硬,石墨宜在 75~50 % 之間。

(4) 鑄造大汽筒及煤氣機筒等之特殊生鐵

|   |             |   |              |
|---|-------------|---|--------------|
| 硅 | 1.00~1.40 % | 磷 | 0.200~0.35 % |
| 錳 | 0.75~1.00 % | 硫 | 0.075 % 以下   |

[注] 汽筒壁最宜緊密,故硅亦少,磷硫以有害抗強,故亦少。

(5) 鑄造梁 (girder) 及支柱 (strut) 之堅強生鐵

|   |             |     |             |
|---|-------------|-----|-------------|
| 硅 | 1.00~3.00 % | 硫   | 0.09 % 以下   |
| 錳 | 0.50~1.00 % | 總碳量 | 2.25~3.60 % |
| 磷 | 0.15~0.30 % |     |             |

(6) 煤氣管水管之生鐵

|   |             |   |             |
|---|-------------|---|-------------|
| 硅 | 1.50~2.50 % | 硫 | 0.10 % 以下   |
| 錳 | 0.50~1.25 % | 磷 | 0.50~1.50 % |

[注] 硅應隨管之厚薄而異,大約十耗以下 2.30 %,四十耗以上 1.50 %。

(7) 耐火性生鐵如火爐等

|   |             |     |            |
|---|-------------|-----|------------|
| 硅 | 1.00~1.50 % | 硫   | 0.075 % 以下 |
| 錳 | 0.30~0.50 % | 總碳量 | 3.500 % 以下 |
| 磷 | 0.20~0.30 % |     |            |

[注] 此種極須緊密,故石墨不可多,又有組成硅酸鹽磷酸鹽之虞,故硅,錳,磷等宜少。

(8) 耐酸類之生鐵

|   |             |   |             |
|---|-------------|---|-------------|
| 硅 | 1.20~1.40 % | 磷 | 0.40~0.60 % |
| 錳 | 0.40~0.60 % | 硫 | 0.05 % 以下   |

總碳量 3.00~3.50 %

[注] 硫極有害,故宜在 0.05 % 以下,石墨使生鐵成多孔質,  
故硅不宜多,以減少石墨。

(9)耐溫度急變之生鐵如鐵模,熱風鑄,鼓風爐風口等

|   |             |     |             |
|---|-------------|-----|-------------|
| 硅 | 1.60~3.00 % | 硫   | 0.075 % 以下  |
| 錳 | 0.60~1.20 % | 總碳量 | 3.30~4.40 % |
| 磷 | 0.06~0.12 % |     |             |

生鐵配合之計算:

第一例 今有生鐵甲乙二種及鐵屑一種,以 20,30,50 之比配合而熔之,則所得之鑄品之成分如次(但焦炭之硫在 0.1 % 以下):

|        | 碳   |       | 硅     |       | 硫     |       | 磷    |       | 錳     |       |      |
|--------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|------|
|        | 斤   | %     | 斤     | %     | 斤     | %     | 斤    | %     | 斤     | %     |      |
| 甲      | 20  | 0.616 | 3.08  | 0.372 | 1.86  | 0.012 | 0.06 | 0.026 | 0.13  | 0.076 | 0.38 |
| 乙      | 30  | 0.849 | 2.83  | 0.318 | 1.06  | 0.036 | 0.12 | 0.036 | 0.12  | 0.096 | 0.32 |
| 鐵屑     | 50  | 1.450 | 2.90  | 0.760 | 1.52  | 0.040 | 0.08 | 0.210 | 0.42  | 0.150 | 0.30 |
| 合計     | 100 | 2.915 |       | 1.450 |       | 0.088 |      | 0.272 |       | 0.322 |      |
| 熔解中之增減 |     | -10   | 0.145 | +30   | 0.026 |       |      | -10   | 0.032 |       |      |
| 鑄品之成分  |     | 2.915 |       | 1.305 |       | 0.114 |      | 0.272 |       | 0.291 |      |

以上假定碳磷無增減,硅錳各減少 10 %,硫則增加原有量之 30 %。

第二例 凡鑄品之硬軟,主由硅量而定,故多有以硅量為計算標準者,茲假用鐵屑 100 斤,鋼屑 30 斤,問用 Cleveland 之三號銑鐵若干,始得含硅 1.5 % 之生鐵鑄品?



|             |     | 硅    | 硅                                  |
|-------------|-----|------|------------------------------------|
|             |     | %    | 尅                                  |
| 鑄鐵屑         | 100 | 1.52 | 1.52                               |
| 鋼屑          | 30  | 0.12 | 0.036                              |
| Cleveland 銑 | $x$ | 2.59 | $\frac{2.59}{100}x$                |
| 所得鑄品        |     | 1.50 | $(130 + x) \times \frac{1.5}{100}$ |

又假定硅之氧化損失，對於含硅 1.5% 者，損失 10%，對於 0.12% 者，損失 5%，對於 2.5% 以上者，損失 15%，則得下之方程式：

$$.100 + 30 + x) \frac{1.5}{100} = 1.52 \times \frac{90}{100} + 0.036 \times \frac{95}{100} + \frac{2.59}{100}x \times \frac{85}{100}$$

$$\therefore x = 78 \text{ 尅}$$

## 第六節 混銑爐

混銑爐 (mixer) 乃貯藏熔鐵之處，位於化鐵爐與煉鋼爐之間，以俾二者之易於聯絡者也。其容量通常 100~500 噸，但有大至千噸者。

混銑爐之目的：(1) 由同一化鐵爐所出之銑鐵，其化學成分，屢有不同，此極不利於煉鋼工作，但苟將前後所出者同置於混銑爐中而混合之，則可得成分約同之銑，且可使煉鋼家稍有變更銑鐵成分之能力；蓋可由各爐所出銑鐵中自由取捨，又能新加特種材料（由熔銑爐熔之）於混銑爐中，使過不及相平衡，恰適於煉鋼之用。(2) 因混銑爐容量極大，且陸續受新出之高熱銑鐵，故能長久保持熔解狀態，

若十五噸之挹注桶，不數小時即行凝固。(3)因容量極大，故鐵廠或鋼廠發生障礙時，不至彼此連累。(4)熔鐵中稍含硫與錳者，久置於混銑爐中，則化合成硫化錳，浮於熔鐵上。

混銑爐創用於柏塞麥鋼廠，故其構造與轉爐相似，爐之回轉，由水壓機司之。至近年來，平爐煉鋼廠亦採用此爐，其目的除上述者而外，在除却硅、錳、磷之一部分，即於此進行煉鋼作業之初步，故其所用之混銑爐，亦與平爐相似，以預熱之煤氣與空氣為燃料以熱之，惟溫度不可在 $1400^{\circ}$ 以上，蓋恐鐵中碳之氧化也。

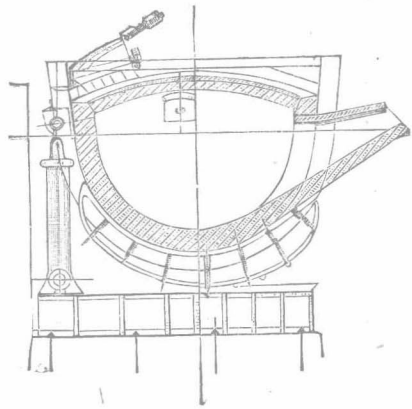


圖 18. 150 噸混銑爐

## 第七節 配料計算法

欲以最少量之焦炭，煉出最多量之銑鐵，對於配料(charge)中各種鐵礦及熔劑之比，宜以精詳之計算決定之。計算之先，擬定所出之鐵渣為一硅酸鹽(Monosilicate, 乃鹽基中之氧對於酸中之氧之比等於一，即  $\frac{O \text{ in acid}}{O \text{ in base}} = 1$ ，此為焦炭化鐵爐中所最常用之渣)，并五種鐵礦及焦炭(為焦炭之 10%)之成分如次(僅取整數)：

|     | 鐵  | 礬土 | 石灰 | 苦土 | 硅 酐 | 硫   |
|-----|----|----|----|----|-----|-----|
|     | %  | %  | %  | %  | %   | %   |
| 甲 礦 | 54 | 7  | 2  | —  | 12  | —   |
| 乙 礦 | 47 | 8  | 1  | 1  | 15  | —   |
| 丙 礦 | 38 | 10 | 2  | 1  | 24  | 1   |
| 丁 礦 | 40 | 9  | 2  | 1  | 20  | —   |
| 戊 礦 | 25 | 4  | 25 | 4  | 6   | —   |
| 鼎 灰 | 12 | 35 | 1  | 1  | 44  | 0.5 |

甲為主要鐵礦,其量可自由增減,茲假定乙,丙,丁,戊四種之比為25:10:15:15(或由產額限制,或由礦質估計),試計算須加若干甲礦,使配料平均含鐵45%? 在已知之四種礦中:

|              | 鐵       | 礬土     | 石灰     | 苦土     | 硅 酐     | 硫      |
|--------------|---------|--------|--------|--------|---------|--------|
|              | 噸       | 噸      | 噸      | 噸      | 噸       | 噸      |
| 乙 礦 25 噸 含   | 11.75   | 2.00   | 0.25   | 0.25   | 3.75    | —      |
| 丙 礦 10 噸 含   | 3.80    | 1.00   | 0.20   | 0.10   | 2.40    | 0.10   |
| 丁 礦 15 噸 含   | 6.00    | 1.35   | 0.30   | 0.15   | 3.00    | —      |
| 戊 礦 15 噸 含   | 3.75    | 0.60   | 3.75   | 0.60   | 0.90    | —      |
| 合計 65 噸 含    | 25.30   | 4.95   | 4.50   | 1.10   | 10.05   | 0.10   |
| 四種混合<br>後之成分 | 38.92 % | 7.61 % | 6.92 % | 1.69 % | 15.46 % | 0.15 % |

假定四種混合礦之量為 $x$ ,甲礦應加之量為 $y$ ,則

$$x + y = 100$$

$$38.92x + 54y = 100 \times 45$$

$$x = 59.5, \quad y = 40.5$$

將65噸換算為59.5噸,則五種礦之噸量如次:

| 甲  | 乙  | 丙  | 丁  | 戊  | 總計  |
|----|----|----|----|----|-----|
| 噸  | 噸  | 噸  | 噸  | 噸  | 噸   |
| 40 | 23 | 10 | 13 | 14 | 100 |

此配合物之成分可如下算出:

|             | 鐵      | 礬土    | 石灰    | 苦土    | 硅酐     | 硫     |
|-------------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|
|             | 噸      | 噸     | 噸     | 噸     | 噸      | 噸     |
| 在甲礦40噸中含    | 21.60  | 2.80  | 0.80  | -     | 4.80   |       |
| 乙礦23噸中含     | 10.80  | 1.84  | 0.23  | 0.23  | 3.45   |       |
| 丙礦10噸中含     | 3.80   | 1.00  | 0.20  | 0.10  | 2.40   | 0.10  |
| 丁礦13噸中含     | 5.20   | 1.17  | 0.26  | 0.13  | 2.60   |       |
| 戊礦14噸中含     | 3.50   | 0.56  | 3.50  | 0.56  | 0.84   |       |
| 合計100噸故其成分即 | 44.90% | 7.37% | 4.99% | 1.02% | 14.09% | 0.10% |

欲得銑鐵100噸,需煉鐵礦222.2噸 ( $100 : 45 = x : 100$ ,

$\therefore x = 222.2$ ),此中所含之鐵及其他物質之量如次:

|                         | 鐵     | 礬土    | 石灰    | 苦土    | 硅酐    | 硫    |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------|
|                         | 噸     | 噸     | 噸     | 噸     | 噸     | 噸    |
|                         | 99.77 | 16.40 | 11.09 | 2.26  | 31.30 | 0.22 |
| 魚190噸之灰含 (煉鐵百噸假定需魚160噸) | 2.28  | 6.65  | 0.19  | 0.19  | 3.36  | 0.95 |
| 故全體成渣物質之量等於             | 23.05 | 11.28 | 2.45  | 39.66 | 1.17  |      |

一硅酸鹽礦渣之化學式為:



故與成渣物質中之鹽基類相化合之硅酐可由原子量算出:

$$2\text{Al}_2\text{O}_3 : 3\text{SiO}_2 = 205.6 : 180 = 23.05 : x \quad \therefore x = 20.18$$

$$2\text{CaO} : \text{SiO}_2 = 112 : 60 = 11.28 : y \quad \therefore y = 6.04$$

$$2\text{MgO} : \text{SiO}_2 = 80 : 60 = 2.45 : z \quad \therefore z = 1.83$$

故  $x + y + z = 28.05$  噸，尚殘餘  $39.66 - 28.05 = 11.61$  噸之硅酐，須另加相當量之石灰，使與此殘留之硅酐化合成渣。

$$2\text{CaO} : \text{SiO}_2 = 112 : 60 = x' : 11.61, \quad \therefore x' = 21.7$$

此即宜加入之石灰之噸數，換算成石灰石則為 38.7 噸，因石灰石中只含石灰 56%。

硫與石灰相作用，變為  $\text{CaS}$ ，對於此所需要之石灰如下：

$$\text{S} : \text{CaO} = 32 : 56 = 1.17 : y', \quad \therefore y' = 2.05$$

此乃所需之石灰，換成石灰石為 3.65 噸。與上數合計為  $38.7 + 3.65 = 42.35$  噸。實際上宜加石灰石 44.58 噸（因石灰石中約只含 95% 之  $\text{CaCO}_3$ ）。但此數乃對於鐵礦 222 噸所需要者，對於鐵礦百噸，約需石灰石 20 噸。故全體配料如次：

| 甲  | 乙  | 丙  | 丁  | 戊  | 熔劑 | 燃料 |
|----|----|----|----|----|----|----|
| 40 | 23 | 10 | 13 | 14 | 20 | 86 |

硅酐必有一部分還原入銑鐵中，故為精密起見，可由成渣物質之硅酐中，減出相當之量。磷之多少，未在計算中，倘五種礦中有多含磷者，則其配合之量，自宜減少，或將他種少含磷之礦加多。

## 第三章 熟鐵熟鋼及滲碳鋼製煉法

### 第一節 概 言

熟鐵(wrought iron) 熟鋼(wrought steel)製煉時,其溫度在鐵之熔點以下,未達流動狀態,故鐵粒間含有鐵渣。鐵渣者乃製煉時所生之硅酸鐵,其量由0.2%至2%。此鐵渣之存在,為熟鐵熟鋼之特色。

熟鐵之性柔韌,熱至高溫而急冷之,硬度無加。熟鋼之性堅韌,加熱而急冷之,則硬度大加,是曰可淬性。可淬性之有無,即熟鋼與熟鐵之分歧點,而其原因則主由於含碳之多少。熟鐵含碳至微,熟鋼則含碳至0.5%以上。

熟鐵又稱煉鐵,或鍛鐵,古時用途極廣,為鐵中最重要之物;至近數十年來,軟鋼發明,價廉而適用,故熟鐵應用之範圍漸小,僅對於特殊目的,如易於腐蝕之處,或須鍛煉成形及有鍛接之必要者,仍用熟鐵。熟鋼則自古以來專供製造刀劍之用。

熟鐵與熟鋼,雖性質與用途各異,其成分之差違,只限於碳之多少,故製煉方法與原料,初無少異。故茲專述熟鐵之煉法,稍旁及熟鋼而已。

製煉熟鐵之法大別為二,即直接法與間接法(direct and indirect process)是也。

直接法者,乃由鐵礦直接煉成熟鐵者之謂。其法以極純之細粉鐵礦與木炭同裝入爐中,送鼓風而加熱之,則礦

中之鐵質還原，而聚於爐底。因爐內溫度極低，鐵中不至吸收多量之碳，故所得者為熟鐵熟鋼。此法在十九世紀初期，亦頗盛行，煉礦家多方設計，煞費苦心，然鐵之採收率 (extraction percentage) 太低，燃料之消耗過巨，終不能與新法抗衡，僅成爲歷史的方法矣，茲不具論。

間接法者，先由鐵礦製成銑鐵，而後以氧化作用除却鐵中之碳，俾成熟鐵熟鋼。因所用之燃料不同，煉法可分爲二：一爲木炭熟鐵製煉法，一爲攪煉法。以下分節論之。

## 第二節 木炭熟鐵製煉法

此法用低小之火灶，藉木炭之力，使銑鐵熔解而氧化之。木炭爲價頗昂，工作又極費手數，故難得廉價之熟鐵；但以木炭乃良質燃料，而每次所煉之量無多，能特別加意於工作，故可得良質之熟鐵，彼世界著名之瑞典鐵 (Sweden iron)，即由此法所製煉者。

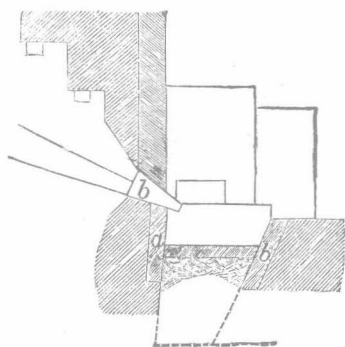


圖19. 斷面圖

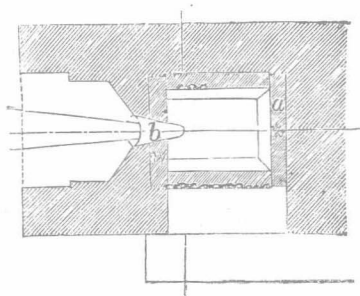


圖20. 平面圖

圖 19 及圖 20, 乃奧國之 Steyermark 所用之火灶, 周圍以鐵板  $a$  圍之,  $b$  爲送風口, 灶深約七英寸, 橫直均約二英尺。工作之先, 鋪木炭粉於底上, 再覆以富於氧化鐵之鐵渣, 捶之使成灶底。工作時, 先裝木炭, 燃之, 上置銑鐵, 再加木炭及鐵渣等。所用銑鐵乃板狀大塊, 置於爐之中央, 或風口之前。爐內溫度加高, 鐵漸熔解, 如雨點滴下。下滴時, 受空氣之氧化, 及達爐底, 又受鐵渣之氧化, 故硅, 錳, 磷等得以除去, 而聚於灶底者, 乃少含此等元素之鐵, 即所謂熟鐵者是。倘於氧化未完了時而中止之, 則鐵中尙存留適量之磷, 故所得者爲熟鋼。

以上所云, 苟非銑鐵之含磷, 硅, 錳極少者, 僅一次熔融氧化, 鮮能達到目的。故對於普通銑鐵, 常二三次反覆施行, 彼有名之瑞典鐵, 乃二次所煉者。

用此法時, 每回裝白銑鐵三百三十磅, 約可得熟鐵二百五十磅, 對於每鐵一噸須用木炭二噸二分, 每日可出熟鐵七噸。

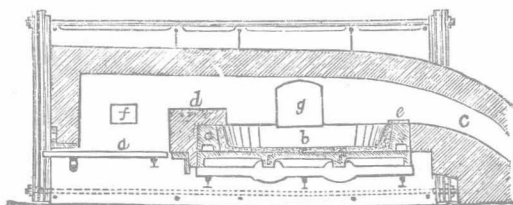
### 第三節 攪煉法

前法所用燃料限於木炭, 但以木炭之供給有限, 而熟鐵之需要日加, 法窮則變, 於是有改用煙煤之攪煉法 (puddle process) 出焉。此爲英人所發明, 用反射爐, 以防煙煤影響於鐵之害, 規模宏大, 工作迅速, 故出產多而價較廉, 今日世界所用熟鐵之大部分, 乃由此法所製煉者。

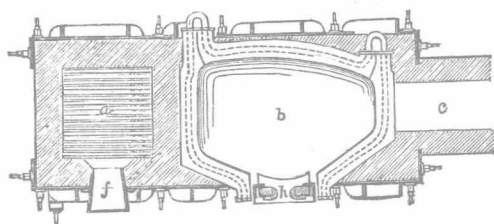
圖 21 乃常用之攪煉爐 (puddle furnace)。爐之外廓, 圍以



生鐵板，另以熟鐵桿緊繫之。爐之內壁，全用火磚砌成之。爐頂亦用火磚，暴於空中。爐底由三塊生鐵板組成，乘於鐵框上。圖中 *a* 為火室 (fire place or fire grate)，乃多數熟鐵條拼合而成。 *b* 為爐窪 (hearth)，乃煉鐵之所，長六英尺，



斷立面圖



斷平面圖

圖 21. 攪煉爐

寬五英尺。爐底之生鐵板上，鋪多含氧化鐵之鐵渣而緊垂之，復加熱而半熔解之，使成凹形。火室之大，幾與爐窪等，因所需之溫度甚高故也。 *d* 為火橋 (fire bridge)，由火磚砌成，內通水管以冷卻之，又有用口字鑄鐵，使空氣流通其中，以行冷卻者。 *f* 為火門。 *g* 為工作門 (working door)。 *c* 為煙道，由此引至鍋爐，利用其所有之餘熱，發生蒸汽，而後由煙筒排出。

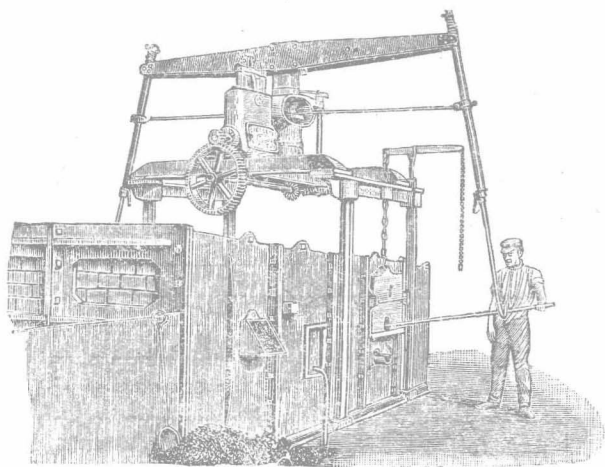


圖 22. 機械的攪煉爐

工程之遲速，極關係於銑鐵之性質。苟以白銑為原料，則工程甚迅速；倘用灰銑，因此間所含雜質甚多，頗費手數。故在英國，先將灰銑置於燒焦炭之火窟中，以熔解之，使硅錳氧化，變為白銑，而後再用攪煉法煉成熟鐵。

作業之法，先將爐十分加熱，始置銑鐵於爐窟中，其上再加鐵渣鐵屑等約 20~50%。熱至三四十分鐘，銑鐵熔解，受鐵渣及火焰之氧化作用，碳、硅、錳、磷等漸次氧化，碳變為一氧化碳，故呈沸騰現象。鐵渣肆其氧化作用之後，變為低級之氧化鐵如  $\text{FeO}$ ，此已失其氧化力，但一與火焰接觸，復變為高級之氧化鐵如  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ， $\text{Fe}_3\text{O}_4$ 。作業時，工人常以鈎桿由小穴插入爐中，向前後左右輪次攪拌之，俾銑與鐵渣混合，且常與火焰相接觸。氧化漸次進行，及碳已失其

大部分鐵乃變為難熔性，終成半流動體之熟鐵塊，而後挾出爐外，用蒸汽鎚或軋機 (steam hammer or roll) 打壓之，以除鐵粒間之鐵渣，即得熟鐵。

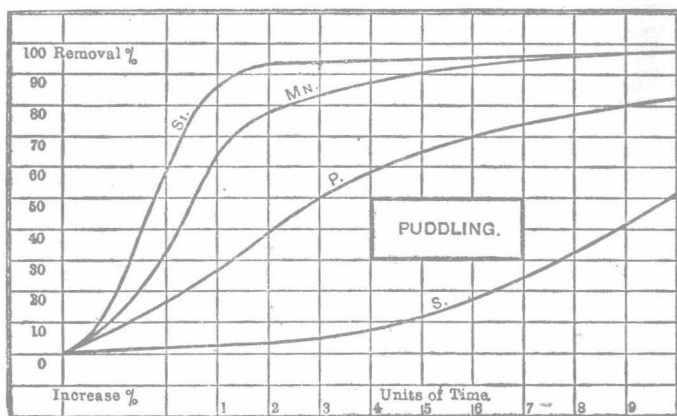


圖 23. 攪煉爐中各元素之變化

圖 23 示鐵中各元素除却之遲速。橫坐標示單位時間數，縱坐標示除却之量，以百分率表之。由此觀之，可知各元素之易於除却者，硅為最，錳次之，磷硫又次之。

由此所得之鐵渣，約含鐵百分之五十，可加入化鐵爐，為煉銑之原料。所產熟鐵，復置於軟化爐 (annealing furnace) 焙之，而後用軋機製成熟鐵板或熟鐵條。

此外有各種改良之法，或改變爐形，特備銑鐵預熱之設備；或用機械攪拌，或用回轉爐，以省人力攪拌之勞；或將爐幅加寬，俾兩側俱能工作，以增加出產量。但以熟鐵之應用範圍，多為軟鋼所侵削，故此等改良建議未克盛行於世。

### 第四節 滲碳煉鋼法

將性純而碳少之熟鐵，斷空氣之流通，與木炭密接而久烙之，則鐵多吸碳而成鋼。此曰滲碳鋼(cement steel)。

滲碳鋼與攪煉爐及平爐等直接所煉之鋼比較，手數極煩，費用亦大，但以性極純良，故能供製煉最良鋼鐵之原料。

滲碳之法，以熟鐵置於火磚箱中，充填滲碳材料，斷絕空氣流通，由外部間接加熱之。箱之長 275~305 吋，高 80~120 吋，寬 80~100 吋。常二箱合為一組，並置爐中，每箱容量八噸至十四噸。

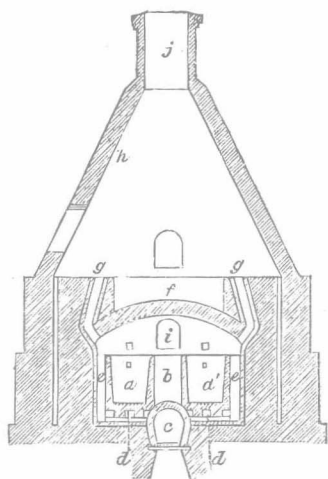


圖 24. 滲碳爐(斷立面圖)

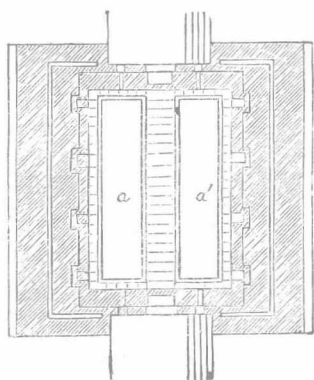


圖 25. 斷平面圖

爐底設火室，長與滲碳箱等。由此分多數火焰道，使烙及於箱下及箱之周壁至箱上合為一處。燃料或用煙煤，

或用發生爐煤氣 (producer gas), 在於美國則多用天然燃氣。

圖 24 及圖 25 示滲碳爐之切面及平面。  $a, a'$  爲二滲碳箱, 兩箱之間有煤氣上昇之路  $b$ 。  $c$  爲火室, 長與爐等, 可由兩側裝煤。 焰之一部, 直接由  $b$  路上昇, 一部則由箱下之焰道  $d$ , 經過箱側之焰道  $e$ , 再行上昇。 倘箱之一部分過熱, 則將該部分之焰道  $e$  封閉, 以阻塞火焰之由此通行, 務求全箱之熱度均一。

兩箱之上, 設有穹形蓋  $f$ 。 蓋上多設配置均勻之煙道  $g$ , 由此通爐蓋  $h$  及煙筒  $j$ 。  $i$  爲裝入鐵料之孔。

原料之熟鐵桿厚 10~20 耗, 寬 50~100 耗, 長則較箱之內側少短, 蓋爲熱時膨脹留餘地也。

給碳劑常用堅質之木炭, 曾使用一次者, 給碳力必減, 故宜新舊雜用, 新炭約占全量之三分二, 已使用二次者不可再用。

箱底鋪以細砂及燒黏土之粉末, 以備箱底生裂罅時之自動的填充。 此粉末上始鋪炭層, 厚約六十耗, 其上乃置熟鐵。 鐵上又鋪炭層, 如此逐層積上。 至達箱頂下約百耗之處, 乃裝炭二層, 又以磚粒充填之, 一防外氣之侵入, 一使內部發生之氣體易於逃散。 又於箱上部設有小孔, 俾得抽出鐵桿, 以檢查滲碳之程度。

裝入完竣之後, 將各孔閉塞, 始由火室生火, 約一日半, 即達赤熱。 所要之日數, 固關係於滲碳之程度, 及材料之大小厚薄, 通常約八九日。 此間常拔出試驗桿, 以檢其滲碳

之程度。倘已達到目的，乃行熄火，塞火焰之道及火室諸孔，使爐漸漸冷卻，及達赤熱以下，再開放各孔道，放入冷氣。自熄火至取去滲碳鋼，約須六七日，自作業始至終約十六七日。

茲將滲碳之程度列下：

| 生火後之日數 | 滲入之深淺  | 含碳量    |
|--------|--------|--------|
| 七日     | 半耗     | 0.65 % |
| 八日     | 一耗     | 0.94 % |
| 九日     | 二耗     | 0.95 % |
| 十日     | 二耗六    | 1.10 % |
| 十一日半   | 三耗     | 1.20 % |
| 十三日半   | 全體約略均勻 | 1.20 % |

作業時雖勉求各部分滲碳量之均勻，然以箱之各部之熱度不均，而與木炭相接觸之厚薄又不一，故滲碳鋼各部之含碳量，不免略有等差。

在英國視含碳量之多少，分為七級，類別貯藏，以供坩堝煉鋼之原料。最熟煉之工人，能以肉眼檢鋼之破面，決定其中之含碳量，至萬分之二，不致錯誤，鋼鐵製煉，誠經驗之技術歟！

滲碳有只行於表面者，此將目的物置於鑄鐵箱，被以木炭，骨炭及黃血鹽等而密閉之，熱至  $950^{\circ} \sim 1000^{\circ} \text{C}$ ，約 3~8 小時，即取出投於水中。滲碳之深，約八分之一英寸，含碳量約百分之一。如軟鋼表面，施以滲碳法，則成硬鋼，可耐摩擦，富於光澤，且耐衝擊。兵船之鐵甲板，原質多為含鉻，

鍍之軟鋼，故常用此法，使表面變成硬鋼，其法於二鐵板之間，夾以木炭而熱之，則與炭接觸之面變成硬鋼，而反面則仍為軟鋼。

## 第四章 坩埚煉鋼法

### 第一節 概言

由坩埚法(crucible process)所煉之鋼，曰坩埚鋼，又常稱鑄鋼(cast steel)。此法發明於西曆一千七百四十年，曾極盛一時；至前世紀中葉，各種廉價之煉鋼法發明，坩埚鋼之應用範圍，不免稍為縮小，然其在煉鋼法中之獨樹一幟，仍如故也。

坩埚法初發明時，乃以成分確定性質純良之熟鋼及滲碳鋼，裝入坩埚，密閉而熔解之，以驅除夾雜鐵渣，且使鋼質一樣均勻。熔解時不與空氣相接觸，無多化學變化，故所產之鋼，與裝入者具同樣之性質。

其後以如此原料之供給有限，價值過高，研究之結果，乃知配合各種鐵類，俾其各成分間互相作用，以過補不足，而得吾人所豫定之鋼。然坩埚法之特性，在能得成分一定不易之製品，如用滲碳鋼為原料，先預定此中之含碳量，即為所製出之坩埚鋼之含碳量，苟使坩埚內行各種化學作用，則吾人所望之一定不易之成分，殊難達到，此非坩埚法之本來目的矣。

### 第二節 原料

坩埚法以製煉最貴重之鋼為目的，故所用原料，務求純良，少含有害之夾雜物者。上等原料為熟鋼及滲碳鋼，對



於製煉極貴重之鋼，必以此二者為原料。但普通常用熟鐵或精煉之馬丁鋼，而以瑞典鐵，除磷鐵 (washed iron) 等為配合材料。

熟鐵含碳極微，故以此為原料時，必配合多含碳之原料以補足之。瑞典白銑及除磷鐵，乃補足原料之常用者。

瑞典白銑乃用最純之磁鐵礦，以木炭為燃料所製煉者，故含磷硫等極微，為歐洲最常用之補足原料。

除磷鐵：德國克魯伯公司用盤形之旋轉爐，行鐵之除磷作用。其法先裝入鐵礦塊於爐中，加熱之後，乃注入熔融銑鐵，使爐旋轉。爐底原係傾斜，故旋轉時銑鐵常新與鐵礦相接觸，使鐵中之磷，硅，錳等氧化，混入鐵渣。將此鐵渣攪去之後，再加石灰石，以驅除磷硫之殘部。而後停止旋轉，將除磷鐵放出。

#### 特殊配料：

由坩堝法製煉合金鋼時，及以引起化學作用為目的時，有加入特種配合原料之必要，此統稱為特殊配料，茲擇其最常用者概言之。

(1) 氧化錳：錳在坩堝中還原，與鋼組成合金，此增加鋼鐵之鍛鍊性，且鑄造時減少氣體之發生，又用為脫氧劑。但對於多含碳之鋼，倘錳量過多，脆性大加，故錳量以不過千分之二為限，所加氧化錳之量，宜在裝入鋼量之百分五以內。錳鐵與氧化錳同用。

(2) 硅鐵：硅能驅除熔鋼中之氣體，俾成堅實之鑄造物，但此可仰給於坩堝壁還原之硅。故須製煉多硅之鋼，

始用硅鐵。由鼓風爐所煉之硅鐵，含硅過少（在17%以下），不適用於坩埚法，常用者為電爐所煉，含硅多在50%以上，且夾雜質較少。

(3) 硅錳鐵：作用與(1)(2)略同，其最重要之用途，在脫除鋼中之氧。此亦有鼓風爐所煉者與電爐所煉者二種，以電爐所煉者，多含硅錳，較適於用。

茲舉電爐所煉之硅鐵，硅錳鐵等之成分於次：

|   | 硅鐵      | 硅錳鐵     | 錳鐵      |
|---|---------|---------|---------|
| 硅 | 75.67 % | 24.70 % | 1.54 %  |
| 碳 | 0.31 %  | 0.30 %  | 6.97 %  |
| 錳 | 0.26 %  | 74.20 % | 78.45 % |
| 磷 | 0.01 %  | 0.02 %  | 0.34 %  |
| 硫 | 0.04 %  | 0.01 %  | -       |
| 鋁 | -       | -       | -       |

(4) 鎢鐵：鎢大有增加鋼之硬度及抗張力之性。故欲製煉鋼之富於韌性及硬度，抗張力俱大者，宜減碳而加鎢鐵，對於高速度鋼亦然。鎢鐵乃電爐製煉者，常含鎢75~85%。

(5) 鉻鐵及鉬鐵：此等性質用途與鎢鐵略同，亦皆由電爐製煉者。茲舉其成分之例如次：

|   | 鎢鐵      | 鉻鐵      | 鉬鐵      | 鎢(金屬體)     | 鉬(金屬體)  |
|---|---------|---------|---------|------------|---------|
| 鎢 | 85.47 % | -       | -       | 98.63 %    | -       |
| 鉻 | -       | 66.70 % | -       | 0.59 % (鐵) | -       |
| 鉬 | -       | -       | 52.30 % | -          | 93.58 % |

|   |        |        |        |        |        |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| 碳 | 0.35 % | 8.75 % | 1.87 % | 0.12 % | 4.40 % |
| 硅 | 0.13 % | 0.71 % | 0.17 % | 0.32 % | 0.31 % |
| 錳 | 0.09 % | 0.42 % | -      | -      | -      |
| 磷 | 0.02 % | 0.02 % | 0.03 % | -      | -      |
| 硫 | 0.03 % | 0.02 % | 0.03 % | -      | -      |
| 鋁 | -      | 0.08 % | -      | 0.21 % | -      |

以上各合金鐵,常以各金屬代用之。

### 第三節 坩 埚

熔鋼常用之坩埚,分爲二種。以耐火黏土爲主要成分者,曰黏土坩埚 (clay crucible)。黏土之外,配合石墨者,曰石墨坩埚(graphite crucible)。

坩埚宜具備之條件:(1)能耐最高之熱度;(2)雖熱度急變,而不致破損,或生裂罅;(3)與鎔鋼接觸時,不發生化學作用,縱有,亦當在已知之範圍內;(4)由爐內挾出,不致破壞。

黏土坩埚因製造原料上之關係,爲價較廉,但加入石墨,則近以上條件。試列舉配合石墨之效果:(1)黏土雖爲難熔性,但與鎔鋼相接,亦難長久保持,倘加石墨,則可妨黏土之熔解;(2)石墨能妨鎔鋼之氧化,及黏土與熔鋼之化學作用;(3)石墨之傳熱性大,故鋼鐵易於熔解,且能保熱;(4)能耐熱度之急變,且坩埚內壁平滑,不致使熔鋼附着;(5)可妨外部煤氣之透入。

坩埚原料,爲石墨,生黏土,燒黏土(chamotte)三種,亦有夾

用焦炭粉及舊坩埚粉者。

石墨以鱗狀石墨為佳，含碳宜在80%以上（苟夾雜物為礬土，硅酐等，則70%以上者亦適用），磷硫宜少。印度錫蘭所產，為世界最佳者，含碳81.16%，磷硫極少（SO<sub>2</sub>, 0.098%；P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 0.041%）。

黏土之良否，非僅化驗成分所能決定，宜製成坩埚，實行試火。生黏土之收縮性大，故預行焙燒之。燒黏土可妨坩埚之龜裂，且增加其安定性，故坩埚原料，以此為主要成分，僅用生黏土以資黏着而已。

茲舉良質黏土之成分於次，以資參考：

|   | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO  | MgO  | FeO  | K    | 結合水   |
|---|------------------|--------------------------------|------|------|------|------|-------|
| 1 | 63.30            | 23.30                          | 0.73 | —    | 1.80 | —    | 7.10  |
| 2 | 48.04            | 34.47                          | 0.66 | 0.45 | 3.51 | 1.94 | 11.15 |
| 3 | 48.08            | 36.89                          | 0.55 | 微量   | 2.26 | 1.88 | 10.87 |

坩埚配合之成分，關係於黏土與石墨之性質，僅能由經驗得之，茲舉數例於次：

|      | 1    | 2    | 3    | 4    |
|------|------|------|------|------|
| 石墨   | 44 % | 41 % | 41 % | 50 % |
| 生黏土  | 12 % | 30 % | 23 % | 25 % |
| 燒黏土  | 44 % | 23 % | 30 % | —    |
| 舊坩埚粉 | —    | —    | —    | 25 % |
| 焦炭粉  | —    | 6 %  | 6 %  | —    |

將各原料配就，反覆混合，務求均勻，而後貯藏之至一月以上，此貯藏最為重要，否則配合物中含有空氣，材料之調

和又不完全,常有爆裂之患。

造形分手工與機械二種。圖 26 乃手工造形所用之模型。*a* 爲坩堝之外型, *b* 爲內型。 *d* 爲插鐵棒之孔, 以便將

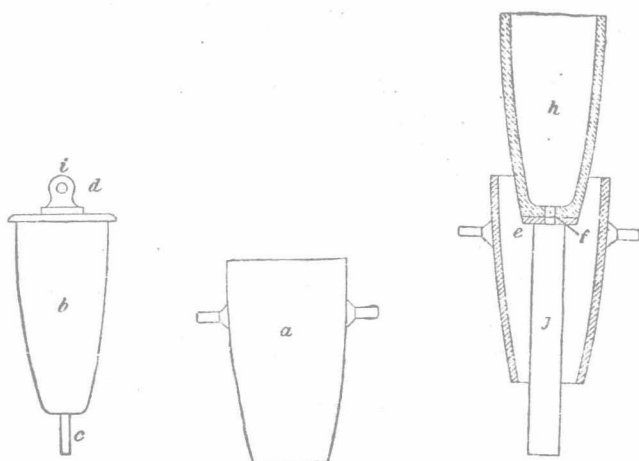


圖 26. 坩堝模型

內型回轉拔出。 *e* 爲鐵底板。 *f* 爲插入 *c* 之孔, 使內型回轉時不至偏斜。 *h* 爲造成之坩堝, 由 *j* 推出。

造法, 將底板置外型中, 內面塗油, 始加入原料, 將內型回轉壓入, 用木鎚強擊之, 至成豫定形狀, 然後拔出而徐烘之。此外有手力及機械力之推壓機多種, 用於大工廠者, 茲從略。坩堝之大小, 常以號碼示之, 如五十號坩堝, 乃能熔鋼至五十斤者。

#### 第四節 坩堝爐

煉鋼所用之坩埚爐，當初僅用焦炭，其後漸改用煤氣，今日之大煉鋼廠，以用煤氣爐者為多，二者各有利害，試列舉如次：

(1) 焦炭爐之熱能率甚低，且須用價昂之焦炭，煤氣爐則可用劣等煙煤，而能率較高，例如每煉鋼一噸，約需焦炭三噸，用煙煤不過二噸，故經費相差極大。

(2) 焦炭爐每爐只能容坩埚十二個，煤氣爐則可裝容百餘。

(3) 連續作業者，以煤氣爐為便，乍作乍息者，以焦炭爐為佳。

(4) 焦炭爐以坩埚數少，故比較的熱度均勻，煤氣爐則不免有彼此高低之別，故煤氣爐適用於大工廠，焦炭爐適用於小鑄品。

(5) 煤氣爐所需建設經費，遠過於焦炭爐。

焦炭爐與常用之風爐無異。爐下設平置火橋，爐上為坩埚出入口，且使燃料裝入，設鐵蓋以司開閉。爐四壁為火磚所築，後壁通煙巷，燃燒生成氣由此引入煙筒。常數爐為一系列，中壁二爐共通。爐之裝入口，與工廠地表面同高，爐全部設於地中。火橋之下，設灰穴，灰穴之前，設共通隧道，燃燒所需之空氣，由此送入。

圖28示煤氣爐之一。A為熔煉室，室下設孔 $d$ ，以供排除爐底之用，但熔煉時以碎磚塞之。爐之兩側，設煤氣及空氣之蓄熱室 $g, l$ 及 $g_1, l_1$ （俗稱熱風爐）， $l, l_1$ 為空氣蓄熱室，宜較煤氣蓄熱室 $g, g_1$ 大十分之二。蓄熱室由火磚砌

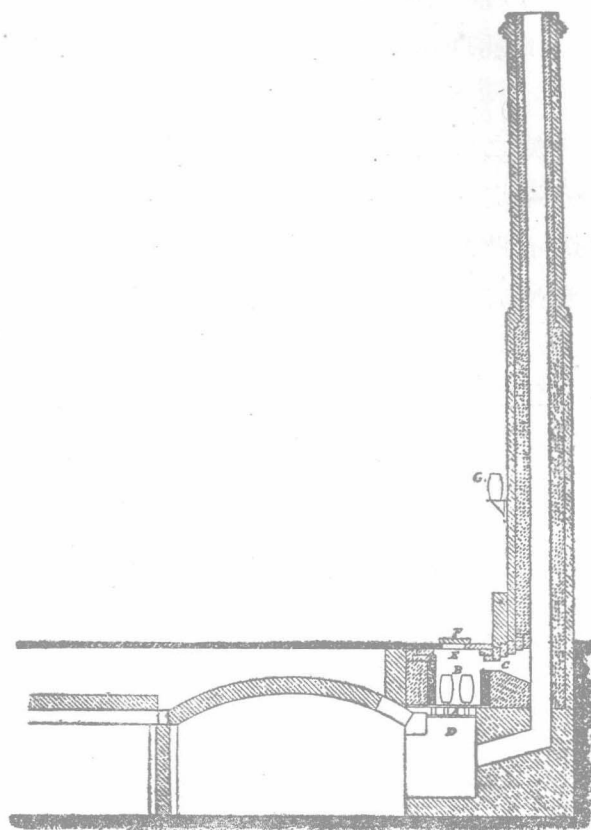


圖 27. 焦炭爐

A 火橋    B 坩堝室或熔煉室    C 煙巷    D 灰穴    E 坩堝出入口  
 F 鐵蓋    G 烘坩堝處

成,其內容之半,以硅磚砌成格子形。由  $l$  上昇之空氣,與由  $g$  上昇之煤氣相合而燃,經  $a$  入熔煉室  $A$ ,其燃燒生成氣 (combustion product) 由  $l_1, g_1$  逸出,傳其熱於  $l_1, g_1$  之格子形火

磚,俟  $l_1, g_1$  已熱,乃更換其方向,使空氣與煤氣由  $l_1, g_1$  上昇,燃燒之後,由  $l, g$  逸出。

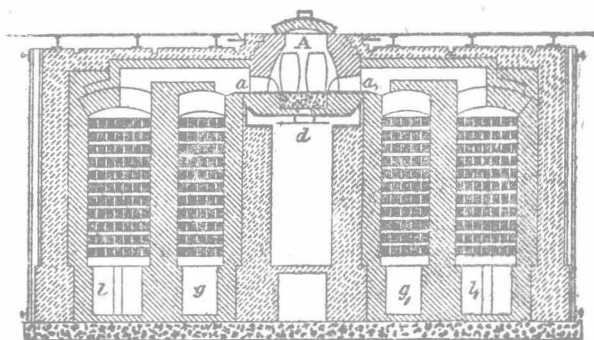


圖 28. 煤氣爐

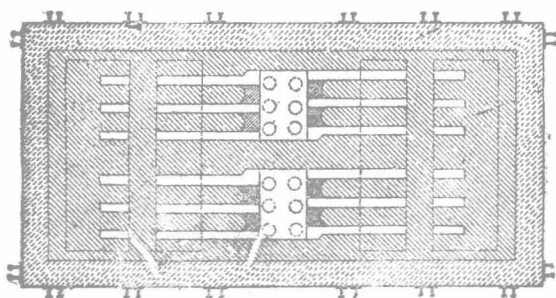


圖 29. 煤氣爐平面圖

## 第五節 煉鋼工作法

首將配料算出秤定,裝入坩埚。其裝入配料之順序,視坩埚與爐之種類,而微有不同。(1)用黏土坩埚之焦炭爐,



宜先將坩堝置於爐中，及達赤熱點，乃由爐底檢查坩堝內部之有無龜裂及其他毛病，然後裝入配料。(2)用石墨坩堝之焦炭爐，可與(1)同法，但亦可逕裝配料於已烘乾之坩堝中，然後置之爐內，加入焦炭，兼行預熱作用。(3)用煤氣爐，則先將配料裝入，另由預熱爐將坩堝預熱之，至赤熱以上，始移置於煉鋼爐中。

裝就之後，乃行熔煉。在焦炭爐，須先加木炭，俟火熾乃加焦炭，至達坩堝蓋以上，及焦炭燃燒，漸次下降，在未降至坩堝中部時，須追加焦炭，蓋恐坩堝冷卻，已熔者或再凝結也。又加焦之先，須以鐵棒輕擊之，使其不致架空。

熱度加高，乃漸次熔解，約二三小時，全部成熔體，稍帶青色，其表面澄靜，恰如鏡面，此曰熔解期 (melting stage)。及熱度再加，熔鋼中所含之氣體，及鋼中氧化物還原所生之氣體，由熔鋼中逸出，其勢猛烈，呈沸騰現象，此曰沸騰期 (boiling stage)。苟於此時鑄造，則所成之鑄品，布滿空隙，不適於用。維持沸騰期之熱度稍久，再復於澄靜，表面布滿浮漂物質，熔鋼呈淡薄性，且易於流動，此曰成熟期 (finishing stage)。熔煉時常插入鐵棒，檢查棒上所附着之鐵渣，即可察知鋼之成熟與否。在熔解沸騰期中，附於鐵棒之渣，色黑而硬，此多含氧化鐵之故；及沸騰將了，渣色漸淡，破面多細空隙，又夾鐵粒；及成熟期，渣之色淡，而破面緻密。其流動性之良否，亦可由插入鐵棒時之抵抗感覺知之。

及達成熟期後，仍維持高熱約二三十分鐘之久，俾細微之氣體鐵渣等易於脫離，庶幾鋼質均勻，毫無瑕疵，此為坩

坩法之特長，最宜注意者。

坩埚中所含之空氣，與鐵化合，成氧化鐵，又配料屢含鐵渣，且其表面必有微量之氧化鐵存在。在熔解時，此等氧化鐵，組成多含鐵質之渣，其後受鋼中所含之碳之作用，鐵乃還原，碳則變為二氧化碳，由鋼中逸出。同時坩埚壁所含黏土之一小部分熔解，致渣量增加，而鐵分減少，終失其氧化力。坩埚壁失其黏土分，致石墨孤立，此與高熱之鎔鋼接觸，被鋼吸收，以補足鋼中之碳，至其量之多少，全係於坩埚所含石墨之成分。錳之侵蝕力最大，能使硅還原，為熔鋼吸收，而由硅孤立之石墨亦然，故配料苟多含錳，則增加鋼中之硅與碳，普通宜在 0.2 % 以下。倘欲得多錳之鋼，當於鑄造稍前加之，俾無作用餘地。磷，硫，銅全部為鋼吸收。鉻，鎢，鉬，鎳皆易成鐵渣，而以與氧並存及以金屬體配合時為尤甚，故欲消失量減少，必先將氧驅除，且用鎢鐵，鉻鐵等為配料。

## 第六節 坩 埚 鋼 之 特 色 及 種 類

各種鋼鐵之中，以坩埚鋼為最貴，然仍為世人所重用者，實由於原料之純粹與製煉法之精良。如馬丁鋼柏塞麥鋼之製煉法，皆直接與氧及氧化性氣體相接觸，故氧化物常混入鋼中，雖有錳，硅，鋁等之脫氧劑，不能使氧全部脫離。若坩埚鋼，則完全不與外氣相觸，坩埚內雖含有少許之氧及氧化鐵，能自動的脫離，故鋼質純良，非他種所能及。

坩埚鋼之種類極多，大別為二，曰碳鋼，曰合金鋼。碳鋼

之供工具及刀刃用者,普通分爲六種,各附號碼,以表其硬度及鋼質。茲示其例如次:

| 號碼 | 硬度 | 含碳     | 用途                     |
|----|----|--------|------------------------|
| 1  | 最硬 | 1.50 % | 對於硬鐵材所用之鉋刀車刀           |
| 2  | 硬  | 1.35 % | 普通車剝床所用之車鉋刀及機械鑽等       |
| 3  | 半硬 | 1.20 % | 大車鉋床用車鉋刀,鑽,鏟子等         |
| 4  | 半軟 | 1.00 % | 手動鑽,鏟子,發條,礦山鑿岩鑽(用於堅石)等 |
| 5  | 軟  | 0.85 % | 礦山鑿岩鑽等                 |
| 6  | 極軟 | 0.75 % | 錘,壓花鋼模等                |

高速鋼以鎢鉻爲主要成分,亦有配合鉬鈮者。

|     | 碳    | 硅               | 錳              | 鉻               | 鎢      | 鉬       | 鉍 | 鈮      |        |
|-----|------|-----------------|----------------|-----------------|--------|---------|---|--------|--------|
| 高速鋼 | 英國貨  | 0.45 %          | 0.17 %         | 0.02 %          | 3.22 % | 18.32 % | - | -      | 0.76 % |
|     | 奧國貨  | 0.60 %          | 0.10 %         | 0.11 %          | 4.15 % | 18.20 % | - | 2.30 % | 0.45 % |
| 硅鋼  | 發條鋼  | 0.5~<br>0.6 %   | 0.6~<br>0.7 %  | 0.8~<br>1.0 %   | -      | -       | - | -      | -      |
|     | 發電機板 | 0.0~<br>0.1 %   | 2.0~<br>4.0 %  | 0.1 %           | -      | -       | - | -      | -      |
| 锰鋼  | 鐵路用  | 0.95~<br>1.15 % | 0.2~<br>0.41 % | 10.0~<br>13.0 % | -      | -       | - | -      | -      |
|     | 炭酸瓶  | 0.25~<br>0.3 %  | 0.1~<br>0.15 % | 1.4~<br>1.45 %  | -      | -       | - | -      | -      |

|        |       |        |        |       |        |       |        |   |   |
|--------|-------|--------|--------|-------|--------|-------|--------|---|---|
| 鉻 鋼    | 車用發條鋼 | 0.2~   | 0.2 %  | 0.3 % | 1.5 %  | -     | -      | - | - |
|        |       | 0.4 %  |        |       |        |       |        |   |   |
|        | 鋼球    | 0.95~  | 0.25%  | 0.2 % | 1.3~   | -     | -      | - | - |
| 1.05 % |       |        |        | 1.5 % |        |       |        |   |   |
|        | 徹甲彈   | 0.8~   | 0.25 % | 1.0 % | 0.5 %  | -     | -      | - | - |
|        |       | 0.9 %  |        |       |        |       |        |   |   |
| 鎢 鋼    | 小銃銃身  | 0.6~   | -      | -     | -      | 1.0~  | -      | - | - |
|        |       | 0.7 %  |        |       |        | 3.0 % |        |   |   |
|        | 磁石鋼   | 0.6~   | -      | -     | -      | 5.0~  | -      | - | - |
|        |       | 0.65 % |        |       |        | 6.0 % |        |   |   |
| 鉻 鎳 鋼  | 鐵甲板   | 0.25~  | -      | -     | 0.5~   | -     | 1.5~   | - | - |
|        |       | 0.45 % |        |       | 0.75 % |       | 3.0 %  |   |   |
|        | 腳踏車鋼  | 0.25~  | -      | -     | 0.25~  | -     | 2.5~   | - | - |
|        |       | 0.45 % |        |       | 0.5 %  |       | 2.75 % |   |   |

## 第五章 柏塞麥煉鋼法

### 第一節 概言

柏塞麥法 (Bessemer process) 之原理, 即將高壓之空氣吹入熔鐵中, 將鐵中所含之碳, 硅等氧化燃燒而除却之, 所得者曰柏塞麥鋼。碳, 硅等燃燒之際, 發熱頗多, 無須特加燃料。

此乃西曆一八五五年英人亨利柏塞麥 (Sir Henry Bessemer) 氏所發明, 實煉鐵歷史上之一大革命。當時煉鋼方法, 僅坩堝法與攪煉法二者, 燃料之消耗極大, 而每次之出產無多, 如攪煉法每日祇能出鋼三噸, 而此新發明之柏塞麥法, 乃能不用燃料, 於二十分鐘之間, 立能煉鋼數噸, 今日則能於十分鐘間煉鋼十五噸, 其燃料費與工價之節省, 可勝計耶!

柏塞麥氏初用之爐 (converter, 譯為迴轉爐), 其內壁悉用酸性耐火材料, 故一名酸性法。用此法時, 若不能除原料中之磷, 苟銑鐵中含磷多者, 則所煉之鋼, 含磷亦多; 但鋼中含磷至千分一以上, 屢呈脆性, 故用於柏塞麥法之銑鐵, 含磷必在千分一以下, 始能煉出純良之鋼, 故自柏塞麥法發明以來, 英, 德各國競由外地購入少磷之礦, 以製煉含磷千分一以下之銑。然此種鐵礦, 頗不易得; 即有之, 為價亦高, 不得不苦心研究脫磷之法, 遂於西曆一八七八年, 英人托馬斯氏 (C. Thomas) 發明鹽基性法, 改用焙燒之白雲岩,

爲迴轉爐之內壁，煉鋼時復加石灰少許，如酸性法行之，則銑中之磷可完全除却，此曰鹽基性法，或托馬斯法。

在柏塞麥法，不論其爲酸性或鹽基性，皆無須特加燃料，僅利用銑鐵所含元素之氧化時所發生之熱，則熱度之高低，關係於所含元素之量，故供原料之銑鐵之成分，自不能不有所限制。在酸性法，鐵中之硅，乃重要燃料，其量至少宜在0.6%以上，有至2.5%者，錳則由0.5%至2.0%，磷不得過0.1%，凡能適應此目的者，曰柏塞麥銑鐵 (Bessemer pig iron)。在鹽基性法，含磷宜自1.8%至3.5%，硅至0.5%，錳1~2%，凡適此者曰托馬斯銑鐵 (Thomas pig iron)。茲表示其標準成分之例。

|           | 碳       | 硅       | 硫      | 磷       | 錳       |
|-----------|---------|---------|--------|---------|---------|
| 迴轉爐用 (酸性) | 3.2~40% | 2.0~2.5 | 0.05以下 | 0.05以下  | 0.5~1.0 |
| 鹽基性       | 3.2~40% | 1.0以下   | 0.05以下 | 2.5~3.5 | 2.00    |

## 第二節 迴轉爐及附屬設備

迴轉爐乃形似墨水瓶之直爐，外殼由鐵板釘成，內敷厚層之耐火材料，曰內壁 (lining)。爐中部具粗厚之鐵環，環之左右，附以二軸，支於受軸台，得自由向前後迴轉。一軸爲中空管，其一端與風管相連，他端則由彎管接爐底之風箱，故高壓鼓風經過風管，中空軸，彎管而入風箱，更由此經過爐底，風口逕入爐中。

全爐由三部而成，曰頭部，腹部，底部，各以螺絲釘相連結，俾得隨時分離，蓋底部最易被侵蝕，常有更換之必要。

底部具多數風口,其對徑約六耗十耗,或逕設於爐底,或用風口磚,如圖所示。風口之總面積,對於銑鐵一十進噸,約須 0.0036 平方呎。

迴轉爐常有前後迴轉之必要,故必具迴轉裝置。此設齒輪於軸端,由水壓機及齒板之聯動以迴轉之。

迴轉爐之作用,全基因於送入之高壓空氣(特稱鼓風或高壓鼓風),且所須之量甚大,對於銑鐵一十進噸,約須三百

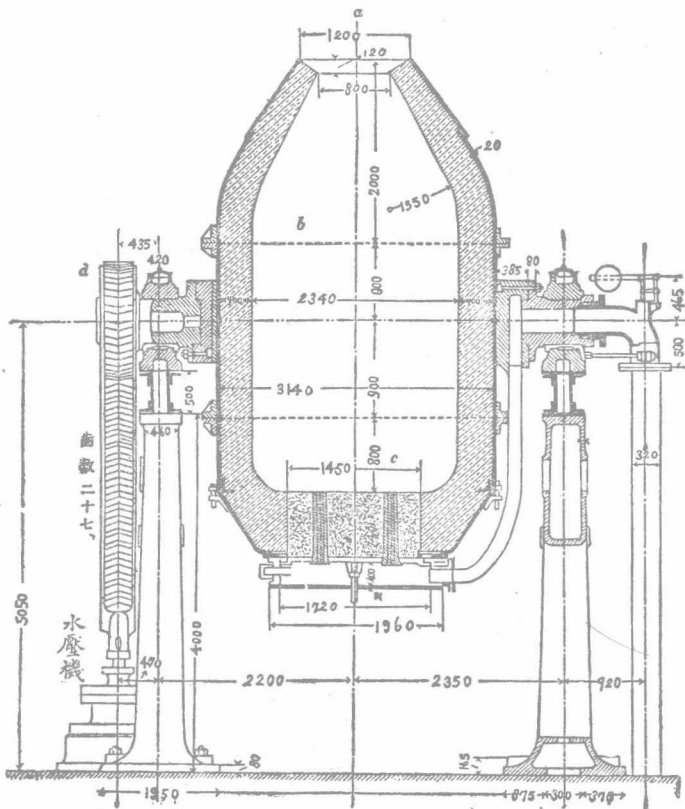


圖 30. 迴轉爐

立方呎之空氣。鼓風機之常用者，為臥式雙筒鼓風機。鼓風之壓力(常稱風壓)，關係於爐之大小，及銑鐵之深淺，約在1.4~2.5氣壓之間。

煉鋼時常有加入熔融鏡鐵或錳鐵之必要，故必於迴轉爐附近，附設鏡鐵爐，此即常用之熔銑爐(俗名冲天爐)。

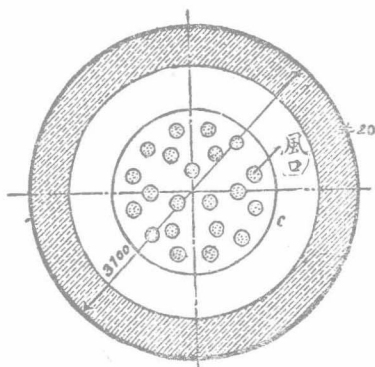


圖 31. 迴轉爐平面圖

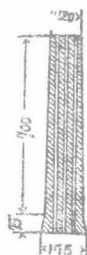


圖 32. 風口磚

### 第三節 酸性煉鋼法

#### 1. 迴轉爐內壁及底部之築法及其材料

內壁之材料，為硅石質之耐火物，加少許粘土及適量之水完全混和，置於轉爐外殼中而搗築之。築法：先將底部取開，將頭腹部橫倒，以鐵板封塞爐口，插內型於其中，如下圖所示。而後將內壁材料，置於內型與外殼間之空隙中，而築緊之。內型為楔形之分片配合而成，以便內壁完成後易於取去，其形為外殼之相似體。

內壁築成後，使爐口向上，復於初位，而後將爐底合上，由



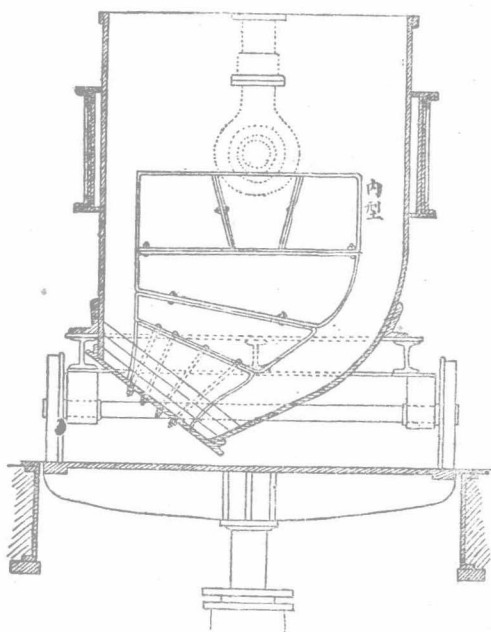


圖 33. 迴轉爐 內型

爐口加上燃料,使十分烘乾。

底部再細分爲二:曰爐底,曰底壁。 爐底位於中央,風口插入於此。風口間之隙,以硅石質之耐火物築填之。 底壁位於底部之周圍,由硅石質耐火物築成,或用硅磚砌上。風口磚之製法,與普通火磚無異,惟粘土須揀最優良者用之。 風口板爲生鐵所製,具圓孔由十二至二十個,爲鑲入風口之用。

爐底製法:先將風口磚鑲入風口板中,復置鐵板圓框於風口板之周圍,而後加入耐火物於鐵框與風口磚間之空隙中,而搗築之。 爐底爲迴轉爐中最易破損之部分,故搗

築及烘烤時極宜注意。

內壁之壽命，關係於材料之成分，鋼之性質，風壓及吹煉作業(blowing)之速度，平均可煉六百至八百回。

酸性法之內壁材料中最佳者為英國所產之加尼斯特岩(Ganister 乃硅岩之一種)。其成分三種如次。

|    | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MnO   | CaO   | MgO   | alkali | H <sub>2</sub> O |
|----|------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|--------|------------------|
| 1. | 92.05%           | 2.70%                          | 1.85% | 0.60% | 0.20% | 0.20%  | 2.00%            |
| 2. | 94.60            | 1.40                           | 0.90  | 0.48  | 0.16  | 0.14   | 2.60             |
| 3. | 95.20            | 3.59                           | 0.74  | 0.40  | 0.16  | 0.18   | 2.70             |

倘難得如上之硅岩，則可將普通硅岩或硅磚壓細，加入六七成之耐火砂，及少量粘土及水而捏合之，亦可供築內壁之用。

內壁固常為鐵渣等所侵蝕，然亦有因鐵渣堆積，致爐內容積縮小者。欲防此堆積物之生成，可於熔煉中加石灰少許，以變換鐵渣之成分，及增加其流動性；或用多硅之熔鐵，以增高爐內溫度及鐵渣流動性；亦有多裝入銑鐵，迅速吹煉，以除却此堆積物者；倘以上方法，俱不能達到目的，則可加入焦炭於堆積部分以熔解之。

內壁被侵蝕時，則將加尼斯特或其他硅石耐火物，與黏土捏合，由爐口投入侵蝕處，以鐵棒捶緊。

## 2. 化學的變化

爐內作用可分為三期：(1),成渣期；(2),沸騰期；(3),成熟期。

在第一期，錳，硅之大部分氧化，與同時氧化之鐵相結合，

成硅酸錳鐵渣。碳之一小部分變為二氧化碳而去。在此期之初，由爐口吐出薄青之火燄，及熱度愈高，漸變黃色，約五六分鐘後，硅之大部分氧化，爐溫上昇，鐵之流動性增加，至此碳始盛行作用，此為第二期之始。

在第二期，硅、錳仍繼續氧化，碳之大部分，多變為一氧化碳而去，二氧化碳之量頓減。此期中熔鐵大起激動，如沸騰然。爐口噴出大火燄及鐵渣、鐵粒等，爐熱上昇，鐵之流動性大加，此等現象，皆由碳變為一氧化碳，由爐口逸去所致。

在第三期，猶有殘餘少量之硅，碳被氧化，而少許之鐵亦然，及其將終，火燄漸短，終至消滅，此為脫碳作用 (decarburation) 完成之證，吹煉作業亦於是告終。

爐中化學變化之狀況，關係於熱度及內壁材料。

在熱度不甚高時，硅、錳先碳而氧化，及熱度加高，氧對於碳之親和力，較之對於硅、錳者頓加，故碳之大部分氧化之後，硅、錳尚

殘留鐵中。磷在迴轉爐熱度，非俟碳之大部分除却後，決不氧化。

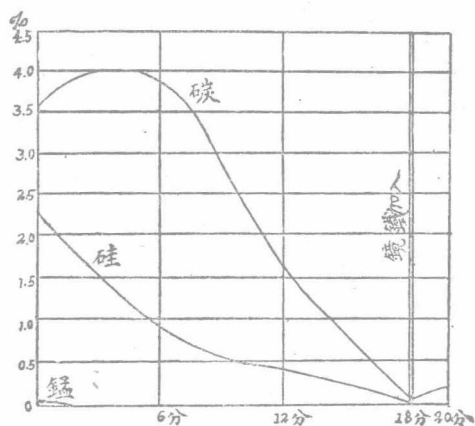


圖 34.

例一 低熱多硅少錳之銑鐵

|   | 銑鐵成分 % | 開始後六分鐘 | 開始後十二分鐘 | 開始後十八分鐘 | 開始後加入銑鐵二十分鐘 |
|---|--------|--------|---------|---------|-------------|
| 碳 | 3.57   | 3.94   | 1.64    | 0.19    | 0.37        |
| 硅 | 2.26   | 0.95   | 0.47    | —       | —           |
| 錳 | 0.04   | 微量     | 同       | 同       | 0.54        |
| 硫 | 0.107  | 0.098  | 0.098   | 0.090   | 0.090       |
| 磷 | 0.073  | 0.070  | 0.070   | 0.070   | 0.056       |

參照表與曲線圖可知鐵中成分之變化。熔煉開始後六分鐘內，僅硅、錳氧化減少，碳反增加(其實并非增加，因硅、錳及鐵之一部氧化成渣，故銑鐵之全量減少)。六分鐘後，爐溫大高，故碳頓行減少。磷、硫幾無變化，僅磷於加銑鐵後稍為減少。

3. 熱之發生

鋼之熔點較銑鐵高 200 ~ 300° C。故熔煉作業中，欲變銑為鋼，且保其流動性，勢必使爐溫高至 300° C 以上。前已言之，此必需之熱量，不仰給於燃料，僅賴銑鐵中成分氧化時所發之熱。茲將銑鐵之主要成分氧化時所生熱度比較如下。

|   |               |         |
|---|---------------|---------|
| 鐵 | 1% 氧化時熱之上昇度數  | 28° C.  |
| 錳 | %    ,,    ,, | 46° C.  |
| 碳 | %    ,,    ,, | 6° C.   |
| 硅 | %    ,,    ,, | 190° C. |
| 磷 | %    ,,    ,, | 120° C. |

故酸性法以硅為重要之燃料，鹽基性法則以磷為重要之燃料。

熱度之上昇，除化學成分之外，關係於裝入銑量之多少及吹煉作業之遲速。量多而速者，熱之消失較少，故熱度容易昇。作業之遲速，又關係於風量之多少，故宜適應銑鐵之成分，加減風量，以調節爐熱；例如硅多者，可少送鼓風，使作用遲緩，對於硅少者，則宜多送風量，迅速進行。

對於硅少磷多之銑（如鹽基性法所用者），尤貴迅速，蓋在迴轉爐中，須俟碳幾全部氧化之後，磷始氧化，而碳之減少，適當此之熔點增高，苟不迅速進行以防熱之放散，則得低熱之鋼。

#### 4. 熔煉終期之脫氧與加碳

熔煉時，高壓空氣通過熔鐵中，且甚激動之，故鐵常吸收多量之氧；及碳量減少，吸氧之力愈大。

鐵中所吸之氧，與鐵化合而成一氧化鐵，使鐵呈熱脆性（hot short），故必將氧化鐵分解，使氧脫離。脫氧（deoxidation）之法，以加錳為最常用，亦有加硅及少量之鋁者。

實際上鐵能吸氧之量，不過 0.25%。對於此所必需之錳為 0.86%，倘氧未及 0.25%，則錳自可減少，但常加過剩之量，一以促進還原作用，一以欲少由硫所起之熱脆性。

脫氧所用之錳，為錳鐵或鏡鐵，此二者所加愈多，則熔鐵中之含碳量亦愈多，故欲製煉少含碳之軟鋼，惟有用多含錳之錳鐵，倘於製煉含碳較多之硬鋼時，有先須完全脫碳之必要者，則少含錳之鏡鐵亦可並用。

倘由已脫碳之熔鋼，不多加錳鐵，而欲煉成多含碳之硬鋼，則須於加錳脫氧之後，再加適量之粒狀無煙煤等。此曰「達維」加碳法(Darvy carburizing process)，通行於各鐵廠。所加之碳，有採用石墨及焦炭者，又有以石灰乳混和無煙煤粉，做成煤磚，以供用者，要以不含硫磺為妙。

### 5. 工作法

於爐內完全烘乾之後，將爐體倒懸，排出炭灰，而後置之於水平位置，將挹注桶(ladle)運來之熔鐵，注入爐內，徐徐送風，俟已達充分的風壓，始將爐體直立，開始熔煉作業。

初期爐熱不高，故噴出之火燄，淡薄而光弱，僅帶黃色，此時碳尙未盛行氧化，燃燒者乃硅、錳二元素，火燄中含氮及少量之氧，由熔銑中頻發囂聲，且噴出花火。未幾碳乃燃燒，火燄帶青白色，成光耀之圓錐形，少頃，煤氣之發生，漸形急烈，火燄長大，呈白色光，初期中之囂聲，幾如雷響（因發生一氧化碳之故），鐵渣、鐵粒與煤氣同時噴出，火燄之末端，見有褐色之煙。鐵中之碳愈減，則煙量愈多，終至全蔽火燄之尖端，而爐內之響聲乃漸小。此期外觀與初期相似，惟火燄有褐色煙而無花火，足以判明。

老練之技術家，僅憑火燄之外觀，約可判定脫碳之程度，但用驗景器(spectroscope)視之，則結果更為精確，因火燄所映於驗景器之景(spectrum)，恆有一定之模樣故也。

計已達預定之脫碳程度，乃更取試料而確定之。其法：將爐體橫置，停止送風，以預熱之鐵棒，由爐口插入熔鐵中，隨即取去，將附着於棒尖之鐵渣(含有鐵粒)投入水中冷之，

檢查鐵渣破面之色，可略知脫碳之程度，如含碳不多，則渣中鐵量增加，故色黑而質粗，否則呈藍色（因錳）。再將渣中所含之鐵粒檢出，用鐵鎚打平，苟易於展開，而周圍無裂疵者，乃碳少之證，碳多者必生裂疵。

及決其已達預定之脫碳程度，乃加入鏡鐵或錳鐵，硅鐵等，靜置二三分鐘，俟完全混合，乃注入鑄鍋。隨檢查爐底之狀況，倘風口之有宜更換者，則更換之。

鐵之損失 (blowing loss)，關係於銑鐵及產品之成分與吹煉之方法。例如銑之多含碳，硅，錳，磷者，與吹煉時間之長者，則損失必多。概言之，約損失裝入量之 12%，有多至 16% 者。

產品 (products) 為柏塞麥鋼與鋼渣二者。柏塞麥鋼原擬代坩堝鋼之用，然不能達到目的，如工具鋼之須硬度高而少脆性者，柏塞麥鋼終非其選。柏塞麥鋼用途最多者，乃含碳 0.1% 至 0.35% 前後，即極軟鋼與半硬鋼之間，如鋼軌之類，乃柏塞麥鋼之最大用途。鋼渣成分為： $\text{SiO}_2$  45~60%， $\text{MnO}$  10~45%， $\text{FeO}$  35~50%；此外含有少量之  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ， $\text{MgO}$ ， $\text{CaO}$  等。渣中之含錳極多者，可再由化鐵爐收回之。

## 第四節 鹽基性煉鋼法

### 1. 爐內壁及底部之築法及其材料

鹽基性法或托馬斯法 (basic process or Thomas process) 爐內壁所用之材料，為鹽基性耐火物。常用者乃焙燒之白

雲岩，或單稱苦灰（白雲岩乃鎂、鈣之碳酸物，焙燒之，則二氧化碳逸去，所餘者為苦土  $MgO$  與石灰  $CaO$  之混合體，故名苦灰）。苦灰無黏性，故常加煤焦油 (coal tar) 以捏合之。

作內壁時，可用此煤焦油苦灰，搗築於爐之外殼與內型之空隙間，一如酸性法所述，但亦可將煤焦油苦灰用壓榨機製成苦灰磚，直接砌成內壁，徐徐烤之，俾互相密接。

爐底可如酸性法之插風口於風口板孔中，其周圍以煤焦油苦灰築之。但常用之法，乃直接由爐底鑿孔，俾成風口，無須特用風口磚之必要。其法於風口板中，插入與風口同數之鐵針，外以鐵框圍之，而後用煤焦油苦灰築緊，將鐵針取去，送入燒窯，始徐徐烤之，繼乃高其熱度，使煤焦油苦灰完全固結。苦灰之吸水性極大，宜特別注意。

爐底厚約 400 ~ 500 耗，風口之數及徑之大小，各廠不同。

底壁與酸性法全同，僅用煤焦油苦灰以代硅石而已。

內壁材料之白雲岩，不可含硅酐在 2% 以上，茲舉其可為標準者之成分如下：

|     | $SiO_2$ | $FeO$<br>$+Al_2O_3$ | $CaO$   | $MgO$   | $CO_2$  |
|-----|---------|---------------------|---------|---------|---------|
| 白雲岩 | 1.16 %  | 1.14 %              | 31.42 % | 20.00 % | 46.20 % |
| 苦灰  | 1.40 %  | 3.15 %              | 57.80 % | 37.38 % | -       |

將苦灰壓成三四分大之粒，加入無水煤焦油，完全捏合。煤焦油宜於沸騰後尚未冷卻時用之，其量以能使苦灰築緊為限。苦灰之吸水風化性極大，貯藏時不可稍忽，但實際上雖十分注意，難期完全不受風化作用，故決不可多事貯藏。



## 2. 化學的變化

鹽基性迴轉爐中之化學的變化狀況，與酸性法略同，僅鐵之脫硅較多，與脫磷作用盛行，乃特異於酸性法者。

在酸性法時，以火燄消滅為作業終了期，但鹽基性法則尚有暫時繼續吹煉之必要，此曰追煉 (after blow)，蓋脫碳之前，磷之氧化者極少，故必於脫碳後繼續送風，使磷氧化，與前加入之石灰化合，成磷酸石灰，組織鐵渣。

鹽基性內壁之目的，不在供給鐵渣中之鹽基 (base)，而在於石灰後，使易成鹽基性渣，且長久維持鹽基性，故理論上，內壁材料，不至加入化學變化，但實際上難免不稍被剝削。故追煉時所加之石灰，一以促進鹽基性鐵渣之生成，一以減少內壁之剝削。石灰加入量之多少，固關係於銑鐵之成分，大抵在 12% ~ 18% 之間，對於多磷之鐵，則多加石灰，固無論矣。

各元素之化學變化之情形，隨各成分之多寡及熔銑熱度之高低而異，可由下示之程式圖明之。

圖 35，磷少而硅稍多之例：如圖所示，碳、硅之作用頗速，錳極徐緩，磷則於追煉後始行氧化。此種少磷

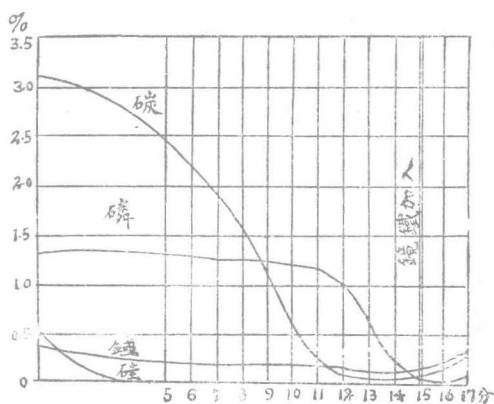


圖 35。

之銑鐵，實際上鮮有用者。

圖 36，乃磷多硅少而熔銑之熱度極高之例：此因熱度極高，故碳之氧化頗速，參照圖中碳線之急轉直下可知。

又因含硅極少，故磷亦幾與碳同時氧化，惟至追煉後則較速耳。

在酸性法時，因加入錳鐵或鏡鐵之故，屢致硅由渣中還原，在鹽基性法則無此作用。

圖 37，磷、硅與上

例同，僅錳稍低之例：變化亦略與上同，惟追煉後脫磷之情形更明顯。

### 3. 托馬斯銑鐵

用於托馬斯鹽基性法之銑鐵，含硅約 0.5%，決不可過 1.0% 以上，硫在鹽基性爐，雖可除却一部分，然其量不定，故

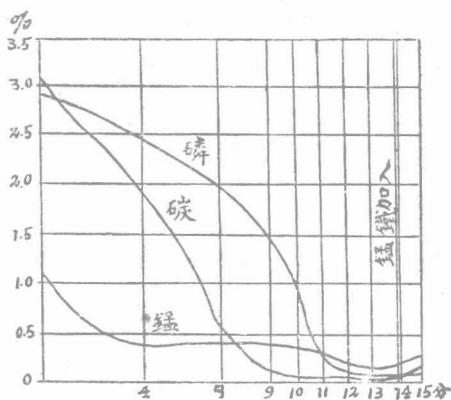


圖 36。

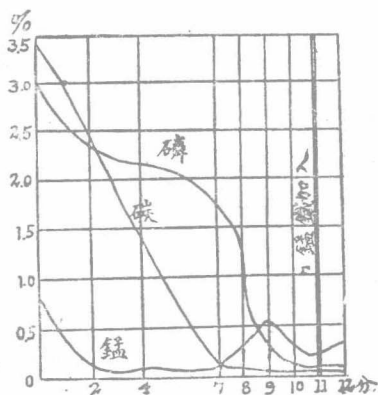


圖 37。

以少含硫者爲安全。磷爲鹽基性法之必要成分，其量以2.5~3.0%爲最適，過此以下，則恐爐溫不足，但含硅若多，磷可稍減。最適於托馬斯法之原料，特稱托馬斯銑鐵。

倘銑鐵中含有適量之磷，則由此所出之鐵渣，可成一種重要之肥料。渣之含磷酐( $P_2O_5$ )在14%以上者可供此用。

#### 4. 工作法

先裝入石灰12~18%，而後將鎔鐵注入爐中，徐徐送風；俟已達充分的風壓，始將爐體直立，開始熔煉。

由爐口噴出之火燄，其始光耀異常，且呈黃色（因含有石灰細粒之故，倘石灰中稍含錳，則帶赤色，含鋇則帶綠色）。其他情形，與性酸法無異，惟於脫碳——即火燄消滅——後，必行追煉，此爲酸性與鹽基性二法不同之要點。

追煉時間之長短，關係於鎔鐵之性質，及產品之種類，須實際考驗，始能決定，但大概在四五分鐘上下。

計已達預定之脫磷程度，於加錳之前，先行脫磷試驗。其法將迴轉爐轉至水平位置，由爐口以鐵杓汲出鎔鐵少許，鑄成小鐵塊，用鐵鎚打平，至厚約五六耗，而後置於水中冷却之，摺成二重，倘磷已脫盡，摺時不至破裂，縱稍有裂痕，檢其斷口，必呈細粒之組織，此試驗所要之時間，不過二三分鐘，爐內有鐵渣覆被，可無冷却之虞。及決其脫磷已盡，乃將鐵渣流出，加入錳鐵或鏡鐵，其量與酸性法同。其將鐵渣放出者，因恐錳鐵與鐵渣作用，使磷還原，再入鐵中故也。

倘上述之試驗片猶帶脆性，其斷口呈粗粒組織，可知脫

磷尙未完全，宜繼續吹煉。

鐵之損失，平均 13~17 %。

鹽基性法所煉之鋼，與酸性法者無大異，惟就工作上言之，尤適於製煉極柔韌之鋼，今日多用之於鐵線鐵板等。

鐵渣爲有用之肥料，前已言之，於用爲肥料之外，亦有復裝入化鐵爐補礦中含磷之不足者。茲舉渣之成分於下：

| SiO <sub>2</sub> | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · FeO | MnO   | CaO  | MgO   | Ca   | S    |      |
|------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|-------|------|-------|------|------|------|
| 7.73 %           | 21.90                         | 3.72                           | 1.00                                 | 4.73  | 2.05 | 50.76 | 4.00 | 0.84 | 0.67 |
| 5.37 %           | 20.96                         | 2.71                           | 4.65                                 | 14.11 | 3.84 | 40.64 | 2.43 | 0.69 | 0.55 |

### 第五節 小柏塞麥法

小柏塞麥法(baby Bessemer process)用小迴轉爐(baby converter)，僅能容鐵 0.8~2 噸。爐之內壁，用酸性耐火材料，專供製造鋼鑄物之用。

爐之形狀不一，茲示常用者二例如下。

#### 1. 羅伯小迴轉爐

羅伯小迴轉爐 (Robert baby converter) 之特色，風口在鎔鐵表面下約四呎之處，排成一列，互爲放射形，使熔鐵爲風力所吹，取旋轉運動。送風壓力，約每平方英尺四磅。

#### 2. 托拉別納斯小迴轉爐

托拉別納斯小迴轉爐 (Tropenas baby converter) 如第 38 及第 39 圖所示，爐之下部，如圓錐形，風口成上下二列，由下列所出之鼓風，使鐵中碳燃燒，所成之一氧化碳與上列所出之鼓風相遇，復完全燃燒，俾爐內溫度，得以十分加高。

作業法與普通柏塞麥法無大異；先將原料熔於熔銑爐，而後由長溝流入迴轉爐之內。爐之旋轉，由手動裝置行之。作業中常變動爐之位置，使鼓風能各處吹到，俟脫碳已達適當程度，加入錳鐵，與常法同。

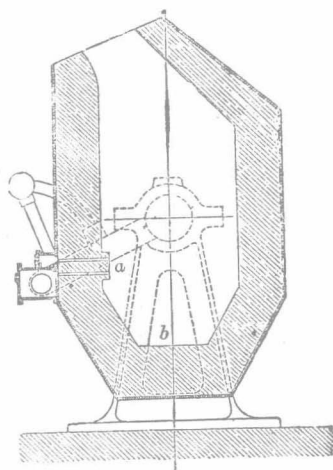


圖 38. 托拉別納斯小迴轉爐(側斷面)

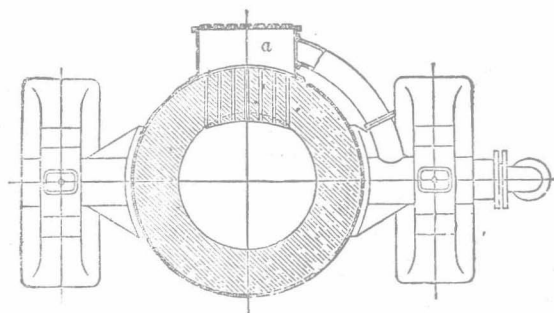


圖 39. 托拉別納斯小迴轉爐(平面)

。小爐之利益：(1)能得高溫度之鋼，故可貯蓄數次之量，不至溫度大降，故每次所出之量雖少，積之則可得大鑄品。

(2), 對於鑄造小形之鋼鑄品, 尤為適當, 蓋用坩堝法, 則焦炭及坩堝之消耗過多, 如用馬丁法, 則須大規模之資本, 且有繼續作業之必要。(3), 由側面送風, 鐵鋼之表面穩靜, 故鐵之氧化者少, 因減少加錳脫氧之必要。

其不利之點: 內壁頻須修繕, 頗不經濟, 且作業時須有十分經驗。但利多弊少, 故頗行於世。

## 第六節 熱量計算法

### 1. 酸性法

假定裝入銑鐵量 30,000 磅

|          |           |             |
|----------|-----------|-------------|
| 又可燃元素之量: | 硅 = 1.0 % | 全量 = 300 磅  |
|          | 錳 = 0.4 % | 全量 = 120 磅  |
|          | 碳 = 3.5 % | 全量 = 1050 磅 |
|          | 鐵 = 2.0 % | 全量 = 600 磅  |

爐內平均溫度 = 1500°C.

空氣之比熱 = 0.268 磅卡路里 (lb.-cal.)

鎔鐵之比熱 = 0.2 磅卡路里

送入空氣之溫度 = 0°C.

則各元素燃燒後, 鎔鐵上昇之溫度, 可依法算去。

硅 300 磅燃燒 ( $\text{Si} + \text{O}_2 = \text{SiO}_2$ ) 時所發之熱..... 1,900,000 磅卡路里

硅 300 磅燃燒時所要之氧 = 338 磅

與氧 338 磅相當之空氣 = 1470 磅

將空氣熱至 1500°C. 所需之熱 =  $1470 \times 1500 \times 0.268 = 591,000$  磅卡路里

硅氧化時剩餘之熱量.....  $1,900,000 - 591,000 = 1,309,000$  磅卡路里

|  |                |
|--|----------------|
| 錳 120 磅燃燒( $Mn + O = MnO$ )時所發之熱.....  | 198,000 磅卡路里   |
| 錳 120 磅燃燒時所需之氧 = $120 \times \frac{16}{55} = 35$                                 |                |
| 與氧 35 磅相當之空氣 = 152 磅   |                |
| 將空氣 152 磅熱至 $1500^{\circ}C$ .; 須熱 = $152 \times 1500 \times 0.268 = 61,000$ 磅卡路里 |                |
| 錳氧化時剩餘之熱.....  | 137,000 磅卡路里   |
| 碳 1050 磅燃燒( $C + O = CO$ )時發熱之量.....   | 2,552,000 磅卡路里 |
| 碳 1050 磅燃燒時所需之氧 = $1050 \times \frac{16}{12} = 1400$ 磅                           |                |
| 與氧 1400 磅相當之空氣 = 6087 磅  |                |
| 將空氣熱至 $1500^{\circ}C$ .; 須熱量 = $6087 \times 1500 \times 0.268 = 2,447,000$ 磅卡路里  |                |
| 碳氧化時剩餘之熱.....  | 105,000 磅卡路里   |
| 鐵 600 磅燃燒( $Fe + O = FeO$ )時所發之熱.....  | 704,000 磅卡路里   |
| 鐵 600 磅燃燒時所需之空氣 = 743 磅  |                |
| 將空氣熱至 $1500^{\circ}C$ . 所費之熱 = $743 \times 1500 \times 0.268 = 299,000$ 磅卡路里     |                |
| 鐵氧化時剩餘之熱.....  | 405,000 磅卡路里   |
| 全體剩餘之熱爲上記四者之和等於.....   | 1,956,000 磅卡路里 |
| 熔鐵上昇之溫度 = $1,956,000 \div 30,000 \times 0.2 = 326^{\circ}C$ .                    |                |

在以上計算中,由爐之內壁所放射而損失之熱,及  $FeO$ ,  $MnO$  與  $SiO_2$  化合成渣時所發生之熱,俱未列入,此等數目,比較的不甚重要,倘欲知其詳,可參考利查著之冶金計算法(J. W. Richard's Metallurgical Calculation, Part II)。

## 2. 鹽基性法

裝入銑鐵量爲 30,000 磅,其餘條件與酸性法同。

可燃燒之元素 硅 = 0.5% = 150 磅

錳 = 1.60% = 480 磅

碳 = 3.50 % = 1050 磅

磷 = 2.50 % = 750 磅

鐵 = 3.00 % = 900 磅

過剩之熱

磅加里路 磅卡路里

磷  $2P + 5O = P_2O_5$  發熱 ..... 4,420,000  
 || ||  
 750 968 磅 = 4209 磅空氣

$4209 \times 1500^\circ C. \times 0.268$  ..... 1,692,000      2,728,000

矽  $Si + 2O = SiO_2$  發熱 ..... 950,000  
 || ||  
 150 169

735 磅空氣  $\times 1500 \times 0.268$  ..... 295,000      655,000

錳  $Mn + O = MnO$  發熱 ..... 794,000  
 || ||  
 488 140

608 磅空氣  $\times 1500 \times 0.268$  ..... 244,000      550,000

碳  $C + O = CO$  發熱 ..... 2,552,000  
 || ||  
 1050 1400

6078 磅空氣  $\times 1500 \times 0.268$  ..... 2,447,000      105,000

鐵  $Fe + O = FeO$  發熱 ..... 1,056,000  
 || ||  
 900 257

1118 磅空氣  $\times 1500 \times 0.268$  ..... 449,000      607,000

由化學作用發生之熱過剩者之總數(磅卡路里)      +) 4,645,000

前已言之,矽為酸性法之主要燃料,磷為鹽基性法之主要燃料,參考以上計算,益可了然。將二法比較之,鹽基性法所發生之熱較多於酸性法,但其吸收(石灰熔化時)及損失(由爐體放射)之熱亦較酸性法為多。



## 第七節 酸性與鹽基性法之比較

鹽基性法應用於產多磷鐵礦之地域，如德國銑鐵原料，為多磷之 minette 礦，故多採用鹽基性法。此法之弊，在鎔鐵之氧化過多，還磷(rephosphorization)之危險，及追煉時之容易發生弊病，故業此者須有特別技能。鹽基性法之煉費，較多於酸性法，其原因有四：(1)，煉鋼之時間較長；(2)，鹽基性材料之價格較昂，損壞較速；(3)，有特別加入石灰為熔劑之必要；(4)，作業中須注出鐵渣，故運搬構造，較為複雜。

## 第六章 馬丁煉鋼法

### 第一節 概言

將銑鐵及舊鐵屑(或鐵礦)等,熔解於蓄熱式之開爐中,利用煤氣火燄之氧化作用,驅除原料中之雜質,以煉成馬丁鋼。此法首由英人西門子氏於1867年,創用於Birmingham試驗工廠,繼由法人馬丁氏改良之,遂沿用至今。

馬丁或開爐法(Siemens-Martin or open-hearth process)之主要原料,為多含碳,硅等之銑鐵,與少含碳,硅等之鐵屑;二者之量之比,原無一定,蓋火燄之氧化力極大,僅用銑鐵,亦可煉鋼,惟是銑鐵過多,則煉鋼時所宜氧化除却之量亦夥,故欲得善良之鋼,不得不多費時間及燃料,若鐵屑者,少含碳,硅,僅熔解之,即可得鋼,徒以供給有限,價格亦高,故必與銑鐵合煉之。二者之比,全係於地方狀況,如德國在歐戰前,工業之盛,甲於全球,鐵屑價廉而易得,故二者之比,鐵屑二而銑鐵一; 英美諸國,則以鐵屑價昂,故多用銑鐵,甚者至九與一之比。

原料之化學成分,由煉法及鋼之種類定之,如酸性法不能脫磷,故必用少磷之銑鐵,尤如鋼之用於武器及其他之須耐打軋者,含磷更宜極少;其量不可過萬分之二,最良者為瑞典木炭銑鐵。至鹽基性法,則於原料之成分,毫無限制,無論何種銑鐵與鐵屑,均可適用,惟磷,硅過多,則多費時間而已。

## 第二節 開爐

開爐 (open-hearth furnace) 分爲二種：

(1), 固定爐 (stationary furnace), 爐體之固定者；

(2), 傾注爐 (tilting furnace), 爐體之能向前傾斜者, 此又分孔伯兒式與威爾曼式兩種 (Compbell type and Wellman type)。

固定爐與傾注爐之構造, 大體相同, 其工作原理則完全一致, 故合論之。

### 1. 蓄熱室 (regenerators)

平爐各附設蓄熱室二對, 用以預熱煤氣與空氣者, 各室之內容積, 等於熔煉室內容積之  $\frac{3}{5}$  至  $\frac{9}{10}$ 。蓄熱室之容積愈大, 則其所吸收之熱量愈多, 而由煙筒排出之氣體之溫度愈低。蓄熱室內部, 全以火磚砌成格子形, 此格子磚所占容積之大小, 頗爲重要, 平均每爐工程一噸, 四蓄熱室全體約須 150 至 350 立方呎。例如對於五十噸之開爐, 須 7500 至 17500 立方呎。煤氣室之體積較空氣室約少十分之四, 蓋因所須空氣之量較多於煤氣, 而固有之溫度, 煤氣又高於空氣故也。爐煤氣必夾含鐵渣塵埃等, 故設置清塵室 (dirt-pocket or slag-pocket) 於爐與蓄熱室之間以清除之, 但終不免有少許塵埃, 附着磚面, 使磚間空隙減少, 且使磚面粗惡, 多生摩擦, 故磚間全面積, 須遠大於煤氣入口之面積, 庶煤氣之速度不至減退。倘磚間空隙被塵埃阻塞, 必停爐以修理之, 但吾人所宜注意者, 空隙亦必有所限制, 蓋格

子磚之目的，乃為爐煤氣之熱量受授之媒介物，欲達此目的，必使磚有最大之暴露面積，且與煤氣有最多之接觸機會。蓄熱室以高為佳，不可在15至20呎以下，高者可吸引空氣煤氣入爐，一如煙筒之效力，此種作用，可使進入之煤氣空氣覓最熱處上行，而排出之爐煤氣則由最冷處下降，其結果遂致蓄熱室內之溫度各處平均（在同一水平面上）。蓄熱室底部之溫度約 $400 \sim 600^{\circ}\text{C}$ ，頂部約 $1000^{\circ}\text{C}$ 。

## 2. 活瓣 (valves)

開爐之煤氣及空氣煤氣之方向，有常行變換之必要，故用活瓣以司之。活瓣乃煤氣損失之一大原因，其漏失有至20%者。用水封式活瓣 (water-sealed valves) 可免尋常之漏失，但苟煤氣之壓力有時超過水壓，則損失更大。水封式又有以下四種弊端：(1) 水有時冰結，致發生無窮之

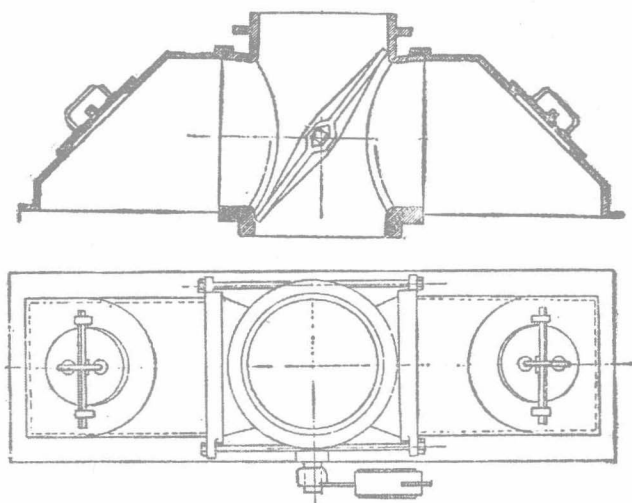


圖40. 蝴蝶瓣

困難；(2),瓣內之水,有時蒸發,侵入蓄熱室或開爐,吸收熱量；(3),其蓋易為熱所扭曲；(4),重量頗大,須用特種機構,始能操縱。普通之蝴蝶瓣(butterfly valves)易於燒壞,倘加水封式,則瓣蓋扭曲,終致遺漏,倘鋪設火磚,則重量更加,越難操縱,且修理愈多。瓣種類極多,茲示蝴蝶式如圖40,

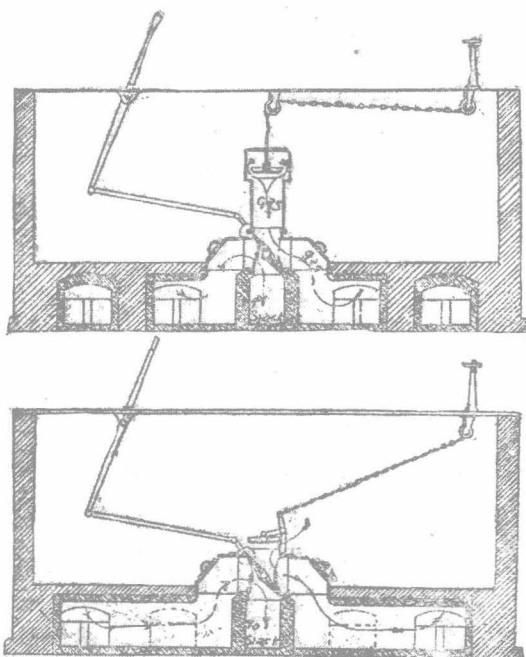


圖41. 一般構造

### 3. 入口

煤氣與空氣進爐之口曰入口(ports),或稱噴出口。爐之工程,固關係於煤氣燃燒之能否適宜,而煤氣燃燒之適否,則關係於入口之構造位置,苟不得其當,則爐溫不能上昇,

否則爐頂及前後壁易被熔蝕，故對於入口之構造，極宜留心。其方針不外使煤氣能迅速完全燃燒，火焰則宜逕向爐窪，但不可衝突熔鋼面過甚，因恐熔鋼過被氧化。煤氣進爐時，宜布滿爐面，俾爐內熱度各處均勻。煤氣入口之傾斜，常在 $18\sim 22$ 度之間，空氣入口，位於煤氣入口之上，其傾斜較急（約三十度），故能助空氣與煤氣之混勻。概言之，傾斜愈急，則火焰之氧化力愈大，而工程愈速，故宜審定原料之性質與產品之種類，以決定傾斜之度。對於五十噸爐，空氣入口之面積，約 $18$ 平方呎，煤氣入口之面積，則在 $8\sim 10$ 平方呎之間，此須由煤氣之良否定之。出爐時之火焰之溫度極高，爐口漸被熔蝕，終致失其作用，故近來有用循環水以冷卻之者，亦有用特別入口，俾熔蝕時得以隨時更換，如柏塞麥迴轉爐之底者。

#### 4. 烟筒

作業中空氣煤氣之自由流動，與火焰方向之適宜（火焰不宜直射爐頂，又不宜沈下與熔鋼相接觸），全賴煙筒之吸風力（draught）。而吸風力之大小，則關係於煙筒之高低，及由蓄熱室排出煤氣之溫度——普通約 $400^{\circ}\text{C}$ 。此熱被煤氣攜帶而去，完全損失，理論上將蓄熱室擴大，可使排出煤氣之溫度低降，以減少熱量之損失，但實際經濟上仍以 $400^{\circ}\text{C}$ 為合宜。煙筒之高低，與吸風力之大小，可由計算得之（參考利查著之冶金計算法）。但實際上煙筒宜較高，特設風閘（damper），以調制吸風力，視爐內之狀況與氣候之溫暖，得以任意加減爐內之通風。

## 5. 熔煉室

熔煉室由爐頂、爐壁、爐底等而成，以下分論之。

爐頂 (roof) 用最良之耐火材料，如純粹之硅磚，僅用少許石灰以結合之。頂與壁宜薄，熱之放射損失雖多，在所不顧，蓋厚者膨脹收縮，發生無窮之困難故也。頂為穹形，支持於鐵梁上，與爐壁無涉。

爐窠 (hearth) 之厚，約 18~24 吋，如淺碟然，此內可容熔鋼深約二呎 (就五十噸爐言之，爐小者較淺)。倘熔鋼過淺，則氧化力過強，因之爐壁易於侵蝕，鐵渣之量過多；但苟過深，則熔煉之進行不速。在酸性法，爐底之最下與爐外殼相接之處，鋪普通耐火磚一層，此上鋪以硅砂，厚約半吋，全底皆然，而後用猛火熱之至十分鐘之久，俟其熔結成塊，再鋪第二層硅砂，同樣施行，至達目的之厚而止，最後乃熔解舊鐵渣少許，俾將空隙充填，且呈光面。在鹽基性法，爐底材料，乃焙燒之菱苦土礦 ( $MgCO_3$ ，焙燒之，則成  $MgO$ )，故可

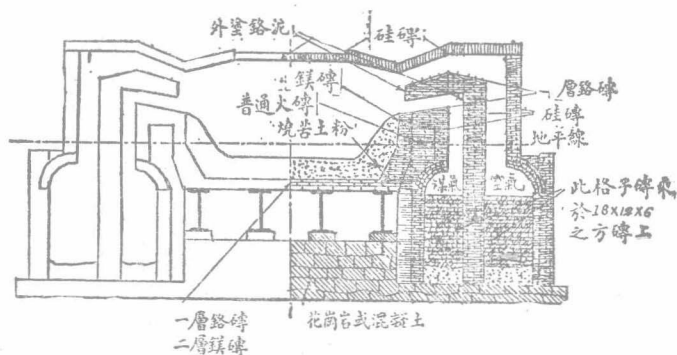


圖 42. 鹽基性開爐略圖

單稱苦土), 濬用十分一之無水煤焦油而燒結之, 使煤焦油變成焦炭, 與苦土結成堅硬之塊, 偶有用 15% 之舊鐵渣為結合材料 (bond). 亦有僅用苦土單獨燒結者。用於鹽基性迴轉爐之苦灰, 亦可供用, 其價雖廉, 但耐久性遠不如純粹之苦土, 故在歐洲大陸, 僅底之最上層與修理時用之, 以其較易於熔結也。鹽基性爐之頂與壁, 亦用硅磚, 習慣上常於硅磚與鹽基性底相接之間, 鋪中性之鉻磚 (chromite brick), 但非絕對必要。

### 6. 傾注爐

傾注爐 (tilting furnace) 之開辦費較大, 且須各種特殊裝置, 有常行修理之必要, 而所須之馬力費亦復不少。其長處: (1), 無因出鋼口 (tap-hole) 發生之困難及延誤; (2), 鐵渣可隨時傾出; 在鹽基性法, 此尤為便利; (3), 鋼可於恰到好處時即行傾出, 此對於鋼之成分範圍極嚴者最為緊要; 但現今除翻砂廠外, 少有用傾注爐者。

坎柏爾傾注爐, 如下圖所示; 熔煉室安置於弧形轆轤之上, 由橫臥之水壓裝置迴轉之, 其迴轉中心, 適與空氣煤氣入口之中心線相符合, 故爐雖迴轉, 煤氣之供給如故。動體與不動體相接之處, 稍存間隙 (clearance), 而以水冷式之鑄鐵圍之。在威爾曼傾注爐, 傾注之時, 先須斷絕煤氣等之供給, 此種爐之底部, 附有弧形鋼板, 安置於鋼製之水平臺上, 爐體可由直立之水壓裝置傾斜之。入口與爐體為一體, 乘於水槽中, 由此與蓄熱室相連絡, 故無漏氣之虞, 至傾注時始斷絕之。



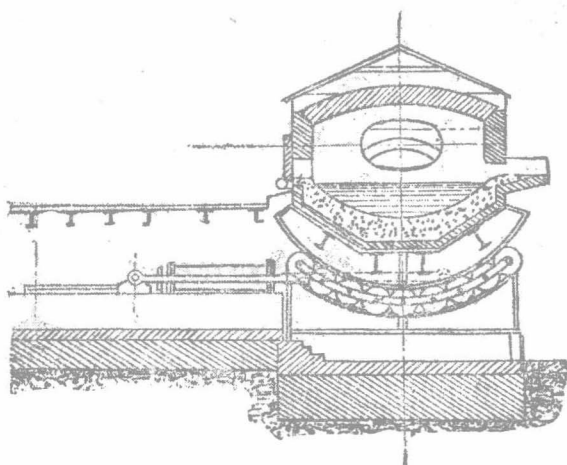


圖 43. 傾注開爐

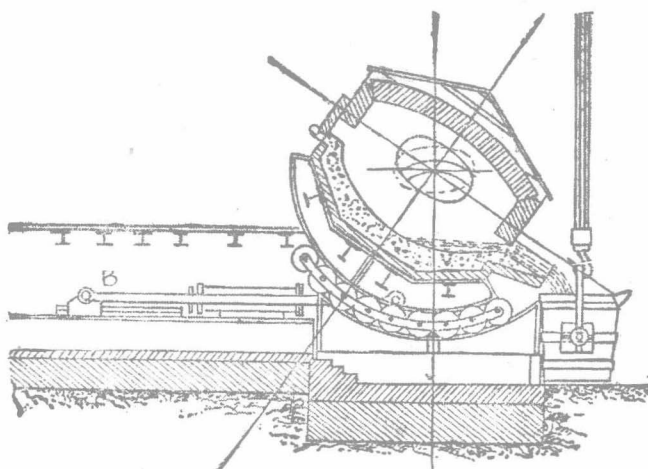


圖 44. 傾注時之傾注爐

### 第三節 酸性開爐法

#### 1. 開爐砌築法及其材料

開爐全體，俱宜用優良之硅磚，倘欲強分等級，則蓄熱室以上，必用頭等硅磚，蓄熱室可用次等硅磚，煙巷及空氣道等則可用燒黏土磚。入口及爐頂，爐壁等，乃受最高熱度之部分，故砌磚時所用之材料及砌法，極宜注意。所用水泥 (mortar)，宜與磚同一性質，如對於硅磚，則用硅石水泥 (硅石粉與黏土少許之混合物)，至砌爐頂與蓄熱室內之格子磚，則常不用水泥。

爐底先於底板上平砌火磚二層 (或豎砌一層)，其次乃砌成階梯形，如下圖所示，而後鋪硅砂 (約加黏土4%) 一層，厚約半寸，輪次燒結之，但底厚在五百耗以下者，可一次築緊，乃徐徐加熱至燒結而後已。硅砂以能熔結而不致熔解者為適宜，倘無此種原料，可用數種配合，如以極純粹者與稍不純者妥為配合，當可得適當之材料。

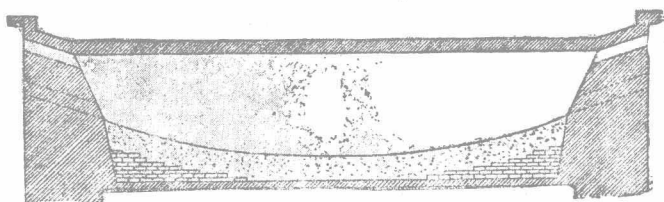


圖 45. 開爐之底

## 2. 工作法

爐底築成後，乃加入酸性鐵渣 (有加入銑鐵者)，熔後攪拌之，次乃裝入銑鐵多而鐵屑少之配料數次，始裝入正式配料 (normal charge)。在酸性開爐，無脫磷、硫之力，故原料之銑鐵與鐵屑，宜揀用純良之物，最佳者為瑞典銑鐵，其次

爲英國之赤鐵礦銑鐵。裝入時，先裝銑鐵，使遮蔽爐底，次乃裝入鐵屑，蓋鐵屑多含氧化鐵，恐其侵蝕爐底也。裝入後，時常注視爐內外之狀況，與煤氣燃燒之情形，每隔二十分鐘，更換活瓣之向，約三小時之後，當可全部熔解；於是汲取第一次試料 (sample)，鑄於小鐵模中，此時注目於試料之流動性，色彩及凝固狀態，略可考察脫碳之程度，與熱度之高低。及凝固後，急取出投諸水中(或先以鐵鎚擊之，使成扁平)，乃截斷之，察其斷面之色彩，組織，以判定熔煉之程度。第一次試料，屢含碳過多(原料之配合預定如此)，故有加入氧化劑之必要，所常用者爲良質之鐵礦。鐵礦加入後，即起沸騰現象，屢有溢出之虞，故不可一時加入太多。俟沸騰靜止後，乃取第二次試料，檢其斷面，倘脫碳仍未完全，乃再加鐵礦，至預定之含碳量爲止；倘脫碳過度，則可追加良質之銑鐵。

如欲煉少碳之極軟鋼，如用於鍋爐板類者，可先使碳減至 0.12%，次加少量之銑鐵，以引起熔鐵之沸騰，最後乃加入錳鐵。含碳較多之酸性鋼，多用於車軸，外輪，彈條，銃砲，鋼線，鋼甲板，鋼鑄品及工具鋼等。其煉法有三：(1)，方脫碳恰到好處，即行出鋼；(2)，俟脫碳過度，乃加入銑鐵或鏡鐵於爐中，使復返預定之含碳量；(3)，行「達維」及其他加碳法於爐外，使復返預定之含碳量。如煉車軸鋼，常用第一法，如製煉含碳 0.5% 以上之硬鋼，用於彈條及外輪等者，常脫碳至 0.2~0.3% 以下，而後再加入銑鐵。加銑後，復汲取試料，行着色試驗 (color test)，檢查含碳之多少，而斷面宜

具緻密之組織，不可有氣泡及蜂窩狀態，否則再加少量之銑鐵，繼續熔煉，俟達到目的，而後加入硅鏡鐵及錳鐵。銑鐵之加入，原以加碳為目的，故宜以銑鐵之含碳量為基礎而計算之；惟銑鐵熔解時，碳之一部氧化（硅愈少則氧化愈多），又錳鐵、硅鏡鐵等，莫不含碳，皆宜列入計算中。欲煉少硅多碳之鋼，可於出鋼時加無煙煤，極為有效；又於出鋼至四分之三時，加入適量之鋁，可使鋼質堅密。用於外輪之鋼材，須緻密而硬，且不可稍帶脆性，此宜加入適量之硅，常於出鋼之前，將硅鐵或硅鏡鐵投入爐中，但硅必有一部分氧化（ $\frac{1}{3} \sim \frac{1}{4}$ ），宜預為計算。

出鋼時，熔鋼宜具有流動性，而熱度則愈低愈妙。

鋼渣為煉鋼時所最宜注意者，出鋼前之渣，不可含遊離氧化物，宜濃厚而易於流動，決不宜有黏性（加入石灰少許，可增加流動性）。至其良否之判斷，必實地經驗，始能領會。

出鋼方法，先將出鋼口外之未固結者扒去，而後打入鋼鑽，至達硅壁，將鑽退去，鋼即由此小孔徐向外流，再由前面裝入口插入長鐵棒，將小孔衝破，鋼乃急速流出。出鋼口常發生種種困難，宜於出鋼後細查口內有無鋼與渣附着，有則速事除却，而後加無煙煤及耐火黏土，作成新口。

俟爐內熔鋼全部流出，乃細查爐底，倘有破損，迅速加入硅砂，妥為修理，待其熔結，乃行第二次裝入。

### 3. 爐內之化學變化

酸性法不能脫磷與硫，故原料中所含磷硫，不可過0.04%。

化學變化，不外於碳、硅、錳之氧化作用，其氧化次序，可分

爲二：(1)配料熔解時，受火焰之氧化；(2)熔解後，受原有之氧化鐵及新加入之鐵礦等之氧化。各元素之氧化程度，固關係於配料成分與開爐狀況，概言之，硅碳之一部分與錳之大部分，先被氧化，其生成之硅酐，一氧化錳及一氧化鐵(少量)與由爐底熔解之硅酐及夾存配料中之硅砂等，彼此結合，組織重硅酸錳鐵，此卽爲鐵渣(或鋼渣)。及熔解後之氧化作用，則關係於鋼渣之成分狀態，與爐之溫度。苟鋼渣含硅較少(此時易於流動)，則硅錳之氧化頗速，苟多含硅(此時渣頗濃厚)，則硅錳不僅不能氧化，且有由渣中還原復歸於熔鐵者；總而言之，鋼渣之有無氧化力，全係於渣之有無過剩之氧化物。

工作上良好之鋼渣，必含有充分之一氧化鐵，錳，足與硅酐化合，使以後所加之氧化礦，與原鋼渣無涉，僅氧化熔鐵中之各不純物質，而礦中之鐵，則還原入熔鐵中。下表乃坎柏爾實驗之結果，由此可知鐵礦之加入量，幾無關於鋼渣之成分，蓋鋼渣已成安定狀態(stable condition)，雖加入氧化鐵，其一部分還原，一部分則與爐底之硅酐化合，組織新渣，故渣量雖加，而成分則變化甚微。

|                                    | 加礦以前  | 加礦 220 鈎以後 | 加礦 450 鈎以後 | 加 670 鈎以後 |
|------------------------------------|-------|------------|------------|-----------|
| SiO <sub>2</sub> %                 | 51.90 | 51.98      | 52.77      | 52.75     |
| MnO %                              | 18.50 | 17.51      | 16.29      | 14.93     |
| FeO %                              | 26.04 | 26.53      | 26.92      | 28.45     |
| $\frac{\text{MnO}}{\text{+FeO}}$ % | 44.54 | 44.04      | 43.21      | 43.38     |

#### 4. 煉鋼時間，出鋼量與燃料消耗

煉鋼時間，關係於配料成分與爐內之溫度。銑鐵愈多，則時間愈久，苟加入鐵礦，則時間可以減少。爐熱愈高，則進行愈速。平均每一星期，可出鋼十八次。

出鋼量關係於銑鐵之量及其成分與鐵屑之性質及脫碳之程度。概言之，鐵之損失在5~8%之間。加入之鐵礦之一部分，還原成鐵，其量約在30~60%之間。

燃料之消耗量，關係於煉鋼時間之長短，爐之大小與煤之種類，其量對於每出鋼一噸，需煤250~700噸。自蓄熱室發明以來，熱之利用，已屬大有進步，然仔細調查熱量之分布，其用之有效者，實未及全熱量之三分之一，試列舉熱之分布於下：

|                 |       |      |
|-----------------|-------|------|
| 在開爐中用之有效之總熱量    | ..... | 27 % |
| 由開爐及產品之放射所損失之熱量 | ..... | 29 % |
| 由排出煤煙帶出之熱量      | ..... | 31 % |
| 煤氣發生爐爐渣中所含之可燃物質 | ..... | 3 %  |
| 由發生爐之放射所損失之熱量   | ..... | 10 % |

用酸性開爐法，始可煉出任何種類之鋼，而尤以煉範圍極嚴之高碳鋼為此法之特色。開爐法與柏塞麥法比較，價雖較昂，鋼質則優於柏塞麥鋼，蓋以其易於調制 (adjust)，且無過氧化之虞，故鋼質均勻，較堪信賴故也。

鋼渣之成分範圍如次：

|                                |         |     |         |
|--------------------------------|---------|-----|---------|
| SiO <sub>2</sub>               | 45~60 % | FeO | 40~20 % |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 2~4 %   | CaO | } 0~4 % |
| MnO                            | 10~20 % | MgO |         |

## 第四節 鹽基性開爐法

### 1. 鹽基性開爐砌築法及其材料

鹽基性法以生成鹽基性鋼渣爲目的，爐之全體，應全用鹽基性材料，惟以此等材料，性質脆碎，不能供砌築爐體之用，故如爐頂爐壁，不能不用硅磚，僅爐底則用鹽基性材料。用苦灰爲爐窪材料時，其與爐壁硅磚相接之處，不無熔解之憂，且恐爐窪損壞，致鋼渣侵蝕硅磚，故爐窪周圍，全用苦土磚 (magnesite brick, 一名鎂磚)，或用鉻磚，此時所用之水泥，亦宜用與磚同質之物。

鹽基性材料雖多，而適用者惟焙燒菱苦土礦(即苦土)與焙燒白雲石(即苦灰  $MgO \cdot CaO$ )二者。苦土之耐久性，遠過於苦灰，徒以產地無多，價值昂貴，在我國不能供實地之應用，常用者仍爲苦灰，譯稱哆囉密。爐底可用築法 (stamp process) 或燒結法 (sinter process) 做成，其法與前述者無異。

### 2. 爐內之化學變化

裝入後約四小時，配料完全熔解，此時硅之大部分除却，碳錳則減少一部分，如圖46所示。所最宜注意者，脫磷未成事之先，不可完全脫碳，蓋脫碳之後，鐵之氧化加劇，而未脫之磷終無再脫之希望，此時惟有加入少磷之銑鐵，以增加熔鐵之含碳量(此曰“pig up”)，倘磷已脫盡，倘餘多量之碳，則加入鐵礦爲氧化劑，以減少熔鐵中之含碳量(此曰“oreing down”)。

脫碳時發生一氧化碳氣體，故熔鐵盛行沸騰，使磷常與

鋼渣中之氧化物及石灰相接觸，變成磷酸石灰；碳盡之後，無一氧化碳發生，故磷無氧化成渣之機會。

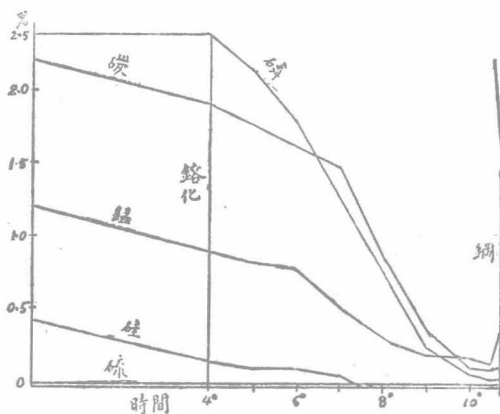


圖 46. 鹽基性爐中之化學變化

### 3. 工作法

原料之銑鐵，宜少含硅、硫、錳可較多；磷可由 0.1% 至 2%，且有達 3% 者，但以不過 1.5% 為佳，蓋磷愈多則脫之愈難，且不如托馬斯法之賴此為燃料也。

裝入後俟全部熔解，乃取第一次試料，檢查其斷面，苟必要時，或加鐵礦，或加銑鐵，與酸性法無異。惟常加入石灰，以促鹽基性渣之生成，乃鹽基性法之特點。石灰宜徐徐加入，倘一次加入多量，則鋼渣過於濃厚，因之工程之進行遲遲。

含磷多含碳少之銑鐵，屢有磷未脫而碳先脫盡者，此時宜加入赤鐵礦銑鐵，引起熔鐵之沸騰，以期磷之脫盡（0.05% 以下）。作業之間，屢取試料行脫磷試驗（參照第五章第



四節 § 4), 考究脫磷之程度, 最後乃行化學分析, 以斷定磷、碳之量, 倘已到預定之程度, 乃行出鋼。錳鐵常於爐外加入, 蓋恐鋼渣所含之磷, 復還而入鋼中也。

此法用劣等原料, 故最適於製煉軟鋼, 但苟採用達維加碳法, 亦可煉含碳較多之硬鋼。

鋼之損失 5~10%。燃料之消耗每煉鋼一噸約需煤三百斤。鋼渣所含之磷, 不如托馬斯渣所含者之多, 故不能用為肥料。

|                                |         |     |         |
|--------------------------------|---------|-----|---------|
| SiO <sub>2</sub>               | 10~30 % | MnO | 3~15 %  |
| P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>  | 1~15 %  | FeO | 10~20 % |
| Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 1~9 %   | CaO | 35~60 % |
|                                |         | MgO |         |

## 第五節 特種煉鋼法

以上所述酸性與鹽基性法, 皆以銑鐵鐵屑為主要原料, 但以鐵屑之供給有限, 倘多用銑鐵, 則熔煉時間延長, 爐之生產力減少, 故近年來發明各種新法, 以銑鐵為主要原料, 或輔以富有氧化力之鐵礦, 以期工程之能迅速進行。故以前之煉鋼法曰銑屑法 (pig-and-scrap process), 對於此, 凡改用鐵礦者曰銑礦法 (pig-and-ore process)。以下述各法之概要。

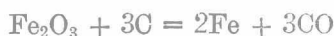
### 1. 並行法 (duplex process)

美國煉鋼廠有並用柏塞麥法及鹽基性開爐法者; 此用酸性迴轉爐, 以除却硅錳及大部分之碳, 再用鹽基性開爐, 以驅除磷碳等。此法之利益, 能縮短開爐之熔煉工程, 輕

減硅對於爐窠之侵蝕，即以增長爐窠之壽命，而就柏塞麥法言之，用劣等之銑鐵，可煉成高級之鋼。行此法時，必設置巨大之混銑爐，可容銑鐵自二百五十噸至七百噸，此不僅貯藏熔鐵，俾得隨時供用，且可使銑鐵之性質均勻，俾迴轉爐開爐之工作較易。

## 2. 塔爾博法 (Talbot process)

此法用鹽基性傾注式開爐。第一次如常法行之，至煉成鋼時，先傾出鋼渣，而後出鋼約及全部之三分一，對於此行加碳及鑄模等一如常法。對於殘留開爐中之三分二之鋼，新加入鐵礦及石灰石，使組織鹽基性而富有氧化力之渣，然後再裝入三分一之銑鐵，於是鐵中之不純物質，受急烈之氧化作用，硅錳及大部分之磷，霎時氧化殆盡，碳則如常法脫除之。由加入之銑鐵計算，鐵之採收率(extraction percentage)約106~108%，此因鐵礦還原，故鐵量增加：



此法之利益，在不用鐵屑而出產較多，其害處則爐之建設費大，修理費稍多。

圖47乃二百十進噸之塔爾博爐，爐窠較深於普通開爐，面積常不甚大，故二百十進噸之爐，與一百十進噸之普通開爐，其大相等。

## 3. 莫內爾法 (Monell process)

先裝入石灰石及多量之鐵礦於鹽基性爐中，熱之，使成半熔解體，而後裝入熔鐵，此與鐵礦即起急烈之作用，組織

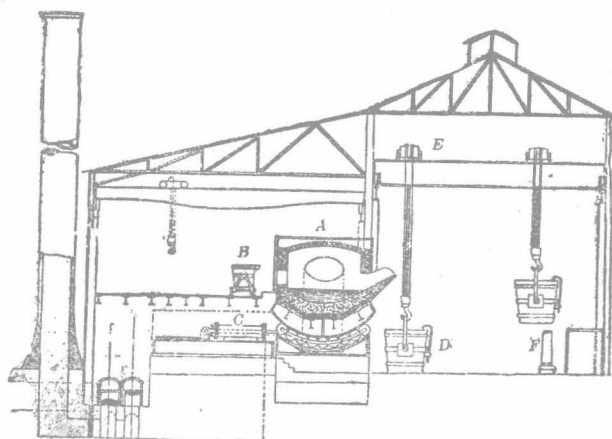


圖 47. 塔爾博煉鋼爐

A 塔爾博傾注爐 B 裝鐵桶 C 運轉水壓機

D 挹注桶 E 起重機 F 鑄鋼模

鋼渣，使由渣口流出。鎔鐵裝入後一小時，硅錳之全部及磷之 90% 氧化除却，碳則約存 2%。繼續工作，俟脫碳至預定程度而止。其所須之時間，約與常用之銑屑法相同。此法美國卡內基鋼廠 (Carnegie Steel Company) 有特許權，其詳不得而知，但結果則頗佳。其缺點在爐底之易於侵蝕，及渣中鐵之損失過多。

#### 4. 伯莊帖爾法 (Bertrand-Thiel process)

本法用二開爐，加銑鐵，鐵礦及石灰石於第一爐，加鐵屑，鐵礦及石灰石於第二爐，如常法加熱之。第一爐在熔解時，失硅磷之大部及碳少許，約四小時之後，將此熔鐵流注第二爐 (不可使渣流入)，此熔鐵與預熱之鐵屑，鐵礦及石灰石相接觸，即起急烈之氧化作用，約二小時，則煉鋼作業

完成。由第一爐所出熔鐵之成分，大約  $C = 2.0\%$ ,  $P = 0.4$ ,  $Si = 0.08$ ,  $Mn = 0.06$ 。在第一爐中，務期多去磷而少脫碳，欲達此目的，必爐熱儘低，而鐵渣呈強鹽基性。

赫希改良法 (Hoesch modification) 乃上法之變體，現用於德國鋼廠，聞結果頗佳。此法僅用一爐，將上法第一爐所出之熔鐵，注於挹注器中，以分離多含磷之渣，而後再注入原爐，完成煉鋼作業。在第一期，硅錳之全部，磷之大部分及碳之約半量，已被除却，至第二期僅驅除殘餘之磷與碳。由第一期所出之渣，含  $20 \sim 25\%$  之磷酸，可供肥料之用。

#### 5. 薩尼特脫硫法 (Saniter desulphurizing process)

在鹽基性開爐中，脫硫量極不一致，故欲由普通方法煉少硫之鋼，惟有揀用少硫而錳較多之原料。

脫硫法不一，供實用者為薩尼特法。此能用於鹽基性開爐或迴轉爐。此法僅於加石灰時，並加氯化鈣 ( $CaCl_2$ )，俾組成極富於流動性及鹽基性之渣。其他作業，與常法無少異。惟煉鋼時間延長，乃此法之缺點。下舉三例以示脫硫程度：

|   | 銑    | 鋼     | 銑    | 鋼     | 銑    | 鋼     |
|---|------|-------|------|-------|------|-------|
| 碳 | —    | 0.12  | —    | 0.25  | —    | 0.22  |
| 硅 | 0.28 | 微量    | 1.50 | 微量    | 0.50 | 微量    |
| 硫 | 0.96 | 0.07  | 0.25 | 0.025 | 0.22 | 0.018 |
| 磷 | 0.75 | 0.026 | 1.50 | 0.03  | 3.50 | 0.036 |
| 錳 | 0.30 | 0.47  | 0.70 | 0.45  | 1.00 | 0.40  |

## 第六節 各煉鋼法之比較

### 1. 酸性與鹽基性開爐法

酸性鋼比較的見信於工業家，各構造之重要部分，今多用之。以煉費言，鹽基性耐火材料，遠貴於酸性，熔煉時間又長，故工程較小，煉費較多；然此二者終不敵鹽基性法所用原料之價廉，故通盤計算，仍以鹽基性鋼之價較低。酸性鋼之被賞用者，因(1)鹽基性渣有由鋼中吸硅之性，故加碳須行於爐外，倘鋼中夾含鋼渣，則得含硅過少之鋼塊，因之不免有氣泡發生；(2)加碳於爐外者，不免混和不勻，因之發生變故；(3)鹽基性渣所受之氧化作用，較大於酸性渣，故鋼之含氧亦較多，雖可加錳以除之，難免全無遺漏；(4)鹽基性法屢有已除之磷復入鋼中之弊，蓋爐中流出之鋼，常稍含鋼渣故也；(5)酸性法不能脫磷，勢必揀用良好之原料而工業家常信良好之鋼必出於良好原料，故鹽基性鋼含磷雖較少，總不能如酸性鋼之能見信於人。

### 2. 鹽基性開爐法與柏塞麥法

鹽基性開爐鋼較良於柏塞麥鋼，其理由如次：(1)開爐法作業較長，故能注意周到，而以將蕨事時為尤然，至若柏塞麥法，苟多延長一二秒鐘，直可使鋼過於氧化，變為無用，即以常態言之，柏塞麥鋼所含之氧，亦多於開爐鋼，此因與空氣接觸太密之故；(2)因同樣理由，柏塞麥鋼多含氮氫，此亦有損於鋼質；(3)柏塞麥法之熱所由生，乃銑鐵中之不純物質，僅能用不完備之方法，於小範圍中調理之，且熱之調理，

根據於煉鋼家之判斷，及其測驗火焰溫度之技能，倘偶然發生意外，則影響於鋼者頗大；在開爐法，爐之溫度，亦由吾人之判斷定之，但足有餘裕以審查判斷及調理熱量；(4)在柏塞麥法，先須將碳除盡，而後再加預定之碳量，在開爐法，在碳未脫盡之前，可任意停止，故此後加碳之量極微，故欲煉高碳鋼，惟開爐法能得性質均勻(homogeneous)之產品，蓋用加碳劑(recarburizer)太多，必不能均勻分布。

近二十餘年以來，柏塞麥之勢力範圍，已漸為鹽基性開爐法所侵奪，主要原因，蓋由於低磷鐵礦之漸少，即柏塞麥銑鐵之價格日高，故此法之將來，恐徒為「並行法」之附庸(可與開爐及電爐法並用)，而難獨樹一幟矣。但苟有大量之柏塞麥鐵礦發現，又當別論。

柏塞麥法易於煉低碳鋼，故於鐵線及鐵管業，仍能保持其地位；又對於製造極薄板如洋鐵板等者，常有稍多含磷之必要，此柏塞麥鋼極為適用；即此二途，開爐鋼亦漸行侵入。鋼軌之必須條件，在性不脆而能抵抗摩擦，此柏塞麥鋼之所能畢具，且其短時間內能出適量之鋼(每七分鐘出鋼十五噸)，尤為鋼軌廠所歡迎，蓋鋼軌廠作業，最宜連續不斷。至開爐法，一次所出之鋼量太多，故常有時而擁擠時而停止之弊，但因開爐鋼含磷特少，故性韌，含碳較多，故性硬而久耐摩擦，是以美國鋼軌之大多數，仍用鹽基性開爐鋼。

美德二國，出鋼最多(在歐戰前)，茲表示其所出之各種鋼量，以示煉鋼界之趨勢(1912)：

|        | 美國         | 德國         |
|--------|------------|------------|
|        | 十進噸        | 十進噸        |
| 酸性迴轉爐  | 10,493,147 | 187,179    |
| 鹽基性迴轉爐 | —          | 9,794,300  |
| 迴轉爐全體  | 10,493,147 | 9,981,479  |
| 酸性開爐   | 1,157,449  | 295,256    |
| 鹽基性開爐  | 19,955,766 | 6,871,896  |
| 開爐全體   | 21,113,215 | 7,167,152  |
| 坩堝     | 123,461    | 79,190     |
| 電      | 21,501     | 74,177     |
| 全體     | 31,751,324 | 17,301,998 |

鋼之價值及其性質之次序：第一，坩堝鋼；第二，酸性開爐（或馬丁）鋼；第三，鹽基性開爐鋼；第四，迴轉爐（或柏塞麥）鋼。

### 3. 熟鐵與低碳鋼

熟鐵 (wrought iron) 之價，較高於最廉價之鋼，其長處在純粹而稍含渣。渣在熟鐵中，乃機械的混合，不至污壞其化學的與物理的性質，反能增加韌性及對於衝擊與曲折之抵抗性，亦有信其能耐侵蝕 (corrosion) 者。其主張鍋爐等之用熟鐵管，即以此故。熟鐵用供導電及強磁力之材料，又於受過度之外力時所伸長之度，較鋼均勻。此上各因，加以工業家之保守性，及對於攪煉爐所已投之資本，皆為維持熟鐵法之原因。溯自柏塞麥法與馬丁法發明以來，皆預料攪煉法之消滅，至今日雖未完全實現，其範圍則已大行減削矣。

#### 4. 各種鋼鐵之區別

低碳鋼管、鋼條及馬蹄鋼等，常假熟鐵之名稱；高碳之開爐及迴轉爐鋼條，有時冒充坩堝鋼；甚至有以可鍛生鐵而充鋼鑄品者；故工業家亟宜明白各種鋼鐵之區別。

熟鐵必含渣少許，由此可與低碳鋼相分別，概言之，熟鐵含渣在1%以上，而鋼則渣與氧化金屬合計，亦在0.5%以下。至渣之量，可由化學分析及顯微鏡試驗決定之。又正式之熟鐵，含錳極微，而正式之開爐與迴轉爐鋼，則含錳至0.4%或以上。熟鐵常含磷至0.1%以上，良鋼則否。木炭鐵中之渣及硫磷等，比攪煉鐵少。

正式之坩堝鋼，含錳在0.4%以下，硅在0.2%以上，而正式之開爐與迴轉爐鋼，則含錳在0.4%以上，硅在0.2%以下；但此條不能適用於鋼鑄品，因開爐與迴轉爐鋼之用於此者，常含硅至0.6%，至煉少含錳之鋼，亦非不可能，但不常耳。吾人所宜注意者，苟定購低碳之坩堝鋼，難免不有假貨代用。

酸性開爐鋼較之鹽基性鋼含硅磷常高，含錳則少，對於迴轉爐鋼亦然。鹽基性開爐鋼與迴轉爐鋼之區別，在開爐鋼之含錳、硅、磷、硫較少，及其溶解於稀鹽酸及硫酸之度更遲。

倘於訂約時指定物理的性質，則比較的易得真正之貨。如欲訂購可延性極大之鐵，指定每十英尺之長變 (elongation) 若干，俾熟鐵外無可代用者；又如指定須抗強與可延性最大 (確定若干)，俾坩堝鋼以外者不敢冒充。



## 第七節 可鍛鑄鐵

此法之主旨，先以鑄鐵鑄成製品，而後覆被以氧化劑，熱至高溫，俾在固體狀態，實行除碳作用，即不變其原來之形狀，使銑鐵變為可鍛鐵之法也。

所用原料，以碳之容易除却者為宜。灰銑中之石墨，難於氧化排除，故不適用，常用者為少含石墨之白銑。含碳之量，以 3 % 內外為佳，過多則難以驅除，過少則不便鑄造。原料中含硅愈多愈好，但以不使石墨析出為限，以硅多者容易鑄造，且能促銑鐵之變為可鍛鐵也。普通含硅 0.4 ~ 0.8 %，對於最薄之鑄品，有多至 1.2 % 者。銑鐵中之錳，可使收縮率增加，且俾鑄造除碳，俱形困難，但以防止石墨發生為目的，可用含錳約 0.4 % 者。磷與硫在此方法中，全無變化，其原在銑鐵者，仍全部殘留於可鍛鐵中，而此中含磷至 0.1 % 含硫至 0.05 % 以上，則其質不良，故原料中之磷硫，亦宜以此為限，無論如何，不能用含磷 0.2 % 含硫 0.1 % 以上之銑鐵。要之可鍛鐵之成功與否，全關係於原料之選擇，以少含磷硫之鐵礦用木炭所煉之白銑最為適當。在美國多用赤鐵礦銑鐵（硅與石墨俱多，但磷硫則少），攙入舊鋼軌，以減其硅量，使成白銑。所用之爐為反射爐，善利用其火焰之氧化作用，得適宜之化學成分之銑鐵。在德國則用鋼屑九成銑鐵一成，由熔銑爐處理之。

氧化劑以氧化鐵為主要成分，如赤鐵礦及焙燒之黏土鐵礦或由軋輾煅煉所得之鐵皮，皆可適用。至其氧化力

之大小，宜實際試驗之；苟如赤鐵礦之全由氧化鐵而成者，其氧化力過強，可攙入黏土等；又苟氧化力不足，則有加錳礦者。

熔銑鐵之法不一，坩堝爐，熔銑爐，反射爐及煤氣爐等俱可應用。坩堝爐乃最小規模所用者，最不經濟；熔銑爐與普通翻砂廠所用者無異，此多用於德國，燃料之消耗雖最少，但有吸收硫之虞；美國常用反射爐，銑鐵中成分之一部，在熔解時氧化，故可得成分適宜之銑鐵，蓋可時常由爐中取出銑鐵試料，查其破面，可推測錳硅之量，然所費之燃料，耐火材料及勞力等，則多於熔銑爐；煤氣爐與普通煉鋼開爐相同，具有反射爐之利益，而燃料消耗較少，但祇適用於大規模之工作。

鑄造之後，與氧化劑共裝於生鐵箱中。德國所用之鐵箱為圓筒形，對徑10'~1'，長1'~1'8"，對於鑄品之大者則用長方形，寬與高俱1'8"，長約2'10"。鐵箱內壁，塗以石灰水，而後裝入鑄品及氧化劑。置於反射爐中，加熱至八九百度，維持二三日之久。此加熱程度，最為重要，倘溫度過高，則鑄品內部熔解而出，致成空虛之可鍛鑄品，倘溫度太低，又恐脫碳作用過於遲緩。其後乃將爐門掩閉而徐冷之，約一日可減至200°C.，而後開爐門冷卻之，乃將鑄品取出，以錯刀試其硬度，或試其有無可鍛性，倘尚未達到目的，復反覆加熱之。脫碳作用漸次由外部及於中央，故倘鑄品過厚，則脫碳作用難及中部，故鑄品之厚，只限於一吋以下。所得之可鍛鐵，富有可鍛性，含碳約1%，其中0.6%乃

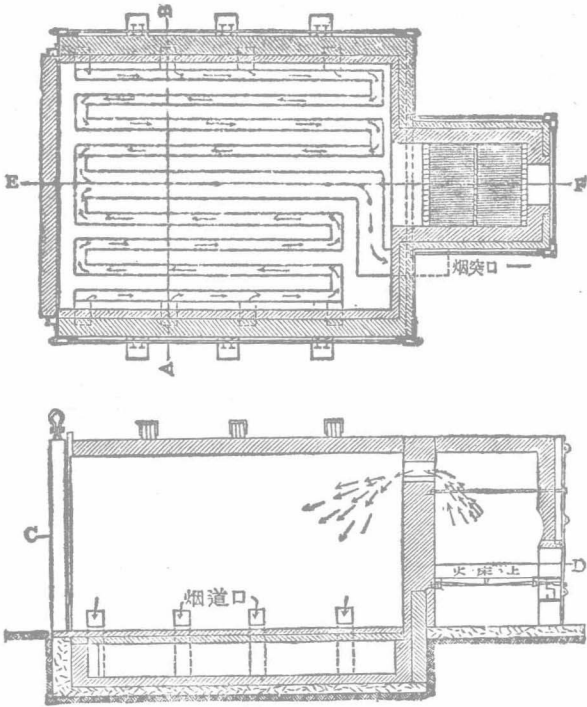


圖 48. 美國反射爐

非結晶碳(temper carbon),破視之,其中央部呈灰色,其外殼則爲白色,因已脫碳之故。抗張力42,560 lb / 平方英寸,約與熟鐵相似,其長變僅5%,此爲非結晶碳存在所致。

可鍛鑄品多用於零小器具,如鐵管之接頭及農用機械,近來則應用益廣,并漸用於一般機械之附屬品矣。

## 第七 章 鐵 與 鋼 之 電 煉 法

### 第一 節 概 言

電煉法可大別爲二：(1)電解法 (electrolytic process), 此法通電流於鐵溶液中, 使發生電解作用, 產出極純之鐵, 現正在研究中, 將來極有希望。(2)電熱法 (electro-thermic process), 此法乃變電爲熱能 (heat energy) 以代燃料之用者, 此爲最新之法, 其創始成功者在 1899 年 法國之拉布拉斯鋼廠 所建設之 耶魯爾爐 (Heroult furnace), 此後十三年間 (至 1912), 全世界所用各種電爐之數, 實 119 座, 今後之發達, 正未可量。

電爐有下記六種特色:

(1) 可得非他種爐所能達到之最高溫度, 故能減少鋼中之硫, 僅假熱力, 可驅除熔鋼中之溶解氣體及包含的鐵渣, 無如他法之須特加錳硅之必要, 故 柏塞麥鋼 及 鹽基性開爐鋼 可由電煉法再精煉之 (super-refining), 則抗強可增加 10,000 磅 (每平方英寸)。

(2) 由常用燃料導來之不純物質, 在電爐無之。

(3) 爐溫可更精確的加減。

(4) 用燃料極少, 僅供還原之用。

(5) 爐中無送入空氣之必要。

(6) 費用較迴轉爐開爐爲高。

因以上各種特色, 故對於鐵合金如 鎢鐵, 鉻鐵, 鉬鐵, 錳鐵,

鏡鐵, 硅鐵等之製造, 電煉法久已通行, 惟至 1899 年以來, 乃應用於煉礦與煉鋼矣。因爲電煉法在鋼鐵界已得有永久性之位置; 因爲此種新發明且有價值之冶金原理, 已喚起多大之興趣; 因爲所出之產額已達到大可研究之量; 因爲由電煉法所出之鋼, 似可匹敵或超越坩堝鋼, 且已代其大部分之用; 應發刊專書詳論之, 本章所述, 僅其厓略耳。

電熱法可分爲三:

- (1) 煉礦, 產出銑鐵 (ore smelting)。
- (2) 煉鋼 (steel manufacture or refining of pig iron)。
- (3) 鋼之再精煉 (super-refining of steel)。

## 第二節 電煉礦法

在焦炭與銑鐵價高及礦石易得之地方, 電煉礦法已完全成功, 而尤以如瑞典之水力豐富之處, 發達最快。

圖 49 乃瑞典所用之多姆那肥爐 (Domnarfvet furnace)。c, c 乃鼎足形之三碳電極 (carbon electrode), 配料中之燃料, 供傳導電流之用, 而礦石熔劑等之電抵抗, 則使電變爲熱能。爐熱既加, 則碳可使鐵礦還原, 碳自身變爲一氧

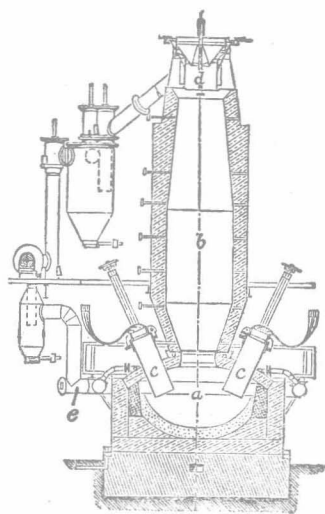


圖 49. 電爐

化碳等，上昇至爐身  $b$ ，傳其熱於配料，且稍行預備之還原作用。爐煤氣復由  $e$  管返入爐底部  $a$ ，直射底蓋而冷却之，由變更此氣體循環之速度，可使  $\text{CO}_2$  與  $\text{CO}$  之相對量約相等，而爐頂氣體之溫度，由此可保持二三百度。此與普通化鐵爐同樣，在爐之上部，礦之被還原者多，而還原之效率，以電爐為更大，此由爐煤氣中所含二氧化碳之量較多（比較普通化鐵爐多含  $\text{CO}_2$ ），可知其然。爐身支持於六鐵柱上，與爐底獨立，爐全體滿裝礦石，僅於底蓋與底部鄰接處，留一空間，使電極不致在爐壁附近與礦石相接觸，由此可減少爐壁之損壞。

熔解帶位於三電極之間，由變更電壓，使爐溫之加減極能自由，故可得任意之含硅量。且可利用高熱及鹽基性渣，將硫容易除却，由含硫 0.5% 之鐵礦，能煉出僅含硫 0.005% 之銑鐵，蓋因電流發生碳化鈣，亦其原因之一。磷則不能驅除，故欲得少磷之銑鐵，必用少磷之鐵礦，及木炭為還原劑。

電效率 (electric efficiency) 至 58%，平均每煉銑鐵一噸，電能之消耗等於 0.492 馬力年 (horse-power-year)。倘底部聚積銑鐵過多，則電壓低落，故每六小時，須放鐵一次。此爐之工程，每日約可出銑鐵六噸，對於 100 尅之礦，約用四尅之石灰及 21 ~ 28 尅之木炭（或 22 ~ 24 尅之焦炭）。對於煉銑鐵一噸，碳之總消耗約 560 磅，又電極之消耗在 24.5 ~ 42.7 磅之間，平均 30 磅，則每噸之煉費為：

木炭費(每噸美金八元)

\$ 1.92

|                |          |
|----------------|----------|
| 馬力費(每馬力年美金十二元) | 6.00     |
| 電極費(每磅三分)      | 0.90     |
| 雜費             | 1.50     |
|                | \$ 10.32 |

故倘焦價及每噸美金七元，則二者相差不遠。在美國加利福尼亞州，亦用此種電爐煉礦，成績昭著。其電力消耗僅及0.2馬力年云。

### 電煉鋼法：

電煉鋼在工業上或實際上，毫無困難。無論用何種電爐，如吉羅(Girod furnace)，如斯塔薩諾(Stassano)，如耶魯爾(Heroult)，如芮希林羅顛浩左(Roehling-Rodenhauser)等，皆可適用。煉鋼之原理，與馬丁法、柏塞麥法、攪煉法等迥無少異，其所以在今日尚不能盛行者，實因經濟上不能與馬丁柏塞麥法抗衡之故；換言之，對於驅除同量之硅、碳、錳、磷等，用電煉法則所費多多也。惟對於高價合金鋼之熔解，則電爐較勝於開爐等，蓋在此可免鋼之損失及氧化故也。

## 第三節 鋼之再精煉法

由上所述，對於普通煉鋼，尚難與馬丁諸法匹敵，然電煉法之特長，在已成鋼之再精煉，如脫硫、脫氧及除却鋼中所含之渣與氧化物等。電煉法之所以能達此種目的者，因其能於非氧化氣圈(non-oxidizing atmosphere)，可使熔鋼之溫度增高也。關於此點，電煉法頗與坩堝法相似，但有勝過坩堝法者二端，即脫硫之力較大，與工作之費較輕；然以

改設電爐，須從新投資，欲工作費輕，必規模廓大，且因坩堝鋼在市場上已得之地位，與對於坩堝廠所已投之資本，故得維持至今，未全為電煉法所取代，一如馬丁柏塞麥法發明，而攪煉法猶能維持數十年之久，由此可知完全改革之良非易易也。

對於在開爐及迴轉爐已煉成之鋼，用電煉法行再精煉之時，可分為二期：首由氧化期行脫磷作用，繼由還原期以驅除硫及包含物。但對於鹽基性開爐法，似宜以電煉法之氧化期繼續行於鹽基性爐中，俟磷已脫盡，乃行第二之還原期於電爐中。

在開爐迴轉爐中，應將碳、硅、錳驅除至可能的極低點，而後以熔體直接裝入電爐（或經過混鋼爐 mixer），加適當材料，使做成鹽基性而富有氧化力之渣，且使多含鐵，與攪煉爐渣相似。此種渣之特色，乃因氧化鐵不僅有保留磷之性，且可使磷氧化，至若渣之因石灰而呈鹽基性者，雖能吸磷，但無使磷氧化之性，且做石灰渣費用較多，又不能如氧化鐵渣之還原時能收回一部分之鐵。在電爐精煉之原料（即開爐迴轉爐鋼等），含碳必不宜多，否則所加之氧化劑，只與碳化合，致無暇與磷作用。倘鋼中待脫之磷過多，則宜將第一次磷渣傾出，再做第二次渣，蓋第一次渣已含有適量之磷，則失其吸磷之性，此由於磷之分配於渣與鋼，常有某種比例，故不能使高磷之渣，再由低磷之鋼中吸取磷。

俟磷已脫至目的成分，乃將氧化性渣可能的完全除去，



另做新渣,使含石灰70~90%,含氧化鐵錳則極少,至此乃始加碳脫氧(deoxidation)。碳之脫氧作用,主行於浮游鋼面之渣,但由此即以增加渣之吸收鋼中氧化物之性,蓋氧化物之分配於渣與鋼,亦有相當之比例也。此加碳脫氧作用,可由加硅,錳,鋁以輔助之。

須俟可還原之氧化物(主為氧化鐵錳)幾全由渣與鋼脫離之後,脫硫作用乃能實現:



此時渣呈雪白色,冷時可跌成粉末,二者皆足以證明渣中含氧化鐵錳已極少,又碳化鈣之存在,亦可做證。

脫硫之完全,為電煉法之特色。在鹽基性開爐中,亦可利用極強之鹽基性渣及硫之分配於渣與鋼之比,達脫硫之目的。但硫之分配比例,關係於渣之鹽基性度(basicity),渣之流動性,渣對於鋼之容量及渣中所含氧化鐵之多少。在開爐中,頗難得如許高溫,使極強之鹽基性渣能成流動性,又因爐內之氧化作用,渣中之氧化鐵不能極少,加之開爐所用之發生爐煤氣,必含少許之硫,正與脫硫作用相反,以故由開爐煉鋼法,殆不能得硫在0.02~0.03%以下之鋼,此開爐法之所以不及電煉法者。錳可為脫硫之助,前已言之,在電煉法亦然,此蓋由於硫化錳之集中於爐渣之性較大,故能使硫與石灰接近,以促進上述(1)(2)之變化。

微粒氧化物之包蔽於鋼,恰如酪之在牛乳中,殊難急促上泛,但苟如電煉法之在脫氧脫硫期,予以長久之靜置時

間，則其大部分浮上，與渣結合。又在電煉法，不如常法之須加錳、矽、鋁以供脫氧之用，故最後氧化物生成之機會較少。

### 第四節 電爐

電爐者，乃利用電流之熱能，俾適於冶金目的之裝置也。其種類可大別為三：

(1) 弧光爐(arc furnace)：此種爐之熱源，乃兩極間所發之弧光，由放射及傳導作用，傳其熱於金屬。常用之爐，為耶魯爾式，吉羅式及斯塔薩諾式等。

(2) 抵抗爐(resistance furnace)：熱源乃由電流通過金屬時所生之抵抗。熱度不能如弧光爐之高，故不甚適用，吉羅式爐乃兼有弧光與抵抗者。

(3) 誘導爐(induction furnace)：此於第一輪線，通以高壓電流，則熔鋼中受誘導作用，發生二次之低壓高度之電流，此變為熱。匱爾林及芮希林羅顛浩左式屬於此種。以下示三種爐之略圖。

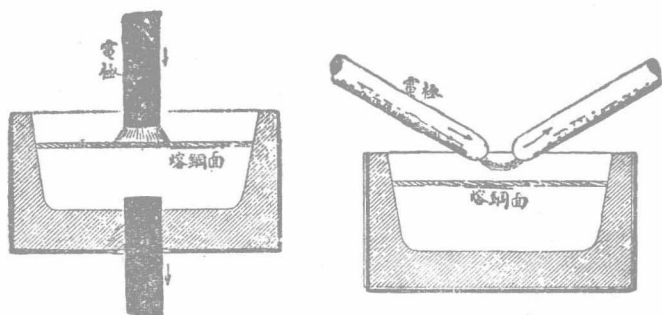


圖 50-51. 弧光爐

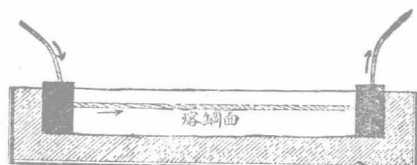


圖 52. 抵抗爐

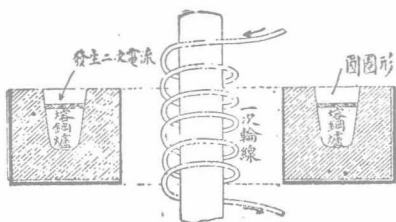


圖 53. 誘導爐

## (1) 耶魯爾電爐 (Heroult electric furnace)

耶魯爾電爐乃電爐之最古而容量最大者，德國有二十二噸及二十五噸之爐，皆以開爐及迴轉爐之熔鋼為原料，行再精煉，得頭等鋼料。

爐外殼由厚鐵板釘成，底部為半圓，固定於具有弧形齒輪之臺上，由水壓或電裝置，使爐能迴轉傾注。爐之內部

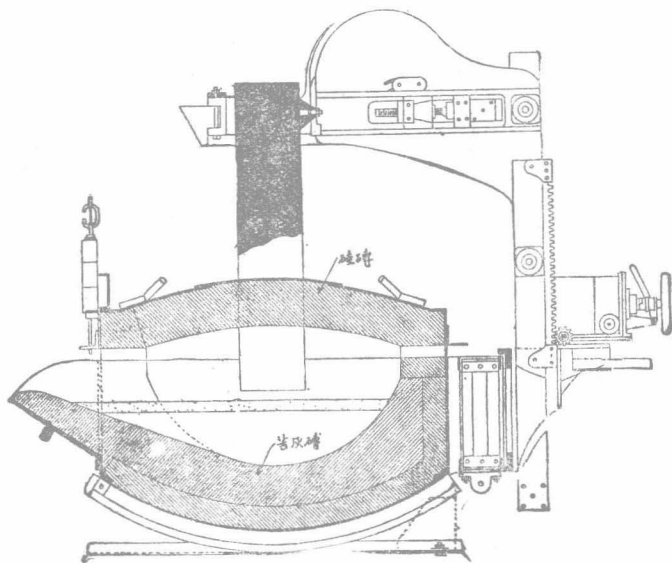


圖 54.

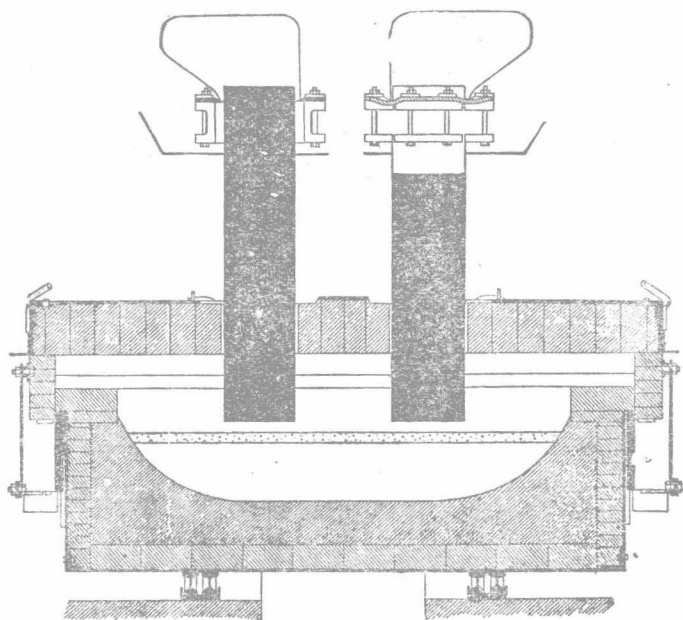


圖 55.

築耐火材料，爐前設出鋼口，爐後則設裝入口，兼除渣之用。電極由爐頂插入，支持於爐側之腕木，由聯動裝置，使能於水平垂直二方向自由運動。精煉時需最高熱度，故宜將電極與熔渣間之距離十分縮短，使第一電極與渣間發生之弧光，通過渣中，與第二電極間，又發生弧光，由此二弧光之放射熱，及渣中電流所生之抵抗熱，故渣之熱度大加，因傳其熱於鋼。圖 54 及 55，示此種爐之橫縱二斷面圖，爐底由苦灰磚或苦灰粉築成，爐蓋用硅磚，電極插於其中。電極能自由上下以調整電流。

用固體原料時，先裝入石灰及鐵礦，又加鋼鐵屑等，乃將

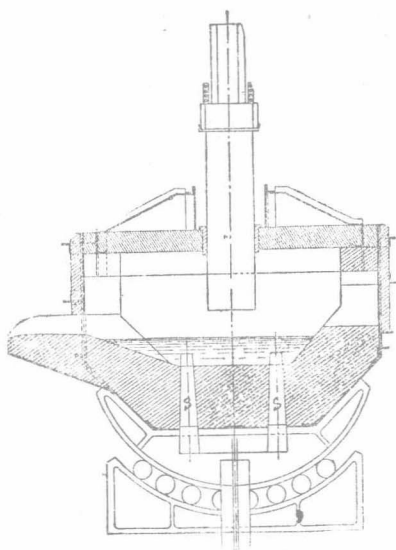
電極十分放下，使電極與裝入物之間，構成電路 (electric circuit)。在未熔解之先，裝入物吸收電能，發無數之小弧光及強大之抵抗，由此生熱，裝入物漸次熔解，於是電極與熔體間構成大弧光，電能之大部分，吸收於此。及全部熔解，乃將電極調整，使恰在渣面上。又加入石灰鐵礦，如普通開爐作業行之，俟渣已生成，乃斷絕電流，將爐體放偏，扒去爐渣，然後再加石灰，螢石及少量之鐵礦，通入電流，使組織新渣。如此反覆施行，至將不純物質全體脫除而止。倘所欲煉者為極軟鋼，則於除最後爐渣之後，加含錳 80% 之錳鐵約 0.4~0.6%，即行出鋼。倘煉硬鋼，則有加碳之必要，故加入適量之純碳與鐵之混合物，及 4% 之硅鐵 (含硅 12% 者)。其取試料及試驗之法，與開爐同。

將固體原料熔解而精煉之，使成含碳 1.0% 之鋼，對於此所消耗之電能，視爐之大小，約 700~1000 瓩時 (kilowatt-hour)。由 110 噸鋼屑可煉出鋼塊 100 噸。對於熔鋼精煉時所消耗之電能，每煉鋼一噸，約 120~300 瓩時。

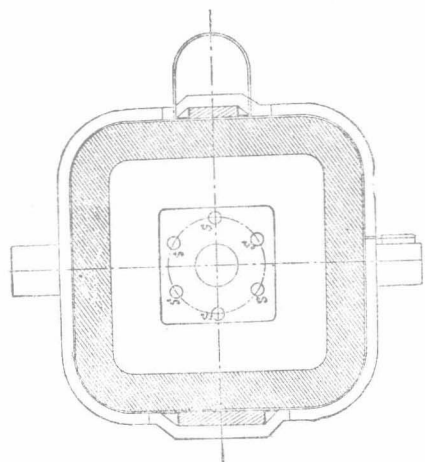
## (2) 吉羅電爐 (Girod electric furnace)

吉羅電爐亦弧光式中之最常用者，今日最大之爐，已達十二噸，此後最有發展之希望。

吉羅電爐乃由鐵板組成方形之箱爐，底以苦土或苦灰築之，爐前設出鋼口，爐後設三裝入口，爐蓋由硅磚砌成，以鐵棒支持之，碳電極由爐蓋插入。爐體能自由向前後傾倒，以便出鋼與渣。爐底中設鋼電極凡六或以上，與爐之外殼及發電機 (dynamo) 之低壓 (low tension) 相接，故電流



斷立面圖



斷平面圖

圖 56-57. 吉羅電爐

由碳極入，在鋼面上放出弧光，通過鋼中，由鋼極復返。鋼極之所以如圖配置者，蓋使電流普及熔鋼全體，熱度得以平均也。鋼極之上端，與熔體接觸，易受侵蝕。故如圖 58，於鋼極下端，設冷却裝置，冷水由 *a* 管流入，經過 *b*，由 *c* 管流出。

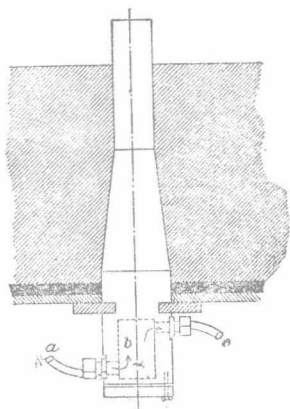


圖 58. 鋼極冷却裝置

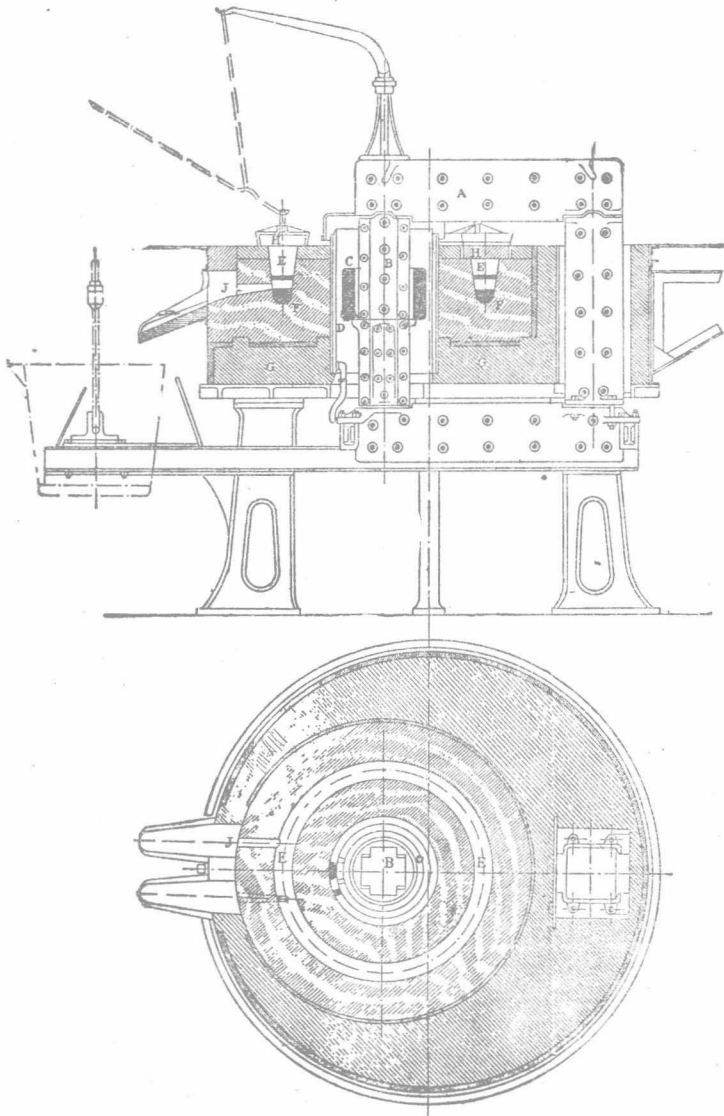
(3) 賈爾林電爐 (Kjellin induction furnace)

賈爾林電爐乃誘導式電爐之鼻祖，其作用與普通之變壓機(transformer)同理，使高壓之交流，變為低壓，再變為熱能，以代燃料之用。故爐中無煤氣及氧化作用，倘與坩堝法同樣，揀選上等原料，其產品亦能與坩堝鋼抗衡，全無遜色。此爐又可供再精煉之用。

圖 59 及 60，示此爐之構造。B 乃電磁石之心(core)，由無數薄鐵板絕緣重疊之成十字形心之周圍，以絕緣之鋼線所成之圈(coil) C 圍之。E 為環狀溝，與圈 C 成同心圓，即煉鋼之所，裝入物在此間構成二次電路。G 為爐基，其上砌以硅磚或苦土磚，俾成爐底 F。H 為爐蓋，由數節接合，以便搬移。J 為出鋼口。工作時將熔鋼注入 E 中，通高壓之交流於 C，因誘導作用，在 E 中發生低壓之交流，此受熔鋼抵抗，乃變成熱，以維持或增高 E 中之溫度。誘導電流之強，約與圈 C 之數及其安培(ampere)數之乘積相等。今約裝入一噸之熔鋼，送入三千弗打(volt)九十安培之電流於一次電路，則在二次電路得七弗打與三萬安培。據瑞典國實例，在 125 瓩爐中，每煉普通工具鋼一千瓩，需電量 650 瓩時，對於高級鋼，則需 750~800 瓩時。爐之效率 70~75%。

(4) 芮希林羅顛浩左爐 (Roehling-Rodenhauser furnace)

賈爾林電爐只適於熔煉少量之鋼，蓋苟將熔鋼之斷面擴大，則抵抗減少，苟將環狀溝之直徑加大，則與一次電路遠隔，效率不佳。且熱度不甚高，不能維持在驅除硫磷所



■ 59-60.



必要之渣,故此爐祇適於代坩堝法之用。補此爐之缺點,使能達精煉之目的者,乃芮希林羅顛浩左之抵抗誘導並

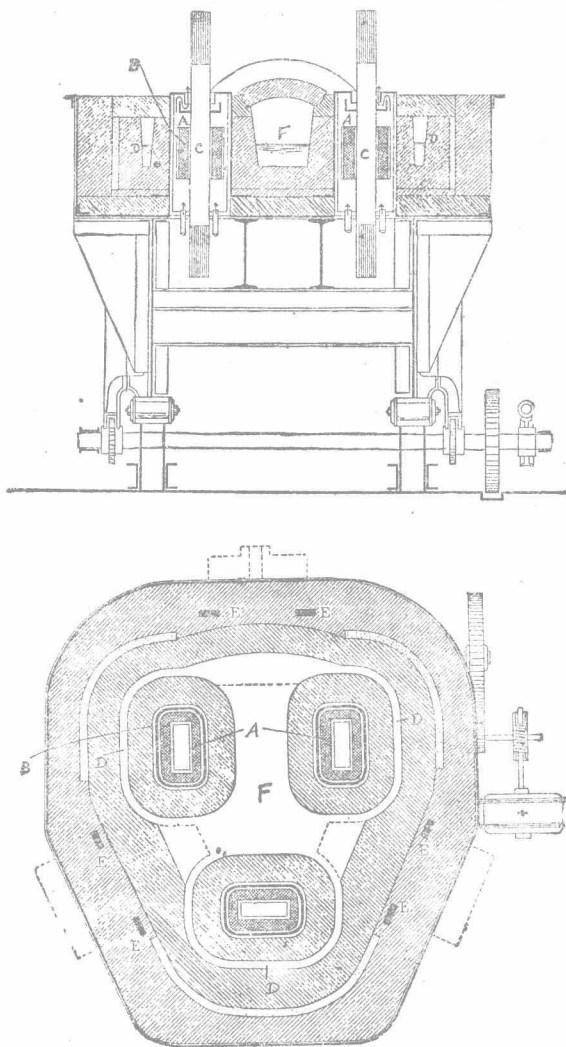


圖 61-62.

用之電爐，如圖61及62所示。A為一次電路，D如匱爾林爐之環狀溝，但在此則與爐中央部之巨窪F相連絡，此窪即主要煉鋼之所。熱之發生，與匱爾林爐無異，而效率則過之。爐窪較大，故便於工作，產額亦多。在此種爐中，熔鋼常循環不息，故成渣材料及由裝入口所加之配合劑，能全體混和。爐為鐵板製之盆形，其半圓形之架臺，固定於輓輪之上，以便爐體之傾斜。工作與常行之煉鋼法同。

電煉鋼將來極有希望，惟現今電之價格太昂，尚難與開爐迴轉爐諸法競爭，但對於製煉優良之鋼品，如坩堝鋼特殊鋼者，則已收極好之效果。

磷硫在電爐易於除却，前已言之，茲記吉羅鋼廠所出之電鋼之成分如次，可知含硫磷之少：

|     | 碳     | 硅     | 錳     | 磷     | 硫     |                       |           |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|-----------|
| 極軟鋼 | 0.079 | 0.108 | 0.205 | 0.015 | 0.012 |                       |           |
| 軟鋼  | 0.236 | 0.180 | 0.481 | 0.012 | 0.010 |                       |           |
| 半軟鋼 | 0.283 | 0.208 | 0.430 | 0.014 | 0.010 |                       |           |
| 半硬鋼 | 0.388 | 0.155 | 0.342 | 0.011 | 0.009 |                       |           |
| 硬鋼  | 0.596 | 0.198 | 0.302 | 0.017 | 0.005 |                       |           |
| 鎳軟鋼 | 0.060 | 0.123 | 0.209 | 0.013 | 0.007 | Ni, 3.47              |           |
| 鎳硬鋼 | 0.364 | 0.144 | 0.435 | 0.012 | 0.015 | Ni, 3.41              |           |
| 鎳鉻鋼 | 0.420 | 0.199 | 0.500 | 0.010 | 0.009 | Ni, 25.53;            | Cr, 0.77  |
| 工具鋼 | 1.223 | 0.168 | 0.224 | 0.011 | 0.010 |                       |           |
| 工具鋼 | 1.474 | 0.199 | 0.264 | 0.015 | 0.007 |                       |           |
| 工具鋼 | 1.251 | 0.176 | 0.258 | 0.010 | 0.008 | Ni, 0.49;             | Cr, 1.21  |
| 工具鋼 | 0.689 | 0.029 | 0.096 | 0.012 | 0.009 | Cr, 0.07;<br>W, 25.82 | Mo, 0.46; |

## 第八章 鋼塊鑄造法

### 第一節 鑄造法

將前述各煉鋼法所得之熔鋼，注入鑄模，俾成各種形狀。模之具特形者，稍經鑿削，即得製品，曰鋼鑄品(steel castings)。鋼之用於製造鋼軌鋼條者，先鑄成簡單柱形，而後由各種軋機(rolls)製成目的之製品，此未成製品之簡單柱形，曰鋼塊(steel ingot)或鋼鑄塊。鑄品之鑄造法，即常稱翻砂者，屬於機械的範圍，茲僅就鑄塊之鑄造法論之。

由煉鋼爐所出之熔鋼，先以挹注桶(ladle)受之，再由此注入鐵模。挹注桶為軟鋼板所製，內面裹以火磚，厚約六英寸。桶底之一隅，砌以出鋼口磚(nozzle-brick，為石墨或燒黏土所製)。磚之中央，具一圓孔，由火磚栓(stopper)開閉之。桶外設槓桿裝置，使栓得以上下自由，故由此得以任意加減出鋼之量，且使浮於鋼面之渣，不至混入鑄模中。

鑄模(ingot mold)乃生鐵板所製，為空筒形，乘於厚生鐵板上，此曰底板。鋼塊之斷面形狀不一，用於軋軋者輒為四角形，用於煅煉者則多為圓形，六角形，八角形等。鋼塊之徑與高之比，應一與二至一與三之比，徑過小則不能得組織緻密之鋼，過大則加工時作業較繁，且以周圍之收縮率大，易起龜裂。鑄模宜較鋼塊約高五英寸，內側稍斜，以便將鋼塊抽出。模壁之厚由二英寸至四英寸。圖62示常用之三種模型及常用之底板，但底板之用於由下注者，

於底面中央有一凹處，由此分出溝道，內置中空火磚，為熔鋼之通路。模之壽命平均五十次至一百次，宜準備多個，

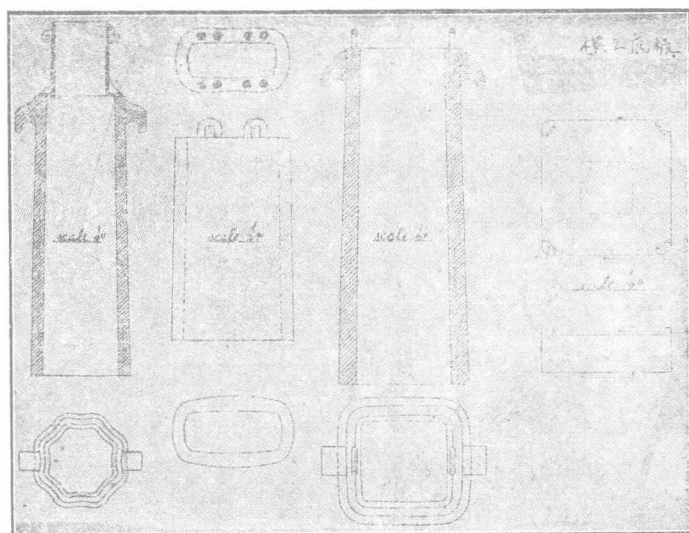


圖 63. 三種新鋼模

擇其完全冷却者用之。鑄造時排列鑄模於模臺車上，用動力裝置之臺車押送機 (car-pusher)，使臺車移動。注鋼於鐵模之法有二：由上注者，直接由挹注桶底之出鋼口流入模中；由下注者，先經過注入管，傳於模下之火磚管，而後上昇。此種下注法，僅對於鑄造特殊鋼塊及多數之小鋼塊時用之，二者之利害，容後再論。鑄就之後，用起重機將鑄模拔出。

## 第二節 鋼塊之弱點

凡熔鐵凝結時，其內部屢成空窩 (cavity)，試將鋼塊切斷，

檢其斷面，知全面之具緻密組織者甚少，苟以放大鏡視之，常見有多數之小孔，將此種鋼塊於加熱之後，施以煅煉軋展諸作業，仍不能得完全無缺之製品，故宜於鑄造時特別加意，務求鑄成少有此種缺點之鋼。查鋼塊中空窩生成之原因有二：(1)收縮管(shrinkage pipe)，此因熔鋼冷卻時所受之收縮作用。(2)氣泡(blow-hole)，此因熔鋼凝結時，已分離之氣體，失逃散之機會，乃包藏於鋼塊中。茲再詳論之。

### 1. 收縮管

試考查鋼塊凝固之次序，最先冷卻者為與鑄模相接之部分，由此漸向內部，逐層凝固，終達鋼塊之中心。當中心未凝固之前，外部早已凝固，並容積收縮，及最後之中部凝固時，外形已定，故最後凝固部分乃成空虛。今苟於鑄造時，將熔鋼由上部徐

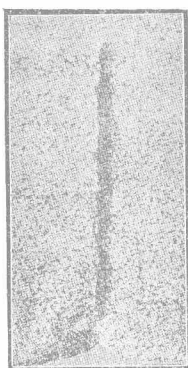


圖 64.

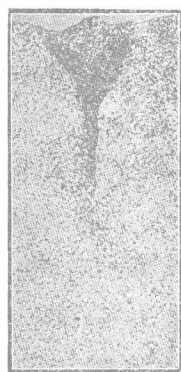


圖 65.

徐注入，則模之上部，最後受高熱之鋼，故其凝固最遲，如圖 65 所示，收縮乃集中於鋼塊之上部。苟將熔鋼迅速注入，或由模底注上，則全部之冷卻平均，故縮管及於全體，如長溝然，如圖 64 所示。收縮管之內部，幾成真空，故於尚未完全凝固時，頂部受空氣壓力，致陷落成漏斗形。管之內壁，

概發生樅樹狀之結晶體，大者至長數英寸。凡鋼之收縮率愈大，熔鋼之熱度愈高，及鋼塊之愈大者，則收縮管亦愈大。鋼之收縮率由 $\frac{1}{50}$ 至 $\frac{1}{72}$ ，含碳愈少，則其率愈高。

## 2. 氣泡(氣眼)

鋼在熔體時，有吸收氣體之性，而以對於氫、氮之吸收力為最大，及鋼之壓力稍減，溫度漸低，其溶解氣體之力亦漸小，故分離氣體之一部分，於鋼未凝固前逃去外界，其一部分則因鋼已凝固，失其逸散之路，乃保留鋼中，終成氣泡，故鑄造時頂部屢呈膨脹現象者，乃下部遊離之氣體上昇，至此外殼凝固，失其去路所致。再詳言之，鋼與模相接處，最先凝固，故此處遊離之氣體，不能上昇，乃於殼內成極小之氣泡，以後遊離之氣體愈多，皆侵入先成之小氣泡中，致氣泡廓大，向中心延長，與鋼塊面殆成直角，至最後由中部遊離之氣體，乃成氣泡於鋼塊之上端。圖66乃多含氣體之鋼塊斷面，由此可明白氣泡之分布狀況。

氣泡位置之深淺，極影響於鋼塊之加工作業與製品之價值，蓋位置淺者，加工時容易露出表面，使工作困難，價值低減，故以深者為佳。概言之，熔鋼與鑄模之熱度愈低，則氣泡之位置愈深，但以鋼之熔點，恆關係於化學成分，碳、磷、硅等愈多，則熔點愈降，故必

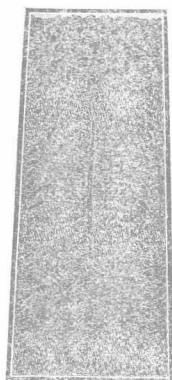


圖 66.  
鋼塊中之氣泡

適應熔鋼之成分，以加減其熱度，總求不超過熔點上而過熱之。

氣泡中之氣體，以氫為最多，氮次之，一氧化碳再次之，茲示其容積之百分率如次：

|      | 迴轉爐鋼軌(加錳鐵以前) | 迴轉爐鋼軌(加錳鐵以後) | 開爐鋼  |
|------|--------------|--------------|------|
| 氫    | 88.8         | 77.0         | 67.0 |
| 氮    | 10.5         | 23.0         | 30.8 |
| 一氧化碳 | 0.7          | -            | 2.2  |

熔鋼在冷卻中，放出遊離之氣體，其表面見有火焰者，乃放出之氣體與空氣接觸即起燃燒所致，故冷卻度漸加，火焰乃漸小，此即放出氣體漸少之故。又由鋼塊表面，發放花火極多，此由鋼面漸失流動性，致礙氣體之通行，而下部遊離之氣體，強迫噴出，故伴有熔鋼之細粒，此即花火。茲示噴出氣體之容積成分於次：

|             | CO   | H    | N    | CO <sub>2</sub> |
|-------------|------|------|------|-----------------|
| 柏塞麥鋼(加錳鐵以前) | 18.6 | 54.2 | 24.9 | 2.3             |
| 柏塞麥鋼(加錳鐵以後) | 37.3 | 47.3 | 7.9  | 7.5             |
| 馬丁鋼(加錳鐵以前)  | 48.0 | 35.1 | 15.4 | 1.5             |
| 馬丁鋼(加錳鐵以後)  | 46.1 | 43.6 | 6.9  | 3.4             |

### 3. 析出

熔鋼所含之諸成分，各處相等，完全為均一之質，及一旦凝固，不免略有差等，此因成分有析出 (segregation) 之性。鋼塊凝固之遲速，內外不同，當外部凝固時，其中成分之熔點低者，尚未達凝固之溫度，故逸出範圍，羣集於中央，例如

磷硫之熔點低者，多聚合於最後凝固之中部或頂部。概言之，鋼之冷却作用愈緩，及容積愈大，不純物愈多，則析出愈甚。下表乃含磷硫頗多且徐徐冷却之鋼塊之頂部與底部之成分：

|    | 鐵     | 碳    | 硅    | 硫    | 磷    | 錳    | 銅     |
|----|-------|------|------|------|------|------|-------|
| 頂部 | 98.21 | 0.68 | 0.02 | 0.14 | 0.14 | 0.68 | 0.004 |
| 底部 | 99.03 | 0.39 | 0.02 | 0.04 | 0.06 | 0.50 | 0.004 |

由析出之理由，可知收縮管所在，即析出體聚集之處，二者皆有害於鋼質。

### 第三節 鋼塊弱點之救濟法

上節所述各端，極為鋼塊及鋼鑄品之害，對於此等救濟方法，久為技術家苦心研究之問題，但未得完全解決之道，以下各法，乃鋼鐵廠所常用者。

#### 1. 調整熔鋼之化學成分

倘鎔鋼中所含之一氧化鐵不多，則一氧化碳之生成減少，因而氫之分離亦隨之減少，故倘鎔鋼中少含一氧化鐵及氫，則冷却時必少有氣體遊離，此坩堝鋼之所以能得較緻密之組織也。又鋼之含硅與鋁者，其使氣體遊離之力較小。

鎔鋼含碳，錳，硅愈多，則一氧化鐵之量愈減，但鋼之含碳量，隨用途而定，不能任意伸縮，如製煉軟鋼，則不容碳量增高，故惟有脫碳而保留硅錳，以防一氧化鐵之生成，但此在煉鋼作業時殊難作到，實際上亦必含有多少一氧化鐵，故



如柏塞麥及馬丁法之常受空氣之氧化作用者，常於鑄造之前，加入還原劑，以分解一氧化鐵。還原劑之最常用者為錳，煉鋼作業之終期，加入鏡鐵及錳鐵者，即分解一氧化鐵之目的，其加入之量愈多，則分解愈速，且有幾分脫硫之效力，但脫氧後鋼中所含之錳，以少則0.25%多則1%為限。

加錳固為煉鋼中最重要者，但僅此不能完全阻止氣體之分離。蓋錳對於氫之分離，不能直接發生效力，且生成之一氧化錳之一部，為鋼中之碳所還原，乃發生一氧化碳，又錳鐵中之碳與熔鋼中之氧結合，亦發生一氧化碳，故加錳鐵時之呈沸騰現象者，乃一氧化碳逸散之故。

加錳之外又加硅，則於妨止氣體之遊離，其效更大。蓋硅不僅與一氧化鐵作用，且能阻止氫之遊離，故苟專以此為目的，則僅加硅亦可。但對於含氧之鋼，不加錳而單獨加硅，大有害於鋼之性質，故必硅錳並加。而對於鋼之須具可鍛性，鍛接性及韌性者，硅之加入量尤宜注意。但如鋼鑄物之極厭惡氣泡之生成，而於可鍛性等不甚重要者，則以稍多加硅為常。

有加入少量之鋁，大足以減少氣體之分離者。由礬土之分子式計算，鋁之脫氧力三倍於錳（硅則四倍於錳），且對於氧之親和力大於錳硅，故一旦生成之氧化鋁，再無還原之患。但鋼中稍有過剩之鋁，為害滋大，此可使鍛接性可鍛性減少，收縮率增加（此助長收縮管）及流動性減少（此助長氣泡），故最宜審慎。通例先加錳，最後加鋁，以補錳之不及。鋁與鐵不能成合金，故必加金屬鋁，此之比重甚

輕，稍不注意，則浮於鋼面，空被氧化。

## 2. 棄置鋼塊之上部

由前所述，知各種弱點，聚集於上部者居多，倘留心鑄造，或特設相當之設備，使內部久保熔融狀態，則弱點更集中於上部，而上部以下，則成完全之鋼。茲苟欲得二英尺高之鋼塊，先鑄成高二英尺五英寸者，後將此上部之五英寸切斷棄之，此五英寸之部分曰「沈頭」(sinking head)。沈頭之利益，固能使鋼塊之主要部分得完全之組織，但切斷時頗費手數，且減少鋼塊之產量，間接則增加燃料之消費，故此法僅於鑄造極重要之鋼塊不得已時用之，而沈頭之量，務求少而能達到目的。

## 3. 鑄造大鋼塊

鋼塊愈大，則冷卻作用愈遲，此可減少氣體分離之量，又可使分離者能逃出鋼塊之外，但對於此種大塊之加工，須設強大之機械裝置，且有收縮管及析出之患，故其大小自有限制。

## 4. 鑄造時應用下注法

用上注法時，流下之熔鋼，常吸引空氣，侵入鋼塊，此空氣之一部分，與分離之氣體，殘留鋼中，致成氣泡，倘用下注法，常使管內充滿鎔鋼，則可免吸引空氣之害。下注法之押上運動，可衝破鋼表面所生之殼，俾遊離氣體常有遁路，故能減少氣泡之生成，且不致發生如圖 65 所示之空窩，因之析出作用亦為減少。此法雖手數煩冗，且須耐火材料，頗不經濟，然以有上述之各長處，故常有應用之者。

## 5. 於熔鋼未凝固前加以機械的壓力

於未凝固前加以高壓，不僅可以妨氣體之分離，且可使已分離者容積縮小，此現象與壓力並加。利用此原理之方法頗多，其中最簡單者如圖 67 所示。此於熔鋼上部，鋪砂粒黏土等，高達鑄模之上，其上覆以鐵蓋，由楔緊壓之。惟此種壓力有限，當氣體盛行分離時，屢有壓開鐵蓋而噴出者。英國某工廠，應用每平方呎六百呎之水壓力，壓至二十分至四十五分鐘之久，但仍不能免收縮管之生成。

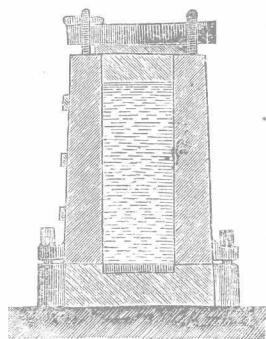


圖 67.

此外有於真空中行鑄造之法，其理由適與上相反，此法之目的，欲使氣體完全逸出，且免吸引空氣之弊，此雖屢經實驗，尙未聞見諸實施。

熔鋼鑄造時所不宜須與忘却者，務以可能的極低之熱度及靜慢之作業法，此二者於鋼之組織上有重大之關係，特行之維艱，技術家能以爲作業之理想者庶乎其可。

## 第九章 鋼料造形法

### 第一節 概言

鋼之造形法有二，即鑄造法與機械法是也。二者之選擇，關係於製造之費用及製品之大小形狀與目的。製品之過大而複雜者，非機械的壓力所能製造，故必用鑄造法。又製品之須具強大之可延性及抗強者，則宜用機械法。蓋須經過機械的作業，始能得如許性質之鋼。此外製品之種類極多，要不外由經濟上與材料之性質上定之，換言之，鑄造法之價廉，而機械法之物美也。

抗強與可延性增加之原由，由於(1)晶體之縮小與鋼粒之接近；(2)大小氣泡之閉合，因此在高溫高壓之下有鍛合之性；(3)晶之凝聚與附着(cohesion and adhesion)增加。此等效能，皆足以增長鋼之比重與硬度。

凡金屬皆為結晶性物質，一旦由熔體結晶，則晶之生長極速，且既成之晶，其大小不能更變，除非用軟化(annealing)或機械力以壓碎之。晶之大者，附着力小，致成弱脆之物，故用軟化或機械力以救濟之。

金屬受變形(strain)時，晶首先伸長，其伸長之度，自然與變形成正比例，變形復原，則晶亦復原，苟變形超過彈性限度(elastic limit)，晶則屈服，其分子沿裂開面滑動，致成永久變形或延長。

金屬所受之機械壓力，將晶體壓碎而混合之，且破其裂

開面，倘工作在赤熱以上停止，則晶之一部復現，故宜繼續工作，俟金屬已冷，使晶無復活之機會，此時抗強，硬度與脆性等大為增加。以上就一般金屬言之，鐵與鋼亦然。

機械壓力應用之法有三：(1)打擊法 (by hammering)，此法行之最快，甫變形時壓力已去；(2)軋輾法 (by rolling)，此法稍遲，壓力至完全變形後始去；(3)壓榨法 (by pressing)，此法最遲，完全變形之後，仍繼續受壓至一秒鐘之久。三法之中，以軋輾法手續最簡，故其價廉，但製品之質，不如他二者之佳。壓榨法與打擊法比較，壓力更能深入鋼中，故適用於製造大製品。

機械造形法又有高熱工作 (hot-working) 與低熱工作 (cold-working) 之別，後者能得較強，較硬，較精確之製品，且其表面之粒較細。工作之前，須將鋼浸於稀硫酸中，除去鐵銹，使呈光滑面，俾直接適用於機軸及鍍鎳等。冷軋鋼常用於機軸，鐘錶，發條，鋸刀等類。但鋼之延性與熱度並加，故通常用高熱工作法。

## 第二節 烘烙爐

鋼鐵之可鍛性與溫度並加，故加工時概先熱之。所用之爐，對於小塊，可用普通打鐵爐，大塊則用反射爐。爐之大小形狀，隨鋼料之大小形狀而異，如烘鋼板者其爐宜扁平，烘鑄塊者則宜細長。燃料或用烟煤，或用發生爐煤氣。爐之最大者，常附設熱風爐。爐之火焰愈為還原性者愈佳，否則老產鐵皮 (scale, 即氧化鐵)，而以烘鋼板時為尤甚。

圖68所示為連續爐 (continuous furnace), 用於烘鋼片及其他小品者。爐側設多數之工作門, 以便檢查爐內之情況。烘室稍向前(火室)傾斜, 鋼片等由後端裝入, 向前部推

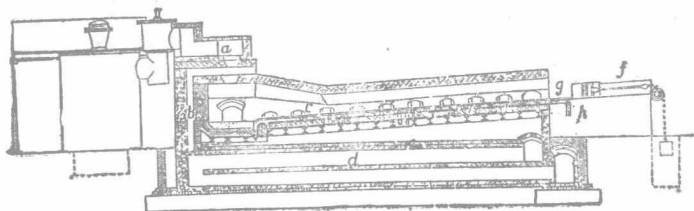


圖68. 連續烘烙爐 (heating furnace).

送, 適與火燄逆行, 故熱頗能利用。爐底之上, 排列通水之鐵管, 自裝入口至抽出口而止。圖中 *a* 為煤氣噴出口, *b* 為已預熱空氣之路, *c* 為烘烙室, *d* 為煙道, 即預熱空氣之處, *f* 為推進裝置, *g* 為裝入口, *h* 為鐵管。

烘烙時所宜注意之事項: (1) 鋼之各部應熱度均一, 苟有過不及, 則硬軟不同, 鋼質致有等差; (2) 鋼之內外應可能的使其熱度均勻, 鋼之被熱乃自外而漸及於內, 故欲其絕對的內外同熱, 固屬至難, 然苟有大差, 則不免有發生裂罅之憂; (3) 應隨鋼質之軟硬, 定烘烙之程度, 蓋質之軟者, 雖熱至高度, 而性不大變, 硬者則變化甚敏; (4) 熱之過久, 過高, 過急, 均為有害, 蓋過久則組織上發生變化, 致其性較脆, 過高則組織粗大, 亦成脆性, 過急則內外之熱度不均。

### 第三節 打擊法

此法在造形法中為最古, 最初用手鎚, 漸改用水力, 更進

而用汽力。用此法時，其打擊作用，不僅及於表面，務求直達內部，故宜用適當之打擊力，蓋過大則恐亂內部之組織，過小則力不能及於內部。

汽鎚 (steam hammer):

此在垂直汽筒之活塞桿 (piston rod) 之一端，附以鎚頭，由汽力使鎚頭上下，因行打擊作用。汽鎚之特長，乃打擊之強弱及衝擊之大小緩急 (length and number of stroke)，均能自由加減。

汽鎚初發明時所用者，僅由鎚頭及活塞桿之重量落下行打擊，汽力則僅用於抬舉鎚頭，此在今日，徒供製煉熟鐵時榨取鐵渣之用。現今通用之汽鎚，鎚頭向下動時，亦加用汽力，使落下較速，且增大打擊之力，此種汽鎚，能減小鎚頭之重量與衝擊，故可增加同時間內之打擊數，又如工具鋼煅煉時之須在適當溫度者，尤有迅速打擊之必要，此特稱速動汽鎚。

圖 69 示汽鎚之構造。d, d 為機架；a, 鎚頭；b, 活塞桿；c, 汽筒；e, 活瓣；i, 活瓣柄，由此使活瓣開閉，以調整鎚頭之上下運動；l, 汽管；f, 鐵砧，楔合於鐵砧臺；g, g 釘於木臺上，利用木料之彈性，以輕減鎚頭及於附近之振動。

此種汽鎚有具打擊力至 150 噸者，但以基礎所費過大，且動搖不絕，使機械之基礎與接合處易生差錯，故對於大塊造形，宜用壓榨機，汽鎚則只用於三五十噸者。

打擊力之效果，僅發生壓迫變形 (compressive strain)，其力之方向，主為垂直，但由傳導作用，波及於水平方面。形

甫變時，壓力已去，故鋼鐵之彈性，可使變形之一部回復原狀，故打擊之效果多為表面的，且與他法比較，欲以同大之力，得同樣之變形，須多費時間，但因此能得較優良較均一之鋼質，此即勝過軋鋼 (rolled steel) 之主要原由之一。其他原因，乃工作之能精確的自由調整，如對於工作將成時之溫度，與對於各時期各溫度之壓力，皆能任意加減。惟效果徒及表面，乃其缺點耳。此外尚有空氣鎚等，作用相同，故略之。

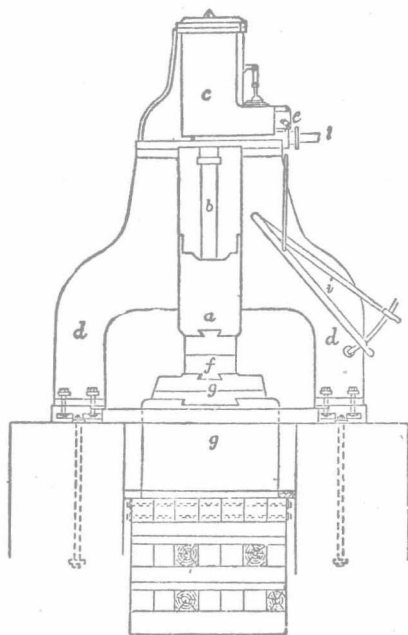


圖 69. 汽鎚

#### 第四節 壓榨法

壓榨之動作極平靜，而壓力極大，其壓力由外部分子漸次傳達內部，故變形不急迫，而壓力之效用頗佳。在打擊法，須數次連續動作者，此能於一次行之，故能縮短工作時間，且免除鎚頭上行之虛動，即減少動力之消失。

圖 70 所示，乃壓機 (press) 之一，利用蒸汽水壓。a 為汽筒，其活塞桿之上端，即水壓圓筒 b 之活塞，b 又由 c 管與壓



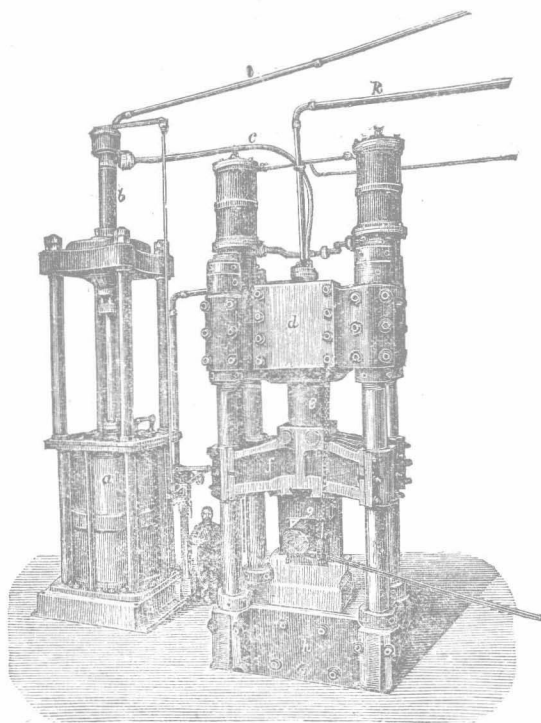


圖 70. 壓機

筒  $d$  連接。  $d$  筒附有活塞  $e$ ，運動於嚮導 (guide)  $f$  之中。  
 $g$  爲錐頭，  $k$  爲進水管，  $l$  爲出水管。先由  $k$  注水於  $d$ ，後  
 送汽入汽筒中，將水筒  $b$  之水復壓入  $d$ ，使活塞  $e$  下壓。 $e$   
 之上昇，由兩側之汽筒行之。

壓法有熱壓及冷壓 (hot- and cold-pressing) 二種。熱壓  
 用於粗大之鋼塊，如大礮，鐵甲板等，其壓力由六百至一萬  
 四千噸。在霍姆斯迭 (Homestead) 鋼廠，用萬噸壓機，對於  
 五十噸之鐵甲板，每次可壓薄二英寸；用三千噸壓機，將三

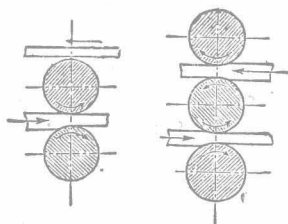
十噸之鋼塊，在半小時內，由對徑49英寸壓至28英寸。冷壓常用於製造薄軟之鋼板，如鐵路上所用之鐵車等者，其壓力在30~800噸之間。有須經過二三壓機始能完成一物者，又有須間行熱壓者，蓋苟變形太甚，鋼或至損壞故也。

### 第五節 軋輓法

軋輓法者，將上下重疊之二鋼鐵製圓柱（輓子），橫置於水平位置，其各一端同置於鐵框中，由齒輪裝置，使上下二輓，反對回轉，故置鋼材於二輓之間，則軋成較薄之片，藉輓間摩擦力，向輓之回轉方向前進。

此法之特點，在連續的自動的進行，故效力之大，工作之速，非他法所能及。

輓子分為二種，其表面平滑者，主用於製造鋼板；表面之具溝形者，則用於製造鋼條，鋼軌等。



二重軋機

三重軋機

圖 71-72.

軋機之具二輓者，曰二重機(two-high mill)，具三輓者，曰三重機(three-high mill)。三重機之利益，凡由下二輓軋過者，再由上二輓軋回原處，不若二重機之須空道歸來。倘所軋者為重且大，不便扛舉，則常用可逆軋

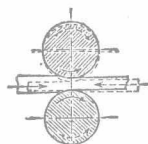


圖 73. 可逆軋機

機(reversing mill)，此僅具二輓，但能逆轉。鋼塊受軋輓時，稍有向兩側膨脹之傾向，致軋出之鋼板兩側凹凸不平，防此之法，附設直立二輓於平輓之兩側(或一側)，鋼塊通過

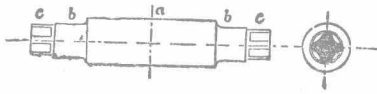


圖 74.

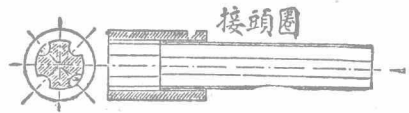


圖 75.

平輥之後，即為直輥所挾，鋼塊之寬，恰等於二直輥間之距離，故兩側均能平滑，又二直輥間之距離可自由加減，此種曰自在軋機 (universal mill)。

輥子由三部而成，圖 74 a 為本體 (roll body or barrel)，b 為頸軸 (neck)，c 為連接頸 (wobbler)，其斷面為十字形，此由接頭圈 (coupling box) 與隣軸相連接。

輥架設於二支臺 (roll stand) 之間，通常數臺相聯結成一體，如圖 76 及圖 77 中 S，皆為支臺。圖 76 a 為動力軸，附有飛輪，由接頭盤 (disc coupling) b 與接頸軸 (spindle) c 相連接，又由接頭圈 d 與支臺間

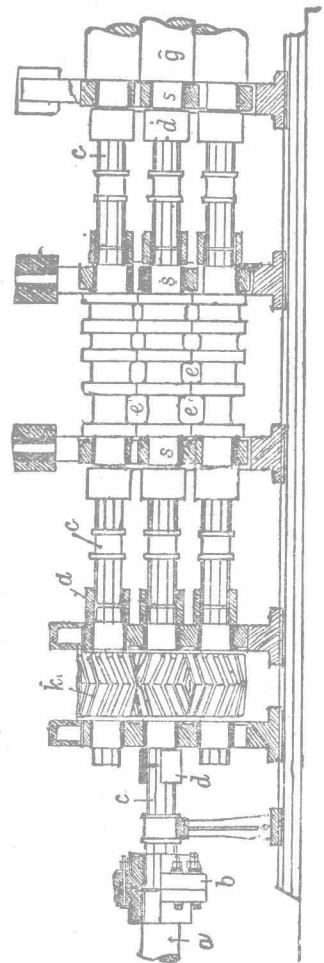


圖 76.

之軸聯絡。  $k$  為齒輪，由此將  $a$  軸之回轉，傳於上下軋子。  
 $e$  為軋間之溝 (groove)，此乃軋方鐵者。  $g$  為平軋，用以製造鋼板。

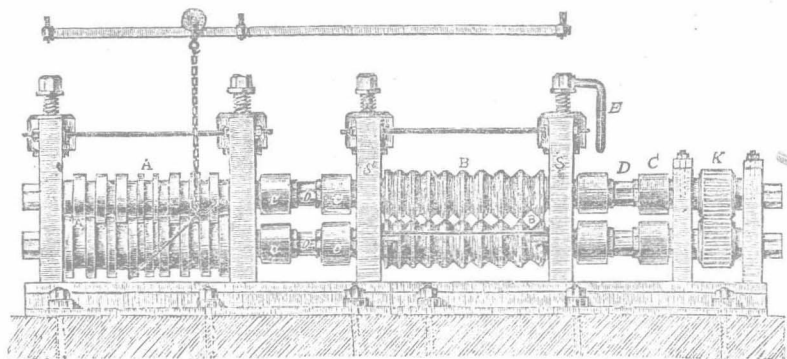


圖 77. 二重軋機

圖 77  $S$  為支臺， $A$  及  $B$  為溝形軋， $C$  為接頭圈， $D$  為連接軸， $K$  為齒輪， $E$  為調整軋間距離之手柄 (handle)。

由粗鋼塊軋成鋼板及各種形狀之鋼條，決非一二次所能達到目的，屢有須反覆軋軋至二十次者，在反覆軋軋之間，形狀逐次變更，至其變更之階級，極為重要，一有不當，則難達到目的，故設計軋溝者，宜富有經驗，且輔以理論的計算。下圖示各種鋼條逐次變更之實例。



軋鋼



鞍形鋼



方 鋼 條



不 等 邊 山 形 鋼



等 邊 山 形 鋼



丁 字 鋼



Z 字 鋼



I 字 鋼



圓 鋼 條



溝 形 鋼



扁 鋼 條



接 頭 鋼

圖 78. 軋 機 間 之 溝 形

## 第十章 鐵與鋼之性質

### 第一節 溶體學說

由科學上言之，各種鐵鋼，皆為鐵與碳之合金，故凡對於合金之一般研究，可應用於鐵與鋼。合金者，具有金屬之普遍物理性，但由二金屬（其一可為非金屬）組成一種密切之混合物，——溶體（solution）——或彼此化合，熔解時則成均一性之流體。此均一性之流體，實合金之重要條件，簡易言之，即合金之各成分，在熔解時，皆互相溶解，故熔解之合金，可與溶體並論。

固溶體（solid solution）：——合金中之成分，至凝固後，猶能如溶體時之互相溶解者，曰固溶體。而固溶體與溶體之關係，一如固體金屬之於熔解金屬，例如金銀，不論量之多少，在流體時能互相溶解，在固體時亦然，故此等金屬之溶體，雖凝固之後，對於彼此關係，亦不受何種重要之變動（由冶金學上或實際上觀察之），此由於二金屬同樣的結晶之故。吾人知金屬凝固時必成晶形，且各具特有之形狀，其晶雖小——須用倍率極大之顯微鏡始能顯現——而結晶力則極大，雖有大力，亦不能使晶形改變，故倘二金屬非結同樣之晶，則必不能成固溶體，即凝固之後，必有一部分遊離。

固溶體之凝固（freezing of solid solution）：——固溶體中之金屬凝固時，與各單體金屬之凝固約略相似，圖79示金

銀合金凝固之實驗結果。假定有此種合金，含金銀各 50%，其溫度為  $1100^{\circ}\text{C}$ ，恰與  $a$  點相當，是為流體，俟冷至  $1035^{\circ}\text{C}$ ，始行凝固，但自不能全體同時舉行，一部凝固成晶，一部仍為溶體，及愈冷則晶之析出愈多，各晶則為金銀之固溶體，及將達  $985^{\circ}\text{C}$ ，乃全體凝固成晶，其中金銀之相互關係，與在溶體時全同(化學的)。

當  $a$  點冷至  $1035^{\circ}\text{C}$  時，適與  $AEB$  線相會，此線表示各種金銀合金由此開始凝固。及冷至  $985^{\circ}\text{C}$ ，與

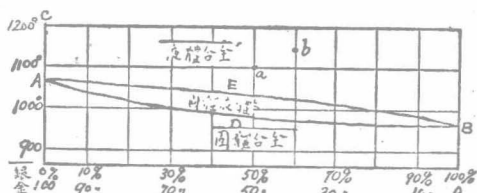


圖 79. 金銀合金之凝固

$ADB$  線相會，此乃表示凝固之完了。閱者所宜注意者，兩線上之各點，乃完全由實驗得來，因從而聯結之，以成此二線者也。設再取含銀 60% 含金 40% 之合金，溫度  $1150^{\circ}\text{C}$  ( $b$  點)，使冷至  $1025^{\circ}\text{C}$ ，則與  $AEB$  線相會，由此開始凝固，溫度愈降，則結晶愈多，至與  $ADB$  線相遇，乃全體凝固。

鉛錫合金之凝固：—— 1. 設有二金屬，當凝固時，不能如溶體時之互相溶解，則不能得如上述之結果。鉛錫合金，即屬此類。圖 80 乃實驗之結果；下述之事實，亦實際如此，非根據邏輯而云然者。

2. 設有溶體含鉛 83%，溫度  $300^{\circ}\text{C}$ ，此由  $a$  點表之，為鉛錫之合金，雖在鉛之熔點下  $26^{\circ}\text{C}$ ，尚能保持流體，再繼續冷卻，約至  $275^{\circ}$ ，乃與  $AB$  線相遇，倘溫度再稍下降，則鉛之一部遊離而凝固，此遊離者成晶形，仍與溶體混和，但已脫離化

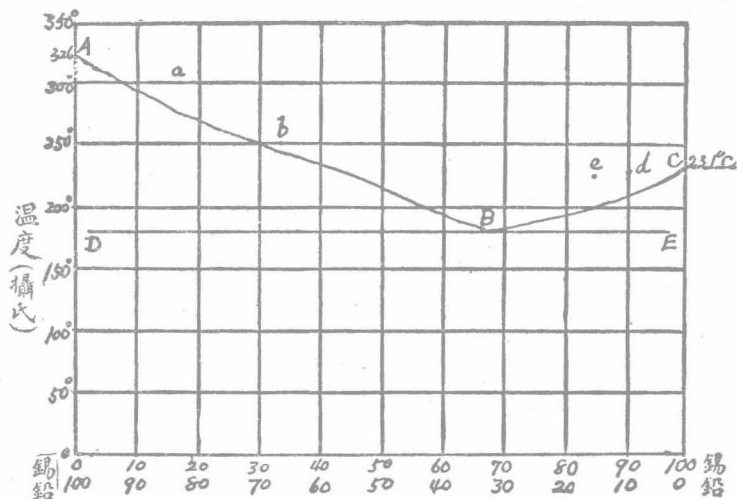


圖 80. 鉛錫合金之凝固

學的關係。鉛既一部分析出，則溶體成含錫較多之合金。

3. 又取含鉛 67% 之合金，溫度 250° (b 點)，此雖在鉛之熔點下 67° C，熔鉛仍溶解於熔錫中，但倘再冷至 240° (在此與 AB 線相遇) 以下，鉛乃析出，僅機械的與溶體混和。

4. 次再取含鉛 55% 溫度 250° C 之合金，使冷至 225° (在此與 AB 線相會) 以下，鉛晶遊離。故無論何種溶體，倘冷至與 AB 線相遇之溫度，則達到溶解度之極限；倘再冷却，鉛必遊離其一部分，且必凝固。

5. 由上述各項總括之，可知溶體中含鉛愈少 (但有限制，容後述)，則其能保持鉛不遊離之溫度愈低；換言之，溶體中含鉛愈少，則其凝固之溫度愈下。此為實驗之結果，由此可知 AB 線乃表示在各溫度使溶體飽和之鉛之量；換言之，即各種溶體中之鉛量與冷却至尚能保持鉛不遊離



之溫度之間之平衡條件。

6. 復返研究第一溶體——含鉛83%者。前已言之，將溶體冷卻至 $275^{\circ}$ 以下，則鉛之一部遊離，然其在各溫度遊離之量，可得而知之乎？曰知之。因各溫度有其飽和溶體之鉛量，故可由 $AB$ 線知之。例如將此含鉛83%之溶體，冷至 $240^{\circ}\text{C}$ ，問鉛之殘留於溶體者若干？其遊離者若干？由3項，吾人知含鉛67%之合金，在 $240^{\circ}\text{C}$ 已成鉛之飽和溶體，則可知含鉛83%之溶體，倘冷至 $240^{\circ}\text{C}$ ，必含鉛67%無疑。此種理論上之推測，曾由實驗證明之。

7. 設將此種合金，再冷至 $225^{\circ}$ ，則可由4項推測此時溶體中所含之鉛，必為55%，實際亦屬如此。總括之，凡溶體經一次飽和之後，常保留充分之鉛，以維持其飽和狀態。

8. 吾人已知 $AB$ 線上之任一點，乃表示某溶體在彼溫度所能含之鉛之最多量，故無論何種溶體，一與 $AB$ 線相遇，即沿此線而下，溫度低降，則鉛遊離，其量與溫度成正比例，故溶體常為鉛之飽和合金。

9. 任意取某種熔體合金（其含鉛量由圖中 $B$ 點之左方之一點表之），冷卻之間，鉛自遊離，故合金中之含鉛漸次減少，而此等溫度各異之合金之成分，可由 $AB$ 線上之一點表示之。故無論原來之合金之成分如何，最後必達到一種合金，其成分為含鉛31%含錫69%（由 $B$ 點之橫坐標表示之），其溫度為 $180^{\circ}\text{C}$ 。（由 $B$ 點之縱坐標表示之），但機械的混有冷卻時遊離之鉛，其量則關係於原來合金之成分。（閱者參照圖80，將上述各項，步步讀下，自能領會。）

10. 以上乃就含鉛多量之溶體言之，茲擬想一含錫90%之溶體，其溫度為 $225^{\circ}\text{C}$ 。(圖中 $d$ 點)，此雖在鉛錫二者之標準熔點之下，但仍保持流體，及冷至 $210^{\circ}$ ，與 $CB$ 線相會，稍再冷之，則錫遊離，且即行凝固，因已在錫之熔點( $231^{\circ}\text{C}$ .)下之故。

11. 次擬想另一合金，含錫85%，溫度 $225^{\circ}$ (圖中 $e$ 點)，約冷至攝氏 $200^{\circ}$ ，與 $B$ 相會，再冷則錫遊離而凝固。

12. 換言之， $CB$ 線乃表示溫度與溶體中錫量之平衡條件，一如 $AB$ 線之於鉛；即 $CB$ 線中各點，乃表示在各相當溫度使溶體飽和之錫之量。

13. 再言含錫90%之合金，苟冷至某溫度(假定 $200^{\circ}$ )時，錫之遊離之量若干？吾人已知含錫85%之合金，在 $200^{\circ}$ 時恰成飽和溶體，則含錫90%之合金，冷至 $200^{\circ}$ 時所遊離之錫，必為5%無疑。

14. 無論何種溶體(只須含錫在69%以上)，一與 $CB$ 線相遇，則必沿線而下，錫之遊離量漸加，使溶體中含錫至與各溫度相當之 $CB$ 之坐標相等。故無論原來之合金成分如何，漸次冷卻時，必達到一種合金，其成分為鉛31%，錫69%( $B$ 點之橫坐標)，其時溫度則降至 $180^{\circ}\text{C}$ 。此種溶體曰「攸忒克替克」溶體(eutectic solution, 字源為善熔之意，故可稱善熔溶體，因比較其他成分相同——即同為鉛錫——之各溶體，能保持熔解狀態最久)。有遊離之錫夾雜其中，錫之量則關係於原來合金之成分。

15. 將9與14項合言之：無論原來合金含鉛與錫各若

干,及冷却至  $180^{\circ}\text{C}$ . 時,必得鉛 31%,錫 69% 之溶體,但夾含遊離之鉛錫,其量則因原來溶體之成分而異。(倘原來溶體恰含鉛 31%,含錫 69%,則鉛錫不至沈澱。)

此「攸忒克替克」溶體使冷却至  $180^{\circ}\text{C}$ . 以下時,必經過  $B$  點,故必同時經過  $AB$  線與  $CB$  線;此時將殘餘之鉛錫即時沈澱,於是而溶體之分解與凝固乃完全告竣。

鉛錫分離成細小晶體或小薄片,合成平行帶狀結構,此特稱「攸忒克替克」結構(eutectic structure)。凡百溶體,其於流體時能互相溶解,至凝固時則不能溶解者,必組成「攸忒克替克」,如上所述。

圖 80 之  $AB$  與  $CB$  二線,常稱“上凝固點曲線”(upper freezing-point curves),因各種合金冷至此線,即開始凝固。 $DE$  線曰“下凝固點曲線”,因此乃表示此類合金之「攸忒克替克」之凝固溫度,且前已言之,無論此類何種合金,皆由“分別的”沈澱(selective precipitation),自動的組成「攸忒克替克」,故非至「攸忒克替克」凝固之溫度,必不能全體凝固。

冷曲線(cooling curves):——上述各化學的變化,常附着熱的變化,此種熱的變化最為重要,吾人常賴此得知過剩金屬之沈澱及「攸忒克替克」之組成與凝固等。茲有含鉛 83%,含錫 17%,溫度  $300^{\circ}\text{C}$ . 之合金,用溫度計或測熱器(pyrometer)考察其冷却之詳情。最初溫度計之降下頗速,及達  $275^{\circ}$  與  $AB$  線相會,則溫度降下之率,忽爾遲延,此無他,實鉛沈澱之故。蓋此時溫度已達鉛之標準熔點以下,鉛甫沈澱,即行凝固,而凝固時放出熔解潛熱(latent heat of

fusion), 因此阻礙溫度之下降。鉛之沈澱, 沿  $AB$  線而下, 直達  $180^\circ$ , 故溫度之降下率之遲延亦然。及達  $180^\circ \text{C}$ . 則不僅遲延, 且完全停止, 有時溫度且稍上昇, 此由於「攸忒克替克」急冷時所放出之潛熱頗多之故。此溫度之降下停止, 直連續至「攸忒克替克」全體凝固時, 此後又如最初之迅速降下, 至常溫而止。

此種變化, 如圖 81 所示。圖中  $a$  點之方向變換, 表示因

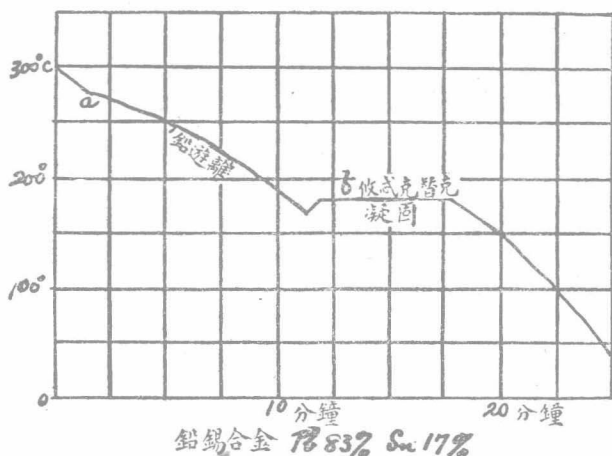


圖 81. 凝固曲線

鉛遊離之溫度遲降,  $b$  之水平部分, 表示在此數分鐘內溫度全未降下, 因「攸忒克替克」在此時凝固。

對於多含錫之此類合金, 亦與上述者同。

鐵與鋼之凝固:

1. 鐵與鋼在流體時, 由流體碳與流體鐵互相溶解而成, 其凝固曲線如圖 82, 與圖 80 所示者極相類似, 而支配鐵

碳合金之凝固之定律，亦與支配前述鉛錫合金之凝固之定律相類。當  $AB$  線與  $CB$  線相切時，乃成此類合金之「攸忒克替克」，其成分為鐵 95.7%，碳 4.3%。但研究鐵碳合金

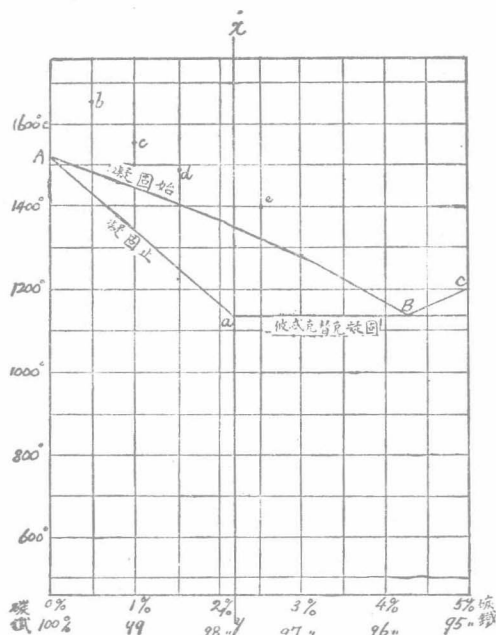


圖 82.

時，宜注意其生成之固溶體，倘合金中恰含碳 2.2% 或以下，碳不單獨遊離，必與鐵組成固溶體。

2. 圖中之  $xy$  線將圖分為二部分。線之左部之鐵碳，皆凝固成固溶體，其凝固定律，與金銀之定律相類似。線以右則皆“分別的”凝固，其定律與鉛錫合金處所述者相同。因有此凝固之不同，故  $xy$  線定為鋼與銑鐵之分界線，即此種合金之含碳在 2.2% 以下者稱鋼，含碳在 2.2% 以

上者稱銑鐵。

3. 鋼之凝固：——鋼均凝固成固溶體。茲假有溶體含鐵 95.5 %，含碳 0.5 %，溫度 1650°C. (圖中 *b* 點)，冷之至與 *AB* 線相會，開始凝固，由此四五度之內，一部分成固體，一部分仍為液體；但再冷至與 *Aa* 線相會，乃全體凝固，成性質均一之固溶體，含碳 0.5 %。再取含鐵 99 % 含碳 1 % (*c* 點) 及含鐵 98.5 % 含碳 1.5 % (*d* 點) 等冷却之，與 *b* 點得同樣之結果。括言之，凡此種合金最後總變成鐵碳之固溶體。對於此固溶體，統稱「奧斯滕奈特」(austenite, 以下略稱「奧斯」)，不論其中所含之碳之多少。換言之，凡鋼在凝固之後皆成「奧斯滕奈特」。

4. 銑鐵之凝固：——*xy* 線以右，表示銑鐵之凝固，苟僅就此部言之，與圖 80 所示之鉛錫之凝固相似。但有一不同之處極應留心者：在圖 80，沿 *AB* 線可得鉛之分別的遊離，但在圖 82，沿 *AB* 線所得之分別的沈澱，實非純鐵，乃鐵之含碳 2.2 % 者；換言之，此實體(即含碳 2.2 % 之鐵之固溶體)儼如一種元素，屢稱為「2.2 % 奧斯滕奈特」。例如有一鐵溶體，含碳 2.5 %，溫度 1400°C. (圖中 *e* 點)，倘冷至 1320°，則含碳 2.2 % 之鐵之實體，開始沈澱，致溶體中含鐵減少；溫度再降，則溶體向右移動，即沿 *AB* 線而下，及達 1135°，多量之「2.2 % 奧斯」沈澱，所餘少量之液溶體(liquid solution)乃在 *B* 點，此即「攸忒克替克」點，在此含碳 4.3 %。再冷則「攸忒克替克」通過 *B* 點，沈澱與凝固於此完成。此分離成晶體，其一部成小薄片之「奧斯」，其他一部則成石墨晶——即碳。

5. 含碳 3 % 之鐵之液溶體冷却時,亦得同上之結果。冷至  $1280^{\circ}$ ,「2.2 % 奧斯」沈澱,致減少殘液溶體中之鐵,使沿  $AB$  線而下,直達  $B$  點,此後  $B$  點之「攸忒克替克」溶體,乃凝固如上述。

6. 將 4, 5 兩項括言之:無論何種鐵溶體,其含碳在 2.2 % 以上, 4.3 % 以下者,凝固之後,必由「攸忒克替克」與「2.2 % 奧斯」二者組成。

7. 含碳在 4.3 % 以上者,果何如? 試取一溶體,含碳 4.7 %, 溫度  $1200^{\circ}$ 。將此冷至  $1170^{\circ}$ , 與  $CB$  線相會,再冷則碳(即石墨)沈澱,殘餘之液溶體向左移動,即沿  $CB$  線而下,至達  $1130^{\circ}$ , 石墨沈澱,使殘餘溶體恰成「攸忒克替克」之比,再冷則「攸忒克替克」分離,成石墨晶體與「2.2 % 奧斯」。

8. 結論:——凡鐵碳溶體其含碳在 2.2 % 以下者,凝固之後,乃成鐵碳之固溶體,與原來溶體同一化學的成分,且為均一的溶體,故倘含碳不在 2.2 % 以上,則無「攸忒克替克」發生。又凡溶體之含碳在 2.2 % 以上者,凝固之後,乃由「攸忒克替克」與多少之先沈澱之「2.2 % 奧斯」而成。

加熱時之變化:——以上僅言鐵冷却時之變化,而加熱時則適相反。

由前所述,可知任何種類之鐵碳合金,凝固之後,必含有相當量之鐵碳之固溶體。如所用之鐵碳合金,含 1 % 之碳,則甫凝固後,必得含碳 1 % 之固溶體;如用含碳 2.2 % 之合金,則甫凝固之後,所得者為含碳 2.2 % 之固溶體;如用含碳 2.2 % 以上之合金,則甫凝固後之所得者,為含碳 2.2 % 之

固溶體及少量之石墨。但此種固溶體，直冷卻至常溫時究竟有無變化？碳是否仍保留固溶體狀態，抑或游離，或受他種變化？吾人由實驗上，得知固溶體不能久存，再冷則行分離，而支配此固溶體分離（或分解）之定律，與支配液溶體如鉛錫溶體者之分離之定律相似。簡言之，另有一羣曲線，表示固溶體成分之分別的沈澱，而此種曲線與鉛錫曲線之不同之點，僅此等乃表示在固體時所行之變化，而鉛錫曲線，乃表示在溶體時所行之變化是也。

固溶體之性質：——固溶體中之碳之狀態，有云係元素碳（elemental carbon）者，有主張已成化合物即碳化鐵者（碳化鐵之成分為  $\text{Fe}_3\text{C}$ ，此通稱「栖門泰特」cementite），但有一重要之事實，即固溶體分離時所遊離者，乃碳化鐵，故此後為簡單起見，假定固溶體中之碳全為碳化鐵。

固溶體之分解曲線（decomposition curve），如圖 83 所示。GOS 線乃表示純鐵之分別的沈澱，此純鐵通稱「斐賴特」（ferrite）。

設想一固溶體含碳 0.4%，溫度  $800^\circ\text{C}$ .（圖中  $h$  點），設冷至  $780^\circ\text{C}$ .，則「斐賴特」沈澱開始，及溫度愈降，「斐賴特」之沈澱愈多，遂使固溶體中之鐵量減少，終致沿 OS 線而下，及達  $690^\circ$ ，固溶體乃達 S 點，此時含碳 0.9%。

次設想含碳 1.6% 溫度  $1000^\circ\text{C}$ . 之固溶體（ $k$  點），此冷至  $970^\circ\text{C}$ .，則碳化鐵（ $\text{Fe}_3\text{C}$ ）開始沈澱，愈冷則沈澱愈多，固溶體中之碳分愈減，致沿 ES 線而下，冷至  $690^\circ\text{C}$ . 乃達 S 點，在此含碳 0.9%。



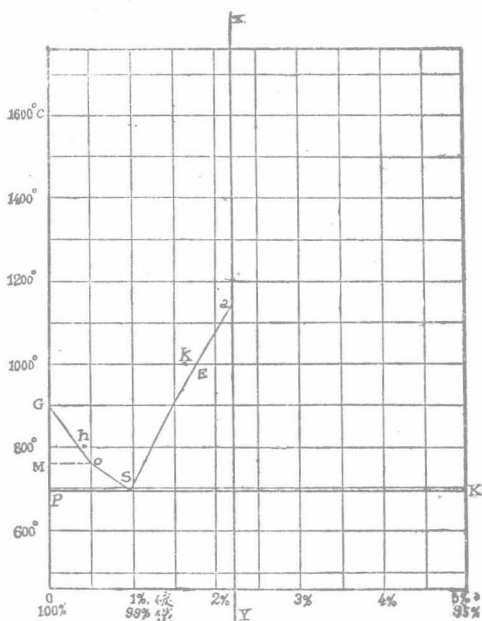


圖 83. 鐵之固溶體之分解曲線

無論何種固溶體，凡含碳在 0.9% 以下者，一與  $GOS$  線相遇，則「斐賴特」沈澱，在 0.9% 以上者，一遇  $ES$  線，則碳化鐵沈澱，二者之殘餘固溶體，沿  $GOS$  或  $ES$  線而下，冷至  $690^{\circ}C$ ，乃達  $S$  點，此時為含碳 0.9% 之固溶體，夾含先沈澱之「斐賴特」或「栖門泰特」。

「攸忒克推」(eutectoid)：——此種含碳 0.9% 之合金，通稱「攸忒克推合金」(eutectoid alloy)，此由固溶體之分別的沈澱所生成，與由液溶體之「攸忒克替克」之生成相似。將此「攸忒克推」固溶體冷至攝氏  $690^{\circ}$  以下，則完全分解為「斐賴特」與「栖門泰特」二種成分，此等成分呈小薄片狀，其結構

如帶形，如前述之「攸忒克替克」結構。圖 84, 85, 86, 乃示此結構者。(惟圖 86 之暗黑部分，不甚明瞭) 無論何種鐵鋼，必含有此種「攸忒克推」，故其生成與特性極為重要，因與珍珠母相似，故名「佩來特」(pearlite)，「佩來特」乃「攸忒克推」在完全分解之後，成「斐賴特」與「栖門泰特」之呈帶狀結構者之謂。將上述之鋼之成分總括而表示之如次：



圖 84. F, Ferrite



圖 85. P, Pearlite



圖 86. C, Cementite

1. 鋼之恰含碳 0.9 % 者，全體成「佩來特」，如圖 85。
2. 鋼之含碳在 0.9 % 以下者，則「佩來特」之外，有「斐賴

特」沈澱,如圖 84。

3. 鋼之含碳在 0.9% 以上者,則「佩來特」之外,有「栖門泰特」沈澱,如圖 86。表示之如下:

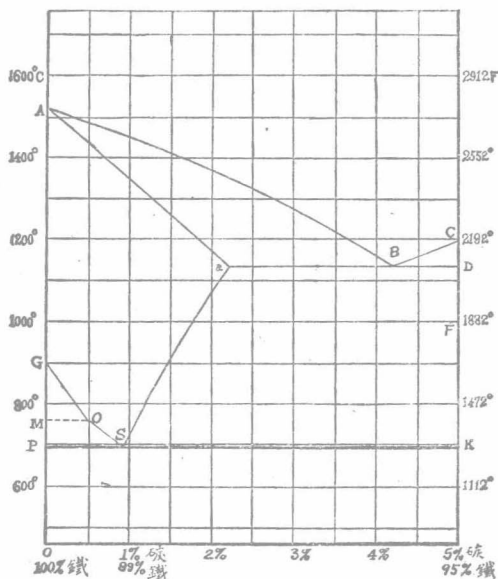
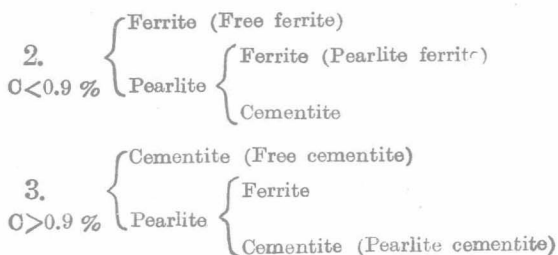


圖 87. 鐵合金之凝固分解曲線

圖 87 乃圖 82,83 合併而成,凡鐵與鋼之冷却及加熱時所起之各種變化,可完全由此圖表出,但因他種關係,頗受影

響，茲舉其最重要者一二端於下：

1. 硅對於生鐵凝固之影響：——圖 82, 87 所示之變化，乃就鑄造用之標準灰銑徐徐冷卻時之凝固而言，此時所生成者為「奧斯滕奈特」與石墨，但「奧斯」隨後又分解為碳化鐵與「斐賴特」。然實際上如常用生鐵之含硅在 2% 內外者，「奧斯」之大部分，乃分解成「斐賴特」與石墨（非碳化鐵），故此種鐵冷卻至常溫時，其主要成分為石墨與「斐賴特」，所含碳化鐵無多，是以生鐵鑄品，易於車削。一言以蔽之，硅能促進石墨之沈澱；其作用不僅行於「攸忒克推」之分解時，且行於凝固之際。

2. 冷卻遲速之影響：——上記各種變化，決不能於瞬息間完成之，此使吾人得以相當的調制此等變化。例如對於生鐵（倘含硅不甚多），可用急冷法以阻止石墨之生成，其結果碳之大部分仍溶解鐵中，如流體時然，碳之小部分則成碳化鐵。對於鋼亦可於「奧斯」存在時（即  $GOSa$  線之上）之溫度急冷之，以阻止「奧斯」之分解為「斐賴特」與碳化鐵。

## 第二節 鋼之性質

鋼之性質，關係於其分子 (constituents) 之化學成分及其大小與相互關係。鋼者非鐵與碳、硅、錳等之單純的均一的結合體，乃由多數之個體晶組織而成，與花崗岩等結晶岩之成因相類。但花崗岩之晶，僅肉眼亦能認識，故其結構可由簡速之檢查決斷之。至若鋼之結構，必假顯微鏡

之力，且須將鋼面磨光，有時又須經化學處理，使各分子易於辨別，始能決定。手續雖繁，但其結構檢查，實為研究鋼性之最重要之件，有時且較之化學成分尤為重要。

鋼之顯微分子 (micro-constituents):

如前所述，凡徐冷之鋼，由固溶體分解之結果，必含「斐賴特」或「栖門泰特」二者。但由顯微鏡或化學分析檢查之，常雜含其他分子，如硫化鐵，磷化鐵，硅化鐵及硫化錳等者。（此節所述，除特別注明者外，皆就徐冷之鋼言之。）

「斐賴特」：——此乃理論上純粹之鐵，特指鐵之絕未含碳者。與其他分子比較，其性常弱，抗張力由45000至50000 lb/平方英寸，又極柔韌，與銅相類，且具高度之可鍛性。又與鐵鋼之其他分子比較，其導電率 (electrical conductivity) 極大，約銀銅之七分一，其磁力乃百物中最大者，受磁性 (magnetic permeability) 高，遲延性 (hysteresis) 低，等晶系結晶。

「斐賴特」乃各種鋼之重要分子，於低碳鋼尤為主要物。工業用品中，最與「斐賴特」相近者，厥惟熟鐵。惟機械的雜含鐵渣，此於其化學與物理作用無甚重要之變化者。因此之故，凡須柔韌材料之用途如鍋爐者，又凡須高度之導電率如電信線者，及凡須高度之磁性如電磁石心者，皆多用熟鐵。

「斐賴特」在顯微鏡下，因其軟性，可與「栖門泰特」辨別。苟將含此二分子之鋼，用濕粗之羊皮擦之，則「斐賴特」多被磨滅，致現陰影。又苟使受某藥品（如2%硝酸）之短時間的作用，則「斐賴特」成更黑暗之粒，而「栖門泰特」不受何

種變化，仍為光亮之薄板形。倘此二者以微粒密接如「佩來特」者，則「栖門泰特」現光明，而「斐賴特」則呈黑暗，因被藥品侵蝕之故。

同素體 (allotropic modifications):—「斐賴特」在不同之溫度，變成三種各異之同素體，此乃「斐賴特」之特色，亟宜特別注意。對於此三種鐵，冠以  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  之名。 $\alpha$  鐵乃存在於常溫為吾人所習見者。但加熱約至  $760^{\circ}\text{C}$ ., 則急遽變化，此時吸收熱量，且幾全失其引磁性，足為變化之證明，而此磁性變化，又引起導電率，比熱及其他性質之更動。簡言之，此時之鐵，雖其化學成分如故，而其性質則多變更，此種新同素體曰  $\beta$  鐵。

$\beta$  鐵再加熱至約  $890^{\circ}\text{C}$ ., 則其性質又受變化，而成所謂  $\gamma$  鐵者。此與  $\beta$  鐵特異之處，在導電率與晶形不同，蓋  $\alpha$  鐵與  $\beta$  鐵，必結立方體之晶，而  $\gamma$  鐵則為八面體。

倘將  $\gamma$  形之「斐賴特」漸次冷降，則其變化適與上述者相反，即冷至  $890^{\circ}$ ，則由  $\gamma$  變為  $\beta$ ，再冷至  $760^{\circ}$ ，則由  $\beta$  變為  $\alpha$ ，各復返其未加熱以前之性質。換言之，各同素體之更動，乃可逆變化，冷却時變化之方向，恰與加熱時之方向相反。

同素體變換之溫度曰臨界點 (critical point)。因冷却時與加熱時之臨界點，常相差  $25^{\circ}\sim 50^{\circ}$ ，故對於各點附以特別符號。如加熱時，由  $\alpha$  鐵變為  $\beta$  鐵之臨界點，以  $A_{c_2}$  表之；由  $\beta$  鐵變為  $\gamma$  鐵之點，以  $A_{c_3}$  表之。冷却時由  $\gamma$  鐵變為  $\beta$  鐵之臨界點，以  $A_{r_3}$  表之；由  $\beta$  鐵變為  $\alpha$  鐵之點，以  $A_{r_2}$  表之。通常加熱時之臨界點  $A_{c_2}$ ,  $A_{c_3}$ ，較之冷却時之臨界點  $A_{r_2}$ ,

Ar<sub>3</sub> 常高。

純鐵同素體之性質比較表

|        | γ 鐵             | β 鐵               | α 鐵              |
|--------|-----------------|-------------------|------------------|
| 安定範圍   | 890° C. 以上      | 890° 與 760° C. 之間 | 760° C. 以下       |
| 晶形     | 八面體             | 立方體               | 立方體              |
| 比重     | 三同素體中最大         | 中位                | 最小               |
| 電抗     | 在常溫比 α 鐵大<br>十倍 | 比 γ 鐵小溫度低<br>降則減  | 比 β 鐵小溫度<br>降下則減 |
| 磁性     | 無               | 微弱                | 強                |
| 硬度     | 比 α 鐵硬比 β 鐵軟    | 最硬                | 最軟               |
| 溶解碳之性質 | 約能溶解 2.0 %      | 弱                 | 無溶解性             |

「柝門泰特」(cementite):——此碳化鐵,雖次於「斐賴特」,亦為鋼之最重要分子。而實際上鋼中所含之碳,殆全為碳化體(此碳化鐵中雖有 FeC, Fe<sub>2</sub>C, Fe<sub>3</sub>C, 及 Fe<sub>6</sub>C 數種,但最常見者為 Fe<sub>3</sub>C)。「柝門泰特」硬而且脆,其硬可割玻璃,其脆則一擊可使破為碎片,其晶為薄平板形,倘多含「柝門泰特」,其晶頗大,有至對徑  $\frac{1}{8}$  英寸者。鋼之各分子之中,以此為最不易受藥品之侵蝕,故在顯微鏡下,極易辨別。鋼之含「佩來特」與稍過剩之「柝門泰特」者,及鋼之含「佩來特」與稍過剩之「斐賴特」者,苟僅假顯微鏡之力,則非習於此者頗難辨別,但由化學分析,則容易判明。蓋凡鋼之含 0.8 % 以下之碳者,常有過剩之「斐賴特」,而含碳在 0.9 % 以上者,則含過剩之「柝門泰特」。

「柝門泰特」含碳 6.6 %, 約  $\frac{1}{15}$ , 故以 15 乘鋼中之含碳量,即

得鋼中所含「栖門泰特」之量。「栖門泰特」在常溫具有磁性，但至  $700^{\circ}\text{C}$ . 以上則無之。

硫化錳：——錳與硫化合生成硫化錳( $\text{MnS}$ )，鋼中無不含此者。倘鋼中含有充分之錳，則硫之全部可與錳化合，惟必有較理論上過剩之錳，始能使硫完全成硫化錳，故鋼中所含之錳，應四倍於其所含之硫，蓋使硫變為硫化錳，則為害較小也。硫化錳在顯微鏡下，呈鴿灰色(在磨光面受藥品侵蝕之先)。此常析出成球形，但錘打軋輾之，則成長橢圓體。錳有使鋼晶變小之性，此為有益；但加熱時使鋼易生裂罅，而以由赤熱急冷時為尤甚。

硫化鐵：——硫之未與錳化合者，則變成硫化鐵( $\text{FeS}$ )。此較硫化錳更呈脆性，且散布成網狀或板形，不如硫化錳之集成團，故使鋼性極弱。在軋輾溫度呈最弱之性，蓋此時硫化鐵熔解，故對於鋼晶失其外黏力，致沿硫化鐵面破裂，硫化錳亦有此弊，但因其集成團，故為害小耳。硫化鐵又能使鋼之抗張力與可延性減退。

磷化三鐵( $\text{Fe}_3\text{P}$ )：——磷化三鐵與鐵組成一組合金，其含磷化三鐵 64% 者，為此類合金之「攸忒克替克」。鐵雖僅含 1% 之磷，極足使鐵之熔點低降，故鑄鐵希望多量之磷。雖含磷更少之鋼，必含有多少之含磷「攸忒克替克」，此於鋼大部凝固之後，猶能暫時保持其熔解狀態，集合於鋼晶之間，即在此凝固成脆性之網狀，使鋼之全體皆帶脆性，是以磷為鋼中脆性之最大原因，尤以對於衝擊之脆性為最甚，故磷為工業家之大敵。又含磷之鋼，其晶常粗，此亦能



使鋼性弱而且脆。磷之增長鋼之脆性，又關係於含碳之多少，含碳愈多，則磷之增長脆性之力愈大。據斯帖德氏 (J. E. Stead) 之研究，凡少量之磷，可溶於「斐賴特」中，故無增加脆性之「攸忒克替克」發生。但苟鋼中碳量增加，使磷由「斐賴特」固溶體遊離，則使「攸忒克替克」出現。故鋼中「斐賴特」愈多，「栖門泰特」愈少，則磷所增長之脆性愈小。

**硅化鐵：**——硅化鐵至少有三種，但鋼中之最常見者為  $\text{FeSi}$ 。此稍增加鋼之強性，又可增長硬度在某範圍之內。硅之最重要性質，乃在增進堅實之性。

**氧化鐵：**——氧在鋼中，至少有三種形狀，即  $\text{CO}$ ,  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 。此皆極為有害，不論在冷熱鋼，使呈脆性，且易生氣孔。雜質之中，其為害之大，無出氧之右者，惜化學分析術尚未能驗定鋼中所含氧之微量。氧之影響，與硫相類。

#### 鋼之抗強：

鋼之各性質之中，常希望者為抗強與可延性，不幸而此二者常相反對。申言之，鋼之抗強愈加，則可延性常減，反之可延性增加，則抗強減少。此外尚有各種重要之性質（或被歡迎或否），如硬度，脆性，導電率，受磁性，磁疲勞性，永久磁性，及鍛接性等，容後詳述。

純鐵之抗張力 (tensile strength, 或稱抗張強) 約 45,000 lb/平方英寸，其抗壓力 (compressive strength) 約 80,000 lb/平方英寸。此等隨鋼中常見雜質之量而增加，但其中最重要者厥惟碳，蓋此能增加抗強，而可延性則減少甚微也。

**碳：**——鋼中含碳（栖門泰特）愈多，則抗張力愈加，至含碳

0.9~1% (「栖門泰特」13.5~15%) 達最高之抗張力。碳再增加,則反減少,此蓋主由於含碳0.9~1%之鋼,約與「攸忒克推」比例相合,此時晶體頗小,且能密接,故其抗張力最大。倘少含「栖門泰特」,則「佩來特」之粒,為網狀之「斐賴特」所包圍;倘「栖門泰特」過多,則「佩來特」之粒,為網狀之「栖門泰特」所包圍;此種網狀,可減退晶體之外黏力,故能使鋼性變弱。據坎柏爾 (H. H. Campell) 之研究結果,以抗張力 40,000 lb/ 平方英寸之純鋼為起點,每加碳 0.01%,對於酸性開爐鋼,增加抗張力 1000 lb/ 平方英寸;對於鹽基性開爐鋼,則增加 770 lb/ 平方英寸;對於坩堝鋼,比較酸性開爐鋼之值略高;對於柏塞麥鋼,則較鹽基性開爐鋼略低。

硅:——硅對於軋鋼之抗強之影響極小,但對於鋼鑄品,倘增加硅量至 0.3~0.4%,則抗張力大加,而可延性不少減,惟收縮管深入,故有棄置上部大塊之必要。

硫:——此苟以硫化錳狀態存於鋼中,則其影響於抗強也極小,但苟為硫化鐵,則使抗強與可延性俱減。硫之最大害處,乃呈熱脆性 (red-shortness)。

磷:——鋼中之磷,每增加 0.01%,則其抗強可加 1000 lb/ 平方英寸,但以含磷 0.12% 者為最強,過此則愈多愈弱。且外部所加之力,只可徐緩,對於振動的外力與急遽的衝擊,磷為元素中之最有害者,故不願假此以增加鋼之抗強。加之抗強雖加,脆性隨大,以磷與碳比較,對於增加同樣之抗強,由磷所增加者,其可延性遠不及焉。

錳:——鋼中含錳,須在 0.3~0.4% 以上,始能表現其增加

抗張力之性,在此以下者,他種條件存在(想係氧化鐵),足以掩蔽錳之作用。所宜注意者,凡低錳之鋼(不論其為開爐或柏塞麥鋼),常含有害之氧。加之錳之作用,關係於含碳之多少。在含碳0.1%之酸性開爐鋼,每0.01%之錳(由0.4%起),可增加抗強80 lb/平方英寸,但碳量苟增加0.01%,則錳可多增加抗強3 lb,故例如有含碳0.4%之酸性開爐鋼,則每0.01%之錳,可增加抗強320 lb/平方英寸。對於鹽基性鋼,每0.01%之錳(由0.3%起),含碳0.1%,可增加抗強130 lb/平方英寸。苟含碳0.4%,則可增加抗強250 lb/平方英寸,因每加碳0.01%,則錳可多增加抗強4 lb。

抗強計算式:——坎柏爾氏所定之計算式如下:

$$U = 40,000 + 1000 C + 1000 P + xMn + R \text{ (對於酸性開爐鋼)}$$

$$= 41,500 + 770 C + 1000 P + yMn + R \text{ (對於鹽基性開爐鋼)}$$

在二式中, $U$  = 抗斷力(ultimate strength), $C$  = 0.01% 碳, $P$  = 0.01% 磷, $Mn$  = 0.01% 錳, $R$  = 變數,隨鋼所受之熱處理而異。 $x, y$  如下表:

| 碳 %  | $x$ lb/平方英寸 | $y$ lb/平方英寸 |
|------|-------------|-------------|
| 0.05 | —           | 110         |
| 0.10 | 80          | 130         |
| 0.15 | 120         | 150         |
| 0.20 | 160         | 170         |
| 0.25 | 200         | 190         |
| 0.30 | 240         | 210         |

| 碳 %  | $x$ lb/平方英寸 | $y$ lb/平方英寸 |
|------|-------------|-------------|
| 0.35 | 280         | 230         |
| 0.40 | 320         | 250         |
| 0.45 | 360         | —           |
| 0.50 | 400         | —           |
| 0.55 | 440         | —           |
| 0.60 | 480         | —           |

鋼之硬度與脆性:

鋼愈純,則硬度愈小,各種元素加入,則硬度增加;但與硬

度同時並加而有害於鋼質者，厥惟脆性，故於所加元素之中，宜擇其可得最大之硬度與最小之脆性者。此惟碳能之，故鋼軌之用於鐵路者，含碳至 0.7%，蓋鋼軌之面，須久耐摩擦，必多含碳，始能得如許硬度，雖稍帶脆性，偶致破裂，亦莫可如何。磷能增加硬度，但同時增長脆性，而尤以對於衝擊為甚。錳亦能增進硬度，但含錳至 1%，則稍呈脆性，含錳至 2% 以上，則脆至於不能供用，但錳量再加，反得反對之影響，至 7% 以上者，硬度極高，實際上不能創削，但退火之後，極富於可延性與韌性。硅可使硬度稍加，且苟在 0.5~0.6 以下，脆性不至增長。

#### 鋼之導電率：

鋼愈純愈與「斐賴特」相近，則導電率愈大，故祇熟鐵與最軟最純之鋼可用為電線。惟電鐵路所用之第三軌，頗為複雜，蓋質純則軟，極易磨滅，欲使其硬度增加而導電率不大減退，鎳錳均不適用，惟有可能的多用磷，蓋以其能得最高之硬度，而於鋼之純度則所減較少也。但高磷鋼難以軋軛，故此種鋼軌，宜力避尖角及薄凸邊(thin flange)，以減少軋軛時之破裂作用。

#### 鋼之磁性：

$\alpha$  鐵乃鐵與鋼之主要磁分子，故含  $\alpha$  鐵愈多，則磁力與受磁性愈大，而磁疲勞愈小。故電磁石之心與發電機之發電子(armature)等，常用瑞典熟鐵，此乃商品中之最純者。「斐賴特」無永久磁性，故一與磁石分離，或電流切斷(此對於電磁石而言)時，即失其磁力。故永久磁石，必用高碳

(1%)之鋼。倘含5%之鎢,其抗強與永久性更加。先將此鋼熱至臨界溫度(critical temperature)以上,在水中淬之,而後通以電流,使其磁化;如此所得之磁力,可保持至數年之久。

#### 鋼之鍛接性:

鐵在赤熱時,有可接合之性,此曰鍛接性(weldability),鐵鏈等乃利用此性所製造者。純鐵最易鍛接,倘含雜質,則其性減退,如多含碳之硬鋼與銑鐵,迄無鍛接之性。含硅至0.2%則難於鍛接,含錳亦然。熟鐵中之鐵渣,能增加鍛接性,其少含雜質,亦其富於鍛接性之最大原因,故鐵鏈鐵管等常用熟鐵製之。此外如由鹽基性法所煉之極軟鋼,亦如熟鐵之富有鍛接性,故多用於製造鐵管等。

### 第三節 生鐵之性質

實際上凡未經精煉之生鐵,皆用於製造鐵鑄品(iron castings)。故生鐵性質之研究,適與鐵鑄品之研究一致。生鐵之異於鋼者,乃少含鐵而多含雜質,如碳,硅,磷,錳,硫等。生鐵之利益及其所以應用如此之廣者,因其(1)熔點頗低,故易於熔解鑄造;(2)價格較低;(3)流動性大;(4)收縮率較小;(5)冷卻時殆全無炸裂之虞;(6)容易賦予以各種性質。其不利益之點,乃性弱且乏可延與可鍛(或稱可展)之性,故對於鑄品不能施行何種工作,僅能以鑄品之形狀用之。生鐵之各種特性,皆由於多量雜質之存在,而雜質之種類,與鋼中所含者無以異,惟量之多少不同。其中有

一種爲生鐵所特有者乃石墨，此不存在於鋼中，爲生鐵之最多量且最重要之分子；而生鐵之性質，關係於此石墨碳者居多。

比重，熔點，流動性：

鐵中含碳，則體積膨脹，石墨碳愈多，則其膨脹也愈甚。

純鐵比重7.84，白銑7.60，灰銑則祇7.00。

鐵之熔點，因摻入雜質而下降，如銑鐵之多含雜質者，比較少含雜質之鋼易於熔解。雜質之中，影響最大者爲碳，而結合碳尤甚於石墨，如灰銑之熔點爲 $1200^{\circ}\text{C}$ ，而白銑則在 $1000^{\circ}$ 附近即能熔解者，多含結合碳故也。其他含錳硅最多之合金銑，熔點反高。

鐵之流動性，乃鑄造上之重要性質，流動性佳者，雖複雜之機件，細微之形狀，俱能如模樣而成。多含錳硅之鐵，流動性大，而磷尤能使流動性增加，硫則爲害極大，故鑄造忌之。磷固極有害於抗強者，但以其能增加流動性之故，常用含磷0.5~1.2%之生鐵爲鑄造之原料。

生鐵中之氣體：

氣體在鑄品中，發生氣泡，致成不健全之製品，此爲翻砂廠之緊要問題。化鐵爐熔銑爐之中，莫不有多量之氫，氮及一氧化碳等存在，而熔鐵又有吸收此等氣體之性。特其吸收之量，關係於爐內之溫度，壓力及生鐵之化學成分。多含錳者，其吸收之量較多。及鑄造時，溫度壓力俱減，因之吸收氣體之力漸弱，故吐出其一部分。下記分析乃熔鐵面所發生之氣體之容量成分：

|      | 化學成分   |                       |      | CO    | H     | N     | CO <sub>2</sub> |
|------|--------|-----------------------|------|-------|-------|-------|-----------------|
|      | O      | Si                    | Mn   |       |       |       |                 |
| 灰銑鐵  | 3.69 % | 1.68                  | 1.93 | 37.80 | 58.30 | 0.50  | 3.90            |
| 鏡鐵   | 4.18 % | 0.25                  | 7.37 | 48.70 | 49.50 | 0.50  | 1.30            |
| 托馬斯銑 | 3.10 % | P=3.0<br>0.20    0.74 |      | 39.60 | 46.80 | 40.00 | 3.60            |

由上表觀之，可知氫乃最重要者，當熔鐵傾注於鑄模之時，倘不速使其着火燃燒，屢因發生氣體，一時爆發者，此之故也。氣體之一部分，在鐵未凝固之前，陸續逸出，但有一部分在凝固後仍殘留鐵中，作成氣泡，致不能得緊密之鑄品。下記分析，乃氣泡中所含氣體之容量成分，亦可知氫乃其最重要者：

|             | 氫    | 氮    | 一氧化碳 |
|-------------|------|------|------|
| 英國赤鐵礦銑鐵(少錳) | 52.1 | 44.0 | 3.9  |
| 德國銑鐵(多錳)    | 62.2 | 35.5 | 2.8  |

#### 生鐵之收縮率：

熔鐵在甫凝固之瞬息間，稍有膨脹，如將近熔解之鐵片，能浮泛於熔鐵上，如冰之浮於水面者然。但自凝固後，冷至常溫，則大為收縮，就全體言之，收縮甚夥。收縮之大小，以單位直線上所收縮之量表之，曰收縮率，蓋所以表示鑄模與鑄品之大小之差者也。概言之，凡鑄品之外部及薄處，其冷却收縮較速，而內部與厚處則遲，此收縮之遲速不同，實足使鑄品變弱，甚焉者至破裂不堪用。當鑄造平板時，板面屢凹凸不平，鑄造車輪時，車輻常彎曲不直者，冷却

收縮遲速不同之故也。

收縮之大小，固關係於熔鐵溫度之高低，又隨其化學成分而異，如石墨乃其最重要者。蓋石墨發生，乃在凝固之瞬息間或稍後，正值鑄品收縮之時，此時石墨發生，使容積膨脹，故足以補收縮之缺陷。若白銑者，因無石墨發生，故其收縮率大，鑄造大難。含磷之銑鐵，其由凝固點漸次冷卻之時，在  $950^{\circ}\text{C}$ . 附近，暫時膨脹，故收縮率小，此多磷銑鐵之適於鑄造細緻鑄品之原因也。硅有直接增加收縮率之性，但能促石墨之生成，故間接能使收縮率減少。錳阻止石墨發生，且直接助收縮率增加。收縮度之大小，難以概言，含碳 3.5% 之銑鐵，其收縮率僅  $\frac{1}{135}$ ，不含石墨之白銑則達  $\frac{1}{58}$ ，普通用於鑄造者約  $\frac{1}{96}$ 。

生鐵之硬度，抗強及韌性：

生鐵鑄品，必經車削工作，始能完成，故以如灰銑之柔軟者為適於用。但倘用於車輪之表面或軋礦機之輓子等者，則宜用堅硬之白銑。純鐵極軟，含雜質則硬度增加。雜質中硅磷之影響較小，錳稍大，碳最大焉。但碳亦由其種類而異，白銑中之碳多為碳化鐵，故白銑極硬，對於磨滅作用，頗能抵抗。石墨極軟，故多含石墨之灰銑亦軟。

生鐵之抗強，關係於化學成分及其自身之組織。粒粗者弱而脆，細者則強而韌。鑄造時務使發生細粒之石墨者，良以此故。純鐵具適度之抗強，而韌性則最大，苟其他元素加入，抗強增加，但所加元素之量，必有界限，過此則反減少。韌性則雜質愈多而愈小。就各元素之影響言之，



碳中以結合碳影響最著，其能增加抗強之界限乃 1%，白銑超過此限，故弱而脆，灰銑含石墨多而結合碳少，故脆弱不如白銑。是以欲得最強且韌之鑄品，必使結合碳之殘留於灰銑者約 0.4 ~ 0.7%，其餘皆為石墨。鑄造時增減硅量及注意於冷却之遲速，皆所以調節石墨之發生者。

硅之增加抗強之界限乃 4%，但其影響不甚大，不如間接的促石墨發生之大有關係也。錳之極限為 1.5%。磷之極限極低，普通銑鐵，皆已超過此限，故欲得強韌之鑄品，須選用少磷之銑鐵。茲示各種銑鐵之抗張力如次：

|                | 硅<br>%    | 硫<br>%   | 磷<br>%    | 錳<br>%    | 抗張力<br>lb/平方英寸 |
|----------------|-----------|----------|-----------|-----------|----------------|
| 軟鐵 用於滑車及小鐵品等   | 2.20~2.80 | 不過 0.085 | 不過 0.70   | 0.30~0.70 | 28,000         |
| 中鐵 用於引擎之汽筒等    | 1.40~2.00 | 不過 0.085 | 不過 0.70   | 0.30~0.70 | 30,000         |
| 硬鐵 用於壓縮空氣機之氣筒等 | 1.20~1.90 | 不過 0.095 | 0.70~0.40 | 不過 0.60   | 25,000         |

#### 冷硬鐵：

凡生鐵由高溫急遽冷却，則阻礙石墨發生，保存多量之「柝門泰特」，換言之，乃變成極硬之白銑。今苟以容易吸熱之鐵模，包蔽鑄品之表面，則內部因冷却遲緩，如普通灰銑之軟，外部則因急冷而硬，此生鐵輓子，車輪，鐵砧等之所以用冷硬鐵 (chilled-iron) 也。圖 88 示車輪鑄模之斷面圖。因僅與鋼軌觸接之處，必須堅硬，始耐磨滅，故於此部分用鑄模 C 以急冷之。試檢查冷硬鐵之斷面，其外層緊密而呈白色，且硬度極大，內部則程度漸減，終成普通灰銑，蓋冷

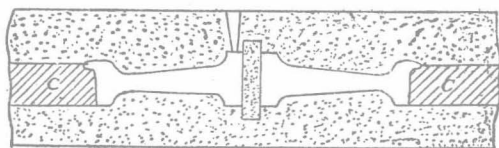


圖 88. 冷硬車輪之鑄模

硬之目的,外部必硬,庶能抵抗磨滅,內部則須比較的軟而不脆,以保持其抗強。

影響於冷硬之條件甚多,茲舉其重要者如下:

- (1) 磷硫能促冷硬之進行,硅則有阻礙之性。
- (2) 熔銑之溫度愈高,流動性愈大,則冷硬愈深。
- (3) 冷硬之斷面積愈小,全模愈厚,則冷硬愈深。
- (4) 冷硬之深淺一定之後,以鼓風吹之,則硬度增加。

#### 第四節 鐵與鋼之腐蝕

鐵與鋼極易生銹,故除機械某部分(生銹作用較遲及易於查閱磨洗之處)之外,常用覆庇劑 (coating) 如塗料,鍍鋅,鍍鎳,鍍錫等者以保護之。吾人所熟知之銹,乃棕色粉末,為鐵之氫氧化物——三氫氧化鐵,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ 。此由水與空氣之作用所生,二者為必要條件,缺一則不能生銹。但以空氣中無不稍含濕氣,而水則有吸氧之性,故鐵與鋼無在而不生銹。酸類雖非必須條件,但大可以促生銹作用之進行,故空氣中含有碳酸及煙燄中之亞硫酸,硫酸及鹽酸等,極增長生銹之速度。又微弱之電解 (electrolysis), 亦於鐵之生銹極有關係,而凡水與鐵相接之處,必有電解作用

發生，惟其量極微而已。但苟附近有大電力存在，則因漏電所生之電流，使電解作用增加，而生銹作用亦大為促進，今日電之應用之廣遠過往昔，而空中所含酸類益多（因多燒煤之故），故生銹問題，日趨重要矣。

銹之成因說：——銹之生成原因，古來議論不一。其一為二氧化氫說(hydrogen peroxide theory)。此云空氣中先發生二氧化氫，此與鐵化合成氫氧化鐵——銹。其二為碳酸說(carbonic acid theory)。此云空氣中必含有水及碳酸二者，鐵始生銹，其次序首由鐵與碳酸化合成碳酸鐵，此又與氧化合，始變為氧氧化鐵。以上二說，曾盛行一時，後經庫希曼(A. S. Cushman)之研究，已證明上說之不足信，乃倡為電解說，主張生銹之必須條件，為電解與離子狀態(ionic condition)之氫，蓋必有氫離子始能使鐵變為溶體：



氫離子對於鐵為陽電性(electropositive)，故行上變化時，氫離子乃傳其電於鐵，即行電解作用，氫自身則變為原子(或氣體)狀態，故欲此電解完成，必有氧或其他氧化劑存在，否則二氫氧化鐵( $\text{Fe}(\text{OH})_2$ )之生成，即行停止，故氧能間接促成生銹作用。

雖極純之水，莫不稍含氫離子，而普通之水，則所含尤多，故凡如氧化物之能增加氫離子之量者，皆能促銹之生成。又凡能增進電解作用者亦然。反之凡阻止氫離子之生成者，則可使生銹作用減退。

上述之二氫氧化鐵可溶解於水。此之生成，為生銹作

用之第一步,但須經下記變化,始能出現:



由此生成之 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ,不溶於水,故沈澱而出,即生成所謂銹者。

由上所述,可知凡能使電解力增加者,必能使鐵銹增加。不幸而雖極純之鐵,其電勢(electric potential)亦各處不同,因而發生電解作用。倘鐵質不純,或成分之析出過甚,則電勢差更大。又如建築橋梁之由無數鋼片連接而成者,各部分之電勢,乃極懸殊,故其發生電解頗大。至其顯微分子間,電勢亦各不同,故亦有促進或阻止生銹之功用。

鋼鐵分子之中,有能阻礙生銹作用者,如鐵中含石墨至10%(容積),熟鐵中含渣至4%,及鋼中含「栖門泰特」等,其生銹皆較純鐵更遲。但此等皆能引起電勢差,致促成生銹。此二相反作用,孰大孰小,惟實驗能定之。

各種鐵與鋼,因其成分不同,故生銹有遲速。概言之,生銹比較熟鐵與鋼,不易生銹,故對於不須大抗強之用途,如水管等者,以生鐵管為佳,原因雖多,其所含石墨有抵抗生銹之性,蓋亦其原因之一。鋼與熟鐵生銹之遲速,相差甚微,但尚無切實可靠之決定。而惟此二者同有局部生銹(pitting corrosion,其原因多由於氣孔,析出,氧化物體,及銲接不良之處,生銹較速)之性,故製煉之愈不良者,其生銹作用愈大。

鐵與鋼之化學成分,頗關係於生銹作用。概言之,含錳多者似容易生銹,含鉻亦然,而影響最大者為硫,此大可促

銹之發生，而硅，磷，硫，鎳則適呈反對之現象，但以鎳之效力為最大。故船舶之鍋爐，鋼管，及水雷，防禦網等，皆用含鎳30%之鋼。

防銹之法，可用銅，鋅，錫，及氧化鐵等，覆庇鐵之表面以保護之，此曰覆庇劑，其完全存在之際，自可達保護之目的，但倘一部分損壞，使鐵面露出，則反因覆庇劑之故，發生電解作用，其生銹更烈。各覆庇劑中，惟鋅為陽電性（就與鐵接觸時言之），有保護鐵之作用，其餘則否，故以鋅為最善。但鋅自身有易於銹壞之害，故有主張以含銅25%，含鋅75%之合金為佳者。

鍍鋅法(galvanizing)者，乃以鋅為覆庇劑以防止鐵之生銹之法也。常應用於鐵線及薄鐵板等，用途最廣（俗稱洋鐵，鐵板，皆指薄鐵板之鍍鋅者）。鍍鋅之法有三：曰冷鍍鋅法(cold galvanizing)，曰熱鍍鋅法(hot galvanizing)，曰乾鍍鋅法(dry galvanizing)。

冷鍍鋅法，乃以鐵件（線或板等）為鍍電池之陰極板，鋅為陽極板，使行電解作用，則鋅附着於鐵件之上。電解液為硫酸鋅溶液。所鍍鋅之厚，約0.0003~0.0005英寸，以重量計之，鐵面每平方英尺約重0.2~0.3「盎斯」。

熱鍍鋅法，乃以鐵件浸於熔鋅中（熔鋅之溫度約425°~460°C.，較鋅之熔點略高，熔點419°C.），為時約一分半至七分半鐘，則鋅附着於鐵件。其附着之量，關係於時間之長短。厚約0.0003~0.0010，以重量計之，每平方英尺約0.2~0.6「盎斯」。對於鐵線則每磅需鋅0.2~0.6「盎斯」。此法為

最常用之鍍鋅法。

乾鍍鋅法，乃最近發明者，其法將鐵件加熱於密閉器中，而以「藍粉」(blue powder, 乃稍含氧化鋅之鋅末，其價較廉，為煉鋅時之副產物)覆之，及溫度達 $300^{\circ}\text{C}$ ，則變為合金，成堅實之覆庇劑，鮮有剝落之虞。

鍍錫(tinning):——鐵常鍍錫，以防有機酸(如常存於食品中者)及各元素之侵蝕。故如廚房用品及罐頭等皆用鍍錫。其耐久性遠過於鍍鋅者，但為價較貴。鍍錫如熱鍍鋅法，以鐵件投入熔錫中，再使之通過軋機，使附着鐵面之錫，緊接鐵面，且呈光滑。

鍍鎳(nickel plating):——鐵件之極須光滑且耐摩擦者，常用鍍鎳，其法與冷鍍鋅法同。其價較鍍錫尤高，但抵抗力亦較大。

上泐(enameling):——如鐵浴盆，浴室用鐵管及廚用鐵件等，多用泐覆庇之。其法將鐵件燒紅，鋪泐粉於其上，則全部熔解，流布全面。泐之必須條件，乃不溶於水及常見之藥劑，且須對於膨脹收縮，具有彈性，庶不至剝落。

染料概以油與顏料合用，油之常用者為亞麻仁油(linseed oil)，顏料則為一氧化鉛或一氧化鉛與三氧化二鐵之混合物。白色顏料則多用硫酸鉛，鉛白(一氧化鉛，硫酸鉛及硫酸鋅之混合物)及硫酸鋅等，但為價較貴。又土瀝青(asphaltum)及其他氫氧化物等皆可應用，尤以對於濕地及水中為適宜。

## 第五節 加熱與性質之關係

加熱與晶粒：——加熱與冷卻時，晶粒之大小，時有變化。據薩維尤氏(Sauveaur)之研究，可由圖89說明之。圖中之高，所以表示溫度；陰線之寬，所以表晶粒之大小。圖(甲)乃示冷卻時之變化。凝固開始後，「奧斯滕奈特」之晶粒漸次增大，直達變態點而止，自此而下，雖冷至常溫，晶粒亦無變化。圖(乙)乃示由常溫再加熱時之變化。在通過變態區域時，全部成「奧斯滕奈特」，其組織極緊密而均勻，熱度再加，「奧斯滕奈特」乃開始結晶，溫度愈高，則晶粒愈大。再簡易言之，在五六百度以下，晶粒之大如故，至七百度時，晶粒最小，以上則與溫度齊加。晶粒之大小，極影響於抗強與韌性，粒愈小者則抗強與韌性愈大。下示其例，長變之小，蓋所以表示韌性之小也：

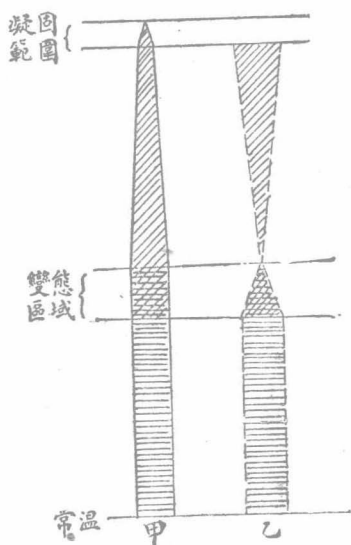


圖 89.

| 晶粒之大<br>(平方耗) | 抗張強<br>(每平方耗耗) | 長變<br>(%) |
|---------------|----------------|-----------|
| 0.0148        | 69.6           | 15.0      |

|        |      |      |
|--------|------|------|
| 0.1108 | 70.3 | 19.0 |
| 0.0062 | 77.7 | 22.5 |

上已言之，在七百度以上，晶粒之大小與溫度之高低成正比例。故倘加熱過甚，則晶粒太粗，鋼不堪用，此曰過熱(over heating)。但過熱鋼可再冷至七百度以下，而後再加熱至適當程度，使晶粒變細，此曰恢復(restoring)。此為鋼鐵製煉家及使用者必知之事項。加熱之溫度過高，屢達不可恢復之程度，曰過燒(burning)。蓋過燒之鋼，因空氣中之氧，侵入鋼中，與碳化合成一氧化碳，或晶粒之間，發生氧化鐵，故再不能恢復。鋼中含碳愈多，則過燒之現象愈著，其原因有二：(一) 碳愈多，則所生之一氧化碳亦愈多 (二) 碳愈多，則鋼之熔點愈低，故過燒愈易。

鋼之軟化：——鐵與鋼凡經過機械處理或火淬作業之後，其性變脆。但再加熱而徐冷之，則可回復原來之性質。此種加熱而徐冷之作業曰軟化(annealing)。加熱之溫度曰軟化溫度。軟化之目的，再細分之如下：(1) 將鋼軟化，使工作容易；(2) 以除却鑄品收縮時所生之內應力(stress)；(3) 使鍛鍊時所生之粗組織變為細密，且減其硬度；(4) 以恢復處理失宜(如過熱)之鋼之性質。欲達軟化之目的，必加熱至一定之溫度，使鋼全變為「奧斯滕奈特」。但此溫度，隨碳之多少為轉移，故軟化溫度，乃隨含碳量而定，下表示含碳量與軟化溫度之關係：

| 含碳量(%)  | 軟化溫度(C.)  |
|---------|-----------|
| 0.12 以下 | 875 ~ 925 |



|             |           |
|-------------|-----------|
| 0.12 ~ 0.25 | 840 ~ 870 |
| 0.30 ~ 0.49 | 815 ~ 840 |
| 0.50 ~ 1.00 | 790 ~ 815 |

軟化時，務使全體達到同樣之溫度，故必視材料之大小，定軟化之時間之長短。概言之，對於厚約一英尺者可一小時，愈厚則時間應愈長。至冷却之緩急，則由材料所必須之性質而異，如以軟爲最要而抗強等稍可犧牲者，則尙遲緩，否則貴急。

鋼之火淬：——凡鋼由高溫急冷之，則硬度增加。此曰火淬(hardening, 或云硬化)。據哈烏氏(Howe)之研究，對於含碳0.21%之鋼，由冷却遲速不同，其性質之變化如次：

| 冷却方法   | 抗張力<br>(lb/平方英寸) | 長變<br>(%) | 斷面積減少<br>(%) |
|--------|------------------|-----------|--------------|
| 半溶解之鹽水 | 237,555          | 2.00      | 1.30         |
| 冷水     | 216,215          | 1.50      | 1.67         |
| 油      | 174,180          | 2.90      | 1.40         |
| 空氣中    | 86,797           | 27.76     | 57.83        |
| 爐中     | 80,103           | 28.15     | 54.75        |

由上表觀之，可知在爐中冷却之鋼極富於黏性，而急冷於鹽水中者，抗張力殆增加三倍，然黏性則大減，則急冷之能增加硬度之效力可知矣。由急冷使硬度增加之程度，又因含碳量之多寡而不同，即碳愈多者，則急冷後抗張力愈加，而長變愈減。次表乃示含碳量與急冷之影響之關係：

| 含碳量<br>(%) | 抗張力 (lb/ 平方英寸) |        | 長變(%) |     |
|------------|----------------|--------|-------|-----|
|            | 軟化者            | 急冷者    | 軟化者   | 急冷者 |
| 0.10       | 60300          | 66400  | 29    | 24  |
| 0.14       | 61500          | 78100  | 27    | 22  |
| 0.23       | 66500          | 99400  | 26    | 14  |
| 0.52       | 97800          | 132100 | 20    | 9   |
| 0.60       | 116400         | 153400 | 14    | 4   |
| 0.72       | 130700         | 180100 | 9     | 0   |

前已言之，鋼之冷却益急，則其變態點變低。鋼之有硬化性，實由於此。蓋急速冷却，即所以使「奧斯滕奈特」變為「斐賴特」與「栖門泰特」之變態點降低。換言之，使其在高溫時之組織，至低溫度時仍能維持，故倘冷却極急，理論上應可得常溫之「奧斯滕奈特」，但實際上多含有所謂「馬丁賽特」(martensite)及「突廬斯泰特」(troostite)者，而此各個之量，則關係於急冷之程度，此急冷之所以影響於鋼之各種性質也。

「奧斯滕奈特」乃「栖門泰特」之固溶於 $\gamma$ 鐵者，約可含2%之碳，在變態區域以上之溫度為安定體，但在常溫時，則頗難維持。用含碳較多之鋼，熱至千度以上，以極有效之冷却法行之，庶可得近於完全之「奧斯滕奈特」。倘用含碳約1.5%之鋼，熱至千度以上而完全急冷之，則得混含「馬丁賽特」之「奧斯滕奈特」。鋼中含錳或鎳，可使變態點降低，倘含錳至12%，或含鎳至25%，則變態點降至常溫以下，故無須急冷，亦能將「奧斯滕奈特」維持至常溫時。

「馬丁賽特」乃「栖門泰特」之固溶於 $\beta$ 鐵者，因含 $\beta$ 鐵之

故，其性極硬，稍具磁性，且含有 $\alpha$ 鐵。以多含碳之鋼，投之冷水中，小者全變為「馬丁賽特」，大者則外部成「馬丁賽特」內部成「突廬斯泰特」。倘含碳不多，則二者同時出現。要之被急冷之鋼之組織中，以「馬丁賽特」為最硬，其性亦極脆。呈針狀組織，乃其特徵。稍加熱之，則變為「突廬斯泰特」。

冷卻時較「馬丁賽特」稍緩，則得「突廬斯泰特」。據貝內狄克斯氏(Benedicks)之說，「突廬斯泰特」乃下記三者之混合物：(1)「栖門泰特」與 $\beta$ 鐵之固溶體；(2)「栖門泰特」之結晶；(3) $\alpha$ 鐵之結晶。故「突廬斯泰特」之堅硬，乃因含有 $\beta$ 鐵之故；其富於磁性，乃含有 $\alpha$ 鐵之證。

將「突廬斯泰特」熱至四百度，則變為「梭拜特」(sorbite)。此與「突廬斯泰特」之組織的成分頗相似，唯含 $\beta$ 鐵較少，更與「佩來特」(pearlite)相近，惟冷卻時較「佩來特」稍急，則得之矣。至其成分約略如次：(1)含有固溶於「栖門泰特」之 $\beta$ 鐵，因此之故，較之「佩來特」強而且硬；(2)含有多量之 $\alpha$ 鐵，故具磁性及黏性；(3)含有「栖門泰特」之結晶。

綜上所說，可知凡由變態點以上之溫度冷卻時，因其緩急不同，須經過以下五種階段：

第一段 「奧斯滕奈特」(austenite)

第二段 「馬丁塞特」(martensite)

第三段 「突廬斯泰特」(troostite)

第四段 「梭拜特」(sorbite)

第五段 「佩來特」(pearlite)

火淬時鋼之內部，必發生一種應力，蓋由於內外部冷卻之緩急不同，故收縮之度各異，而以急冷為尤然，其結果致呈脆性，甚且外部龜裂，薄板則至彎曲。

鋼之退火：——退火(tempering)者，將已火淬之鋼，以低溫度(遠在變態點以下之溫度)再熱之，以除却火淬時所生之內應力及脆性等為目的者也。茲試言熱至低溫所以能達到退火之目的之故。蓋火淬之鋼，極不安定，稍有機會，即趨向於安定狀態，故由「奧斯滕奈特」變為「馬丁賽特」，再由「馬丁賽特」變為「突廬斯泰特」，如水就下，終至變為最後之「佩來特」，始達最安定之地位。其在常溫之所以不變化者，因為剛性拘束之故，故只溫度稍加，剛性略減，則變化隨之。據薩維尤氏(Sauveaur)之研究，雖只加熱至百度，亦能表現退火之效果云。

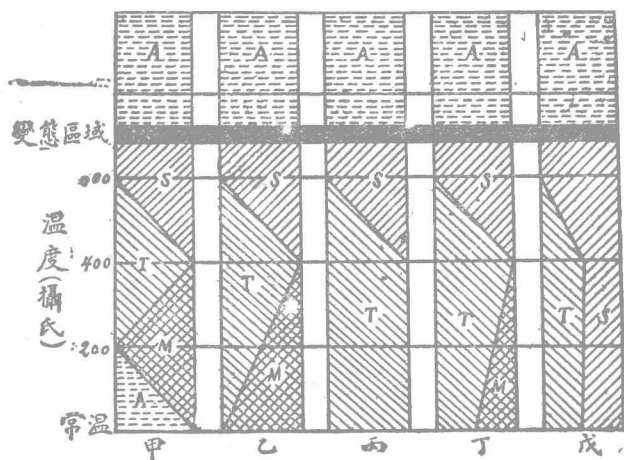


圖 90.

火淬鋼之再熱時所起之變化，可如圖 90 所示。圖中(甲)

乃在常溫時全部為「奧斯滕奈特」之鋼，加熱之則漸次變為「馬丁賽特」，至二百度時，乃全部變為「馬丁賽特」，再熱至二百度以上，乃由「馬丁賽特」漸次變為「突廬斯泰特」，至四百度時，則全部變為「突廬斯泰特」，熱至四百度以上，漸變為「梭拜特」，至六百度，則全變為「梭拜特」。圖中(乙)乃在常溫時全部為「馬丁賽特」之鋼，(丙)為「突廬斯泰特」之鋼，其變化情形可如(甲)推知之。圖中(丁)在常溫時半為「馬丁賽特」半為「突廬斯泰特」，圖中(戊)則半為「突廬斯泰特」半為「梭拜特」，其變化亦如圖所示。要之，不論常溫時之組織的成分如何，凡熱至六百度時，則全部變為「梭拜特」，由此再加熱之，則終入變態區域。在此變態區域中，溫度漸高，則由「梭拜特」首變為「突廬斯泰特」，次變為「馬丁賽特」，至變態區域以上，乃全變為「奧斯滕奈特」。如上所述，倘再熱至六百度以上，則火淬之效果全然消滅。

退火時之溫度，不宜過高，只期達到退火目的而止，故其溫度選擇，極為重要，且應隨鋼品之用途目的而異。如刀類之以硬度為最重要而抗強略可犧牲者，則以  $230^{\circ}$  附近為宜；又如鋼鑿等之須耐打擊者，不宜過脆，故以  $300^{\circ}$  為佳。

退火時硬度減退，乃當然之理，據海因 (Heyn) 氏之實驗，對於各溫度硬度減退之比較如次：

| 溫度 (C.) | 硬度減少 (%) | 溫度 (C.) | 硬度減少 (%) |
|---------|----------|---------|----------|
| 100     | 2.5      | 400     | 70.0     |
| 200     | 14.0     | 500     | 87.5     |
| 300     | 41.0     | 600     | 97.5     |

# 第十一章 合金鋼

## 第一節 概言

普通之鋼，主為鐵與碳之合金，稍雜含其他元素。但屢有特加他種元素以期改變鋼之性質者，此曰合金鋼(alloy steel)，前者曰碳鋼(carbon steel)。據萬國委員會所規定，凡鋼之性質之主因於碳以外之元素者，曰合金鋼。吾人於柏塞麥法及馬丁法煉鋼時，常加1.5%以下之錳，以期脫氧，且除硫之害。又常加0.1~0.2%之硅，以妨氣泡之生成。但此等雖於鋼性有益，而性質仍未大變，故不得稱為合金鋼。吾人所謂錳鋼者，必含有10~20%之錳，其性質因與未含錳之鋼懸殊，硅鋼亦然(必含2~3%之硅)，如此者始稱為合金鋼。

三合金：——合金之由鐵，碳及其他一種主要元素之所成者，曰三合金(ternary alloys)。此類應用最廣，其最重要者為鎳鋼，錳鋼，鉻鋼，鎢鋼，鉬鋼，硅鋼等，此等有用三合金之曾經研究者極少，尚餘有廣大範圍供將來之發明。

四合金：——合金之由鐵，碳及其他二元素所成者，曰四合金(quaternary alloys)。此中之最常見而重要者為鎳鉻鋼，鎢錳鋼，鎢鉻鋼，鎳錳，錳硅，鎢鉬，鎢鎳，鎳鈳鋼等。碳鋼之中加入某一種元素，則鋼性大變；倘加入兩種元素，則變性尤甚；其結果可使與原來材料成性質全然不同，甚至相反之新產品。而此類四合金，今日之曾經研究者極少，待此

後之發明者更多。

合金鋼製造法：——合金鋼之製造，極為簡單，可如加碳劑加入鋼中即得之。例如製造錳鋼，可於工作終期加入適量之錳鐵，製造鎳鋼時之加鎳鐵亦然。鎢鋼及鎢鉻鋼則常用坩堝法製造之，適量之鎢鐵及鉻鐵或金屬鎢鉻，宜置於坩堝中配料之上。

## 第二節 鎳鋼

鎳鋼乃合金鋼中之最重要而用途最廣者。在普通商業品中，含鎳1.5~4.5%，普通2.0~3.75%，含碳0.20~0.50%。除鐵甲板（此為鎳鎢之四合金鋼）不計外，鎳鋼之最大用途為橋梁，鋼軌（特用於轉彎處），鋼鑄品，礮身，機軸，引擎鍛品，汽車架及引擎，鋼纜，火車之車軸等。吾人探究鎳鋼之特別性質，即可知鎳鋼用於此種用途之理由。

抗張性：——碳鋼與鎳鋼之主異點，在後者之彈性限度（elastic limit）較高，而可延性之減退不大。例如加3.5%之鎳於碳鋼，彈性限度可增至50%，而其可延性則只減少15~20%。鎳鋼之所以獨能抵抗疲勞性（fatigue，普通鋼凡受反復及變換內應力時，較之受不變之內應力者極易破裂，此曰疲勞性）者，實由於此彈性限度增加之故，約加3.5%之鎳，可使鋼抵抗疲勞性增加六倍之壽命，故大船之迴轉軸概用鎳鋼。他如橋梁，大礮，鋼纜，汽車各部之競用鎳鋼者，亦由於此彈性限度較高之故，蓋因此可由同重量之鋼，得較大之抗強力也。

晶的結構：——鎳鋼之晶的結構，較細於普通碳鋼；此蓋鎳鋼富有黏性之一原因，而其龜裂較遲亦由於此。凡鋼之受疲勞性時，其初由晶之破面(cleavage plane)開始龜裂，漸次發達，蔓延至晶與晶之間，至肉眼亦能辨識，此後則其進行益速。在鎳鋼，此龜裂之發達，較遲於普通碳鋼。彈丸中鐵甲板時，苟此為鎳鋼，則開裂不若是之易，且不若是之甚，故現今之鐵甲板，概用含鎳4~5%之鎳鋼。

彈性率：——鎳鋼之彈性率，其含鎳在4~5%者，與普通鋼無異，約29,500,000 lb/平方英寸，倘含鎳增加，則彈性率低降，而含鎳在20%以上者，其低降尤甚。故橋梁材料所用之鎳鋼，含鎳不可過4%以上。

硬度：——鎳鋼之硬度較大於普通鋼，故用於鐵路轉彎易摩滅處之鋼軌，且因摩擦係數較低，抗強力較大，故用於汽車，火車等之車軸。

堅實：——鎳鋼鑄品，含氣泡較少，抗強較大，故常用於鑄品。且因熔點較低，故在模中易於流動。

膨脹：——鎳鋼之膨脹率極不一定，但在常溫則含鎳愈多，膨脹率愈小。含鎳至36%，則幾等於零。此種鎳鋼，用於科學器具，如掛鐘之錘，及精細測量所用之鋼尺等。

腐蝕性：——鎳鋼不論在空氣中或淡水，海水及普通酸類與煤煙中，其腐蝕性較小於普通鋼。其腐蝕之度，隨含鎳量之增加而減少，故對船用鍋爐，常用含鎳30%之鋼。

其他性質：——含鎳3.5%之普通鎳鋼，尚有數種性質特異於尋常碳鋼，如抗壓力，抗擊力及抗剪力等，均以鎳鋼為



較大。鎳鋼之用於鍋釘(rivet),蓋因抗剪力較強之故。惟鎳鋼不如碳鋼之易於鍛接,製造時極宜注意。鎳在鋼中析出之性最小,且可防止他元素之析出,此可減少鋼之意外之變。鋼含碳至0.5%以上,鎳可使石墨遊離。

鎳之分布:——據倭托好斯 (Waterhouse) 氏之試驗,在含鎳3.8%之鎳鋼中,鎳之一部溶解於「栖門泰特」中,組成 $(\text{FeNi})_3\text{C}$ 。但鎳之含於「栖門泰特」中之量不如含於「斐賴特」中者之多,由此可知鎳易溶解於「斐賴特」中。

### 第三節 錳鋼及鉻鋼

錳鋼為英人赫飛爾德 (Robert A. Hadfield) 所發明,據其研究之結果,不僅其性質與根據理論所期待者全然相反,而硬度與可延性二者之並加,乃以前所未知,吾人以爲不可能者。不斷的研究與忍耐,其大發明之母歟! 由研究錳鋼之結果,得如下之定律:凡加入定量之某種元素,可使鋼發生一定之結果,但決不能斷定加入量之不同,亦能於不同的程度得同樣之結果。其實,加入之量不同,則其結果完全不同,有時且適相反,如錳鋼是也。

鋼中含錳在1%以上,則硬度增大,稍帶脆性;含錳更多,則硬度與脆性齊加;及含錳至4~5.5%,可鎚擊成粉;過此成分以上,迄無增加;及含錳7%,則有完全新的性質出現;含錳至12~13%,鋼之抗強與可延性達最大限。此時含碳約1.25~2%。因錳鐵中含碳常多,故由錳鐵所製之錳鋼,含碳亦多。但近有製出少含碳之金屬錳之法,故錳鋼

中之碳亦可減少矣。

錳鋼鑄成鋼塊或鑄品後，徐冷之，則幾如玻璃之脆。但倘加熱至千度以上，由水中急冷之，則以前之脆性變為如軟鋼及熟鐵之可延性，而抗強約三倍之。此急冷作用在普通碳鋼徒增加脆性者，在錳鋼反增加可延性。其硬度則急冷者與徐冷者無異，殊難車削，無可使軟化之法。

錳鋼加熱時，宜徐緩均一，以免龜裂。鍛冶頗不易，只能行於赤熱上最小範圍之溫度內。且初宜用錘輕打之，稍後韌性增加，可行軋軋。

錳鋼之用途，主為壓石機類之牙板及磨滅部分，又鐵路之叉道及轉彎部分，與礦車輪及保險箱等。對於橋梁建築，其抗強與可延性雖大，但彈性限度較低，只抗斷力之35%，故不甚適用。錳鋼受張力時，其全長受均一之延長，此亦為錳鋼之特性之一。

錳鋼之硬度一部分固直接由於錳之硬度，但間接的使鋼成「奧斯滕奈特」狀態，尤為增加硬度之重要原因。蓋因錳可使鋼之臨界變化之溫度低降至常溫以下，故錳鋼全由「奧斯滕奈特」而成。

#### 鉻鋼：

鉻鋼常含鉻1~2%，含碳0.8~2%，常以硬化體用之。鉻鋼之硬度及彈性限度高，故最適於製造大砲彈。由同樣理由，可供鐵甲板，壓石機各部及極硬鋼板之用。克魯伯(Krupp)之鐵甲板含鎳3.25%，含鉻1.5%，含碳0.25%。

#### 第四節 自硬鋼及高速工具鋼

自硬鋼：——自硬鋼 (self-hardening steel) 乃鋼之不受加熱處理及其他硬化方法而能自硬者之謂。自硬鋼在現今尚無法可使之軟化。此又稱空氣硬化鋼 (air-hardening steel), 蓋由赤熱或以上溫度於空氣中冷却之, 不如普通鋼之軟化, 其硬乃能鑿削其他金屬。錳鋼是模範之自硬鋼, 且凡鋼之在常溫而成「奧斯滕奈特」者皆然。錳鋼為非磁性, 凡自硬鋼亦皆為非磁性。

馬謝鋼 (Mushet steel): ——自硬鋼之名稱, 始於馬謝氏 (Robert Mushet) 用於其所發明之鋼——其自硬性質, 基於錳錫二者之同時存在。此種鋼之成分不一, 但約含錳 4~12%, 含錳 2~4%, 含碳 1.5~2.5%。模範品含錳 9%, 含錳 2.5%, 含碳 1.85%, 性質極良。此亦為非磁性, 且尚無軟化之法。馬謝鋼 久為著名之工具鋼, 因硬而耐久, 雖長時間供急烈之使用, 亦能保持其鋒。故現今凡對於極深重之工作及特別硬鋼之車削時多用之。馬謝鋼 中之 2.5% 之錳, 可以 1~2% 之鉻代之, 仍得與馬謝鋼 性同善之自硬鋼。又 9% 之錳, 亦可以 4~6% 之鉬代之, 其性較馬謝鋼 稍韌。

高速鋼：——高速鋼 (high-speed steels) 乃工具鋼之用於速度較大之工作者, 其成分與自硬鋼稍異。錳能使鋼在赤熱時硬而且韌, 鉻錳非必需成分, 倘以錳代之, 更能耐久, 故高速鋼有含錳至 24% 者。碳自同時減少, 常含碳 0.4~

0.8%。鉬可代鎢之用，且有信鉬鋼更韌而耐久者。又鉬鎢亦可並用。要之，高速鋼之種類無慮數十，且日有進步，難以概言。例如含鉬約10%之鉬鋼，在美國曾極盛一時，今日則仍以鎢鋼為最常用。

對於自硬鋼，由帖衣洛與懷特(Taylor and White)二氏發明特種加熱處理法，貢獻最大。其法將鋼熱至熔點稍下，投於熔鉛池中(溫度 $700^{\circ}\sim 800^{\circ}\text{C}$ )，俟達此溫度，而後取出，再投入油中冷卻之。對於高速鋼，亦加熱至熔點附近(鎢鋼 $1200^{\circ}$ ，鉬鋼 $1000^{\circ}\sim 1100^{\circ}$ )，而後以冷風吹之，使降至赤熱以下。

高速鋼之鍛冶只能施行於亮赤熱之上，即約在 $1050^{\circ}\sim 1150^{\circ}$ 之間。其加熱與軟化極宜注意。加熱時須極遲緩的熱至軟化溫度以上(約 $800^{\circ}\text{C}$ )，而後於石灰、炭灰或爐中冷卻之。如此所得者，雖不如碳鋼之軟，但易於車削。更簡易之軟化法，可用二次加熱(double heating)行之：始徐熱至 $700^{\circ}\text{C}$ ，乃徐冷至 $400^{\circ}\text{C}$ 或以下，而後再熱至 $700^{\circ}\text{C}$ ，維持十分鐘，乃於空中冷卻之。

磁性鋼：——磁性鋼(magnetic steels)非用於鑿削者不應與高速鋼並論，惟因其成分相似，故便及之。將硬化鋼置於磁場中約數分鐘，即得永久磁石，其磁力可保持長久。鋼之含鎢4~5%，含碳0.5~0.7%者，熱至赤熱(約 $800^{\circ}\text{C}$ )而投諸水中以急冷之，則其保持磁性之久遠過於普通硬化碳鋼。有時常加入0.5%之銘，此能增加永久性，但磁力則為減殺，此蓋由於 $\gamma$ 鐵較多而 $\alpha$ 鐵較少之故。

## 第五節 硅鋼及釩鋼

硅鋼 (silicon steel) 經二次加熱處理, 則表現最大之磁性。吾人初以為凡百物質之中, 其磁力與受磁性之最大者, 厥惟純鐵。自赫飛爾德發明此新硅鋼 (其成分與處理法詳後), 不僅其受磁性大過於純鐵, 且電抗之高, 足為硅鋼之特色, 故對於電磁石為極有價值之材料, 對於發電機械尤為效率最佳者。因其受磁性大, 故可增高摩托之效率, 加之抵抗最大, 故可減少消耗電力之渦流 (eddy current)。

赫飛爾德之硅鋼約含硅 2.75 %, 與最小限之碳, 錳及其他雜質。用二次加熱處理法: 首熱至  $900^{\circ}\sim 1100^{\circ}\text{C}$ ., 乃急冷之, 再熱至  $700^{\circ}\sim 850^{\circ}\text{C}$ ., 而後極徐冷之。據赫飛爾德之經驗, 最好首熱至  $1070^{\circ}\text{C}$ ., 乃急冷至常溫, 再熱至  $750^{\circ}\text{C}$ ., 而後徐冷之。有時可再熱至  $800^{\circ}\text{C}$ ., 再徐冷之。

釩鋼 (Vanadium steel) 雖尚在幼稚中, 但其年來之發展, 大有使吾人注目之價值。元素之中除碳而外, 其影響於鋼性之大, 無有過於釩者。僅加入 0.10~0.15 % 之釩, 即可得極強有力之結果; 據現在經驗, 釩量不應過 0.3 % 以上。釩不僅大可增加鋼之抗強, 且可供脫氧與氮之用, 又能減少成分之析出, 增加鋼之鍛接性。加釩於鎳鋼與鉻鋼, 大可增加鋼之抗強與韌性等。釩應可適用於高速鋼, 但實際上結果不良, 尚待研究。

釩之熔點極高, 故常用釩鐵 (ferro-vanadium) 於加錳之後加入, 蓋恐被氧化也。釩鋼不難鍛冶, 但須徐徐加熱, 且工

作時不可過急。此與各種鋼同樣，不可於過高之溫度鍛冶之。

鈳鋼能適於各種用途，尤適於須強而輕如彈簧，車軸，機軸及其他旋轉部分。鈳有脫氧氮之力，且能使鐵呈流動性及韌性，故常用於生鐵。冷硬鐵含鈳，則耐久性與可延性增加。

## 附 錄

## 中外度量衡比較表

## 1. 長度

|      |                                       |
|------|---------------------------------------|
| 1 部尺 | = 0.32 呎 (公尺, metre) (前清光緒三十三年農工商部所定) |
|      | = 1.0499 英尺 (ft)                      |
| 1 關尺 | = 1.11875 部尺 (與外國通商條件中規定)             |
|      | = 0.358 呎                             |
|      | = 1.175 英尺                            |
| 1 里  | = 1800 部尺                             |
|      | = 0.576 千米 (kilometre)                |
|      | = 0.3579 英里 (mile)                    |
| 1 呎  | = 3.125 部尺                            |
|      | = 3.281 英尺 = 1.094 碼 (yard)           |
|      | = 3.3 日尺 (shaku)                      |
| 1 千米 | = 1.7361 里                            |
|      | = 0.6214 英里                           |
|      | = 0.2546 日里 (ri)                      |
| 1 英尺 | = 0.95248 部尺                          |
|      | = 0.3048 呎                            |
|      | = 1.003 日尺                            |
| 1 英寸 | = 0.79374 部寸                          |

= 2.54 糲 (centimetre)

1 英里 = 5209.109 部尺 = 2.44 里

= 1.609 籽

## 2. 面積

1 平方尺 = 0.1024 平方呎

= 1.102264 平方英尺

1 畝 = 6000 平方尺

= 6.144 安 (are, 即平方料 square decametre)

= 0.151827 英畝 (acre = 43560 平方英尺)

1 平方里 = 0.331776 平方籽

= 0.128104 平方英里

1 平方呎 = 9.765625 平方尺

= 10.764 平方英尺

1 安 = 100 平方呎

= 0.16276 畝

= 0.02471 英畝

1 平方英尺 = 0.907223 平方尺

= 0.0929 平方呎

1 平方英寸 = 0.630017 平方寸

= 6.4513 平方糲

1 英畝 = 6.58644 畝

= 40.8 安

1 平方英里 = 7.80615 平方里

= 2.590 平方籽



## 3. 體積

1 立方寸 = 0.032768 立方粉 (cubic decimetre)

= 1.999736 立方英寸

1 升 = 31.6 立方寸

= 1.0355 呷 (liter)

= 0.227903 加侖 (gallon)

1 立方糶 = 0.0305 立方寸

= 0.061 立方英寸

1 立方糶 = 30.5175 立方尺

= 35.32 立方英尺

1 呷 = 1000 立方糶

= 30.5175 立方寸

= 0.965747 升

= 0.220 加侖

1 立方英寸 = 0.500066 立方寸

= 16.39 立方糶

1 立方英尺 = 0.864114 立方尺

= 0.0238 立方糶

= 6.236 加侖

1 加侖 = 4.3878 升

= 4.54346 呷

## 4. 衡量

1 斤(庫秤) = 0.596816 尪 (kilogram)

= 1.315752 磅 (pound)

- 1 兩(庫秤) = 37.301 克(gram)  
= 575.641715 格冷(grain)
- 1 兩(關秤) = 1.0133618 庫秤兩  
= 37.783125 克(據法國條約)  
= 583.333 格冷
- 1 克 = 0.026809 庫秤兩  
= 0.026467 關秤兩  
= 15.43 格冷
- 1 鈞 = 1.675558 庫秤斤  
= 1.654178 關秤斤  
= 2.205 磅
- 1 十進噸 = 1000 鈞  
= 1675.558 庫秤斤  
= 0.9842 英噸(長噸)  
= 1.1023 美噸(短噸)
- 1 格冷 = 0.0017372 庫秤兩(1 盎斯 ounce = 480 格冷)  
= 0.001714 關秤兩
- 1 盎斯(常衡) = 0.760021 庫秤兩  
= 0.7500 關秤兩 = 28.346 克
- 1 磅(常衡) = 12.16034 庫秤兩  
= 12.00 關秤兩  
= 0.7500 關秤斤  
= 0.454 鈞

## 5. 壓力

每平方釐1尅 = 每平方英寸14.22磅(lb/平方英寸)

每平方英寸1磅 = 每平方釐0.07尅(kg/cm<sup>2</sup>)

1氣壓 = 14.7 lb/平方英寸 = 1.033 kg/cm<sup>2</sup>

# 中華學藝社出版物

## 學藝叢書

| 號數   | 書名     | 著者  | 每册定價大洋 |
|------|--------|-----|--------|
| (1)  | 要學     | 屠孝實 | 九角     |
| (2)  | 網理     | 陳大齊 | 九角     |
| (3)  | 生理     | 王其濤 | 九角     |
| (4)  | 心發     | 魏肇基 | 九角     |
| (5)  | 童世語    | 劉振華 | 九角     |
| (6)  | 通傳     | 張資平 | 九角     |
| (7)  | 遺鐵     | 王其濤 | 九角     |
| (8)  | 路運     | 胡世榮 | 九角     |
| (9)  | 輸與     | 曾何光 | 九角     |
| (10) | 遺鐵     | 張定光 | 九角     |
| (11) | 鐵行     | 陳之鵬 | 一元二角   |
| (12) | 極大     | 王邦珍 | 一元二角   |
| (13) | 高軌     | 陸志鴻 | 一元二角   |
| (14) | 定純     | 王邦珍 | 一元二角   |
| (15) | 放      | 沈懋德 | 一元二角   |
| (16) | 塔      | 郭沫若 | 一元四角   |
| (17) | 雪的除夕   | 張資平 | 一元四角   |
| (18) | 不平衡的偶力 | 張資平 | 一元四角   |

## 文學叢書

|     |        |     |      |
|-----|--------|-----|------|
| (1) | 塔      | 郭沫若 | 一元四角 |
| (2) | 雪的除夕   | 張資平 | 一元四角 |
| (3) | 不平衡的偶力 | 張資平 | 一元四角 |

出版者 中華學藝社  
 發行者 各省商務印書館

# 新學制高工教本

■ 商務印書館出版 ■

## 汽車學

裴元嗣著 一册七角

全書分十六章詳論汽車中發動傳動化油  
機滑發火起動 點燈種種裝置之原理與設備  
之形式車架車身輪胎等之構造駕駛管理之方法  
以及防免弊病之要義等精細插圖多至一百餘幅  
末附中英名詞對照表并有極詳細之索引立論明  
顯極合工業學校課本或家置汽車以及經營汽車  
事業者研究之用

## 市政工程學

凌鴻助編 一册八角

編者在工業界任職多年於工程學術極有研究  
此書於城市之規劃道路之修築衛生之設備等各  
項要義詳細論列尤能採取本國各地市政之成績  
以作原理之例說研究之資料

## 鐵路工程學

凌鴻助編 一册八角

此書於各項建築原理如測勘路線軌枕車站鐵  
道涵洞橋梁之外更論及鋪路法與鐵路之營養使  
學者了解施工與營養維持之道

## 實驗電報學

曾清鑑編 一册六角

編者本其電報學二十餘年之研究與經驗更廣  
搜西籍百數十種提綱挈領編爲是書首論電磁之  
原理次論通報之器具電報工程電線之病測量法  
電報紀號末論電報規則等

## 汽機工程

曹 鋌編 在印刷中

## 冶鐵學

唐吉傑編 在印刷中

## 工廠設備

方漢城譯 一册六角

本書於工廠方面如災害原因及預防法採光法  
換氣法衛生法除塵法工業中毒預防法火災預防  
法等詳論無遺附機器插圖五十四幅

## 陶瓷學

何應樞編 一册六角

書分十一章細目八十餘節於原料之選擇試驗  
之手續成坏之法則釉藥之調製瓷器之分類工具  
之置備無不指示明白更附圖表多種以補文字之  
不逮研究陶瓷業者不可不讀

## 工業簿記

陸家瓚譯 一册五角

書分十章首論工業簿記之意義及與商業簿記  
之區別關係等以下分章述成本會計制度及帳簿  
格式等每章附有習題以便學者練習

## 材料強弱學

徐守楨編 一册四角

材料強弱學爲工程上之基本學科吾國前此尙  
無專書是編分七章(一)應力(二)初機及復機  
(三)梁(四)柱(五)軸(六)鉚釘接棒(七)鋼骨混  
凝土說理詳明插圖六十八幅

## 車床木工

郭元梁譯 一册二角

茲編首述車床之歷史及其安置法次敘器械之  
形式及其整理法并旋物變化之式樣與旋工巧妙  
之手術皆能切合實用再次爲練習末爲增補練習  
循序漸進甚合工科教授之用

## 染色學綱要

李 文編 在印刷中