

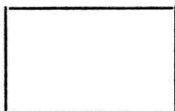
學鋼煉爐電

謝家蘭編

龍門聯合書局印行

電 爐 煉 鋼 學

版權所有



不准翻印

一九五一年九月初版

定價人民幣 22,000 元

編 者 謝 家 蘭
出版者 龍 門 聯 合 書 局

序

鋼鐵工業為國家重工業之首，一切工業之發展繁榮，皆賴此為之先導；鋼鐵煉成，供應各種工業加工或應用，始能提高人民生活。

自鐵礦冶煉成生鐵，除一小部分澆成鑄件外，大多採平爐冶煉成鋼。電爐煉鋼之目的，除冶煉不能在平爐冶煉之鋼料（如不銹鋼、特種工具鋼、耐熱鋼等等）外，在製煉品質優良之鋼料。與平爐鋼同樣成分之電爐鋼，具有較良好之所需特性，以之製造機器，可減少其重量，降低加工費用，並能經久耐用；此點對於發展航空、機械、化學等工業，至為重要。

一九四四年秋，我在美國共和鋼鐵公司合金鋼分廠(Republic Steel Corporation, Alloy District)工作，學習冶煉不銹鋼、滾珠軸承鋼、砲鋼、裝甲鋼、與各種鎳鉻鋁合金鋼等等。迄一九四六年春改入鐵馬根軸承公司煉鋼製管廠(Timken Roller Bearing Company, Steel and Tube Division)工作，除學習上述各種鋼料之冶製外，並對耐熱鋼料（如製造噴射式飛機輪機增壓器之15—25—6）鋼、工具鋼等之製煉，加以研究。是年冬曾赴各地參觀各冶煉合金鋼工廠。當時每於週末就一星期內冶煉工作經過，暨各項資料加以整理；同行友好見之，每囑回國後設法刊印出版。

一九五〇年任教北洋大學冶金系，設有合金鋼製造課程，感到教材缺乏，一般書籍雜誌對於冶製之具體作業，避而不談；乃將已寫就之一部分草稿先印成講義，再在授課時加以補充。同年暑假期中，加以整理，乃成本書；匆促付印，錯誤之處必多，尚祈同行專家，多予指正。

本書內容，僅及直接電弧電爐之操作方法，至於感應電爐等因乏大量生產價值，故從略。關於設備方面，本書所述與目下國內各工廠有

脫節之處，但不久之將來，電爐煉鋼工業必須步入正軌，此種資料或可有助於本工業之早日發展。至於冶煉作業細節，如去氧劑在何時加入、加入量之多少等等，宜視各工廠各別條件，加以適當之調整。煉鋼技術，雖向科學方向發展，但技藝仍佔極重要之地位；故如根據本書所述冶煉，並不能絕對保證冶煉良好之鋼料；必須總結本工廠經年歷久之紀錄，加以分析，逐步改善方可；同時應與應用鋼料之工廠，隨時合作，方能解決問題。

本書錄有冶煉記錄四十四種，係某工廠之操作方法。冶煉方法，各廠並不完全相同，即或同一工廠冶煉同樣成分之鋼料，亦因應用處所之不同，而有細節之改變。

合金鋼在製煉時，隨處有困難發生，尤以由鋼錠製成成品過程中，隨時有將良好材料廢棄之虞；關於此種資料，較為零碎複雜，尚未作有系統之整理，故從略。

在編著本書時，對於各種名詞之翻譯，最感困難。本書所用名詞，係個人試譯，自感諸多不恰當，尚希同行專家審核批評，以便再版時加以改正，不勝盼禱之至。

最後我感謝朱君復先生與韓海波先生，由他們二位之介紹，才能學習到許多冶煉技術。本書中一部分資料之整理，葉次珊先生與吳欽煒先生協助甚多；繪圖工作均由陶少傑先生繪製；北洋大學冶金系一九五二級同學幫助抄寫；索引由盧于述同學編列，一併附此誌謝。

謝家蘭一九五〇年八月於北洋大學

目 錄

第一章 緒言	1
第二章 電爐構造	3
第一節 爐殼	3
第二節 爐襯	7
第三節 爐頂	16
第四節 電爐之佈置	21
第三章 電爐之電氣設備	25
第一節 裝置與線路	32
第二節 斷路器與聯動開關器	35
第三節 變壓器	37
第四節 電弧調整	44
第五節 電爐控制設備與電氣設備之維護	50
第四章 電爐冶煉所需原料與材料	54
第一節 耐火材料	54
第二節 電極	66
第三節 造渣材料	73
第四節 鐵合金, 純金屬與去氧劑	77
第五節 廢鋼, 加碳劑與氧化劑	94
第五章 冶煉方法	96
第一節 進料	97

第二節 熔化	102
第三節 氧化時期	107
第四節 還原時期	119
第六章 一般冶煉作業	133
第一節 氧化爐渣之控制	133
第二節 爐膛溫度之測量方法	134
第三節 鋼液含碳量之估計	159
第四節 組粒大小之控制	164
第七章 其他冶煉方法	168
第一節 老式完全氧化冶煉法	168
第二節 部分氧化冶煉法	169
第三節 無氧化冶煉法	173
第四節 酸性爐冶煉法	174
第五節 熱進料冶煉法	190
第六節 平爐品質鋼冶煉法	194
第七節 起泡鋼冶煉法	195
第八章 出鋼與澆鋼	200
第一節 盛鋼桶	201
第二節 鋼錠模	209
第三節 鑄錠方法	220
第四節 鋼錠之卸脫	226
第五節 生產收回率	230
第九章 冶煉記錄	232
(一) 低碳鋼	232
(二) 中碳鋼	233
(三) 高碳鋼(普通)	234

(四)高碳鋼(工具)	235
(五)高碳鋼	236
(六)石墨 化(砂)鋼	237
(七)錳鋼	238
(八)錳鋼(工具鋼)	239
(九)砂錳鋼	240
(十)砂錳鉬鋼	241
(十一)高碳,錳 13/15, 銅鉬鋼	242
(十二)鎳鋼	243
(十三)鎳鋼	244
(十四)鎳鉻鋼	245
(十五)鎳鉻鋼	246
(十六)鎳鉻鋼	247
(十七)鎳鉬鋼	248
(十八)鎳鉬鋼	249
(十九)鉻鉬鋼	250
(二十)鉻鉬鋼	251
(二十一)鎳鉻鉬鋼	252
(二十二)鎳鉻鉬鋼	253
(二十三)鎳鉻鉬鋼	254
(二十四)鎳鉻鉬鋼	255
(二十五)砲鋼	256
(二十六)砂鉬鋼	257
(二十七)砂鉬鉻鋼	258
(二十八)氮化鋼	259
(二十九)鉻鈮鋼	260
(三十)高碳鉻鈮鋼	261
(三十一)鎳鉬軸承鋼	262
(三十二)不銹鋼	263
(三十三)滾珠軸承鋼	264

(三十四)滾珠軸承鋼	265
(三十五)滾珠軸承鋼	266
(三十六)滾珠軸承(含鉬鋼)	267
(三十七)不銹鋼	268
(三十八)不銹鋼(高炭)	269
(三十九)耐熱鋼	270
(四十)鉻鈮鎢鋼	271
(四十一)鎢鉻鈮鋼	272
(四十二)高 鎢鉻鋼	273
(四十三)鎢鈮鉻鋼	274
(四十四)鎢鈮鉻鉬鋼	275

索 引

第一章 緒 言

1880年威廉西門子(William Siemens)氏在一密閉容器中,利用電弧所發生之熱量熔化金屬,並於高溫時令其產生種種變化,奠定弧熱電爐之理論基礎;其時因可利用之電力來源缺乏,此種電熱冶煉方法迄未能臻於工業化,直至1898年始由斯坦三諾(Stassano)氏在羅馬建造水平式間接弧熱電爐(Indirect arc furnace)還原鐵礦;次年法國寶爾海洛(Paul Heroult)博士應用直接弧熱原理(Direct arc principle)在一開頂爐中製煉鉻鐵,並於爐頂置一爐頂以增加效率,遂為今日應用於煉鋼工業中最普遍之直接弧熱電爐之基本型式。

在電爐發展時期中,其型式與種類甚多。若以電弧之佈置而別,計有三種:第一種為獨立電弧(Independent arc)爐,如斯坦三諾(Stassano)與賴納忽爾(Rennerfelt)所設計者,電弧在兩電極間發生,利用其輻射熱熔化鋼料。第二種為爐底電極爐(Hearth electrode furnace),如Greavs-Etchell, Granwall-Dixon, 與 Girod 等所設計之電爐,係用一根或數根電極通至爐腔,與一根爐底電極間發生電弧。第三種為直接電弧爐(Direct arc furnace),包括 Heroult, Swindell, Lectromelt 與 Volta 等所設計之電爐,為今日最流行之一種。

電爐之容量亦逐漸增大,1927年美國鐵馬根軸承公司(Timken Roller Bearing Co.)曾建立20呎×29呎六電極橢圓形電爐一座,其容量約100噸。當時一般電爐多呈圓形,而容量皆限於25噸以下。自此以後,電爐之容量大為增加,但其形狀,為求熱效率良好,仍傾向於圓形。

現在弧熱電爐之容量自50磅至100噸。容量之大者多供製造鋼

錠鋼用，小者除試驗室應用者外，均供鑄造鋼鑄件或冶煉特種合金鋼之用。至於製造鐵合金 (Ferro-alloy) 或碳化矽 (Silicon carbide) 等用之電爐，則多少另具其他特性，不在本書討論之列。

電爐依其爐內所襯耐火材料之不同，可分為鹼性爐與酸性爐兩種。鹼性爐之爐底與爐襯，係用鎂砂等鹼性材料築成，冶煉時可利用鹼性及碳化鈣爐渣除去鋼料中之磷硫雜質。酸性爐爐底係用矽砂築成，爐襯係用矽磚砌成；裝料熔化後加入加碳劑或去碳劑以調整鋼液之碳分，不能加石灰造鹼性爐渣以去硫磷，故應用之原料須擇含低硫低磷之廢鋼。電爐之結構，不論鹼性或酸性，其基本原則完全相似；以鹼性爐容量較大，適於製造鋼錠；酸性爐容量較小，操作簡單迅速，適於鑄造鋼件。間有酸性電爐冶煉鋼錠鋼與鹼性爐鑄造鑄件者，但佔絕對少數。

電爐在工作時，如控制靈活，能產生較高強之溫度，並能迅速得到所希望之熱量。操作方法可任意改變，可冶煉任何鋼料，更適於製造各種高級合金鋼。低劣原料經氧化渣，還原渣或中性渣等處理後，可成優質材料；鋼料成分調節自如，生產收回率 (Yield) 大，高貴合金元素收回率大，原料之損耗少，粗粒 (Grain size) 與均勻度 (Homogeneity) 易於控制，故電弧爐煉鋼法成績之優良，使所有其他冶煉方法無出其右。

電爐須有熟練技術人員才能適心操作。電爐冶煉時消耗電力至鉅，在電力來源缺乏，電價昂貴之地域採用殊不經濟。

總觀以上所述各點，實利多弊少，困難之處，以經濟環境之因素居多，而非如技術上之困難較難解決。最近數年來，為適應環境有利用電爐冶煉平爐品質鋼料 (Open hearth quality steel)，或代替平爐冶煉起泡沫鋼 (Rimmed steel) 等等，將來水力發電發達，電力廉價供應，則電爐煉鋼工業之前景實無可限量也。

第二章 電爐構造

Electric Furnace Construction

第一節 爐殼(Furnace Shell)

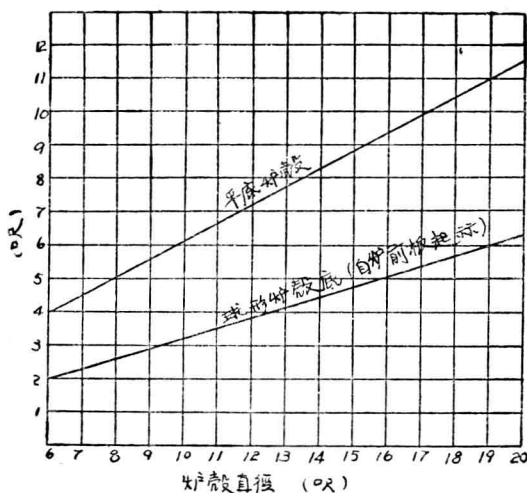
普通所稱電爐之容量，殊不正確；在工作時，進料之重量常可超出規定容量百分之三十至五十，尤以小型電爐可達百分之一百，故實應以爐殼之大小為標準。而電爐大小之區別，亦應以爐殼直徑為標準。普通而論，爐殼直徑在 12 呎以下者為小爐，直徑大於 12 呎者為大爐，茲將爐殼大小與容量之關係附列於后：

爐殼直徑(呎)	容量(噸)	爐殼直徑(呎)	容量(噸)
7.....	3,5	13.....	21
8.....	5	14.....	28
9.....	7	15.....	37
10.....	10	16.....	46
11.....	13	17.....	56
12.....	17	18.....	68
		19.....	77

電爐之爐殼係用鋼板鉚成或鑄成，現在以鑄成者居多，小爐爐殼亦有鑄成者。小爐爐殼之鋼板厚約為 $\frac{1}{2}$ 吋，大爐爐殼直徑為 12 呎者，鋼板厚需 $\frac{3}{4}$ 吋，直徑 16 呎者需 1 吋；直徑達 20 呎者，鋼板厚約在 $1\frac{1}{4}$ 至 $1\frac{1}{2}$ 吋之間。

爐殼多呈圓柱形，亦有作橢圓形及圓錐形者，但為數甚少。錐形爐殼呈底小頂大之狀，其錐形有自爐底起向上傾斜擴大者，有自爐前板 (Fore plate) 起向上擴大者；以冀爐內容積增加，可裝大塊廢鋼。

爐殼底部有平底及球形底兩種形式，爐牆高度與爐殼大小成比例，並與爐底之形式有關。平底爐殼直徑為 20 呎者，其爐牆高可達 11 呎半。球形爐底之爐牆較矮(見圖 1)。電爐爐殼外部有結構角樑或鑄件等支持，爐殼頂部圍有角鐵環，爐門 (Doors) 及出鋼槽(Tapping spout)等均需支以支柱，使構造成為非常堅固。



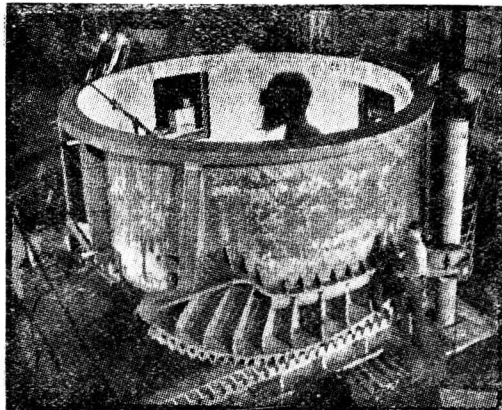
第 1 圖 爐牆高度與爐殼直徑大小之關係

大型電爐置有爐門二，其一為進料門 (Charging doors)，位於出鋼口之對方一為爐之後方；另一為工作門 (Working door)，位於爐殼之側，與出鋼口成 90 度角。但小型電爐有進料門兼為工作門，並與出鋼口相對成 180 度角，而無側門者。大型電爐進料門寬可達 54 吋，高可達 42 吋，工作門寬可達 42 吋。爐門、爐門架及爐門拱之處均有川流之冷水冷卻以資保護。小型電爐之爐門均設有槓桿，其一端懸平衡重量 (Counterweight) 與之平衡，以利啓動，大型爐之爐門多以電動馬達或蒸氣啓閉之。

出鋼口可位於爐膛界線 (Bath line) 之上方或下方，爐殼出鋼口處可嵌以頰板 (Cheek plate) 以俾損壞時可以換掉。爐殼外、出鋼口下方有一流鋼槽 (Pouring spout)。進料門下方亦有一短小之出渣槽。

當爐身向後傾斜時，爐渣可順出渣槽流出。

爐底裝置弧形狀之有齒搖桿 (Toothed rocker) 二，與電爐爐基上二根有齒鋼軌相吻合(見圖 2)，如此由機械帶動，爐體在地基鋼軌上可作搖籃般前後自由傾側。傾側機械之設計裝置，須顧及爐體與鋼液之重心，於爐底傾側時依一水平方向移動，以免爐體驟然傾側，無法制止。



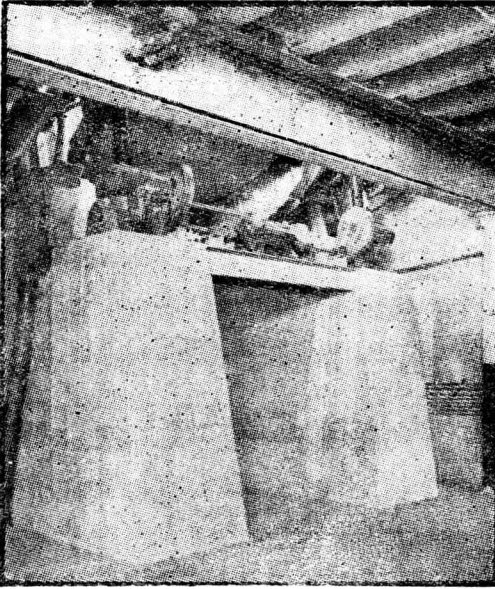
第 2 圖 爐殼構造，有齒搖桿之傾側裝置

小型電爐之搖桿可裝於爐之兩側腰處，大型電爐須裝於爐底，更有裝於爐底之側邊，使兩鋼軌間之距離增大，以便盛渣桶 (Slag ladle)，在鋼軌間可自由出入，便於移去廢渣。

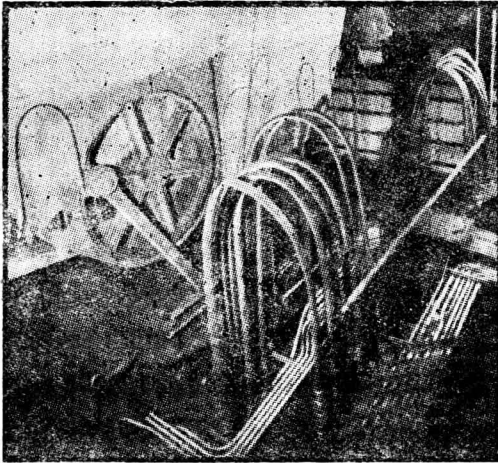
另有一種傾側機械裝置，可適用於爐殼直徑 15 呎以下之電爐，其法為使電爐出鋼口一端固定，成為支點，他端用機械使之升降。此種裝置工作時耗費電力較大。

電爐傾側機多用電力馬達發動，亦有用水力者。用電力馬達帶動升降螺旋 (Lift screw) (見圖 3) 或活動曲拐 (Crank) (見圖 4)，而使爐體傾側。升降螺旋及活動曲拐上均有安全裝置，以防傾側超出範圍。新式電爐前傾角約為 40 至 45 度，後傾角約為 18 度。

傾側裝置用之電動馬達多係直流 220 伏特，500—700 r. p. m. 串繞 (Series wound) 或交流 (A. C.) 複繞 (Compound wound) 馬達；馬



第 3 圖 爐殼玄部構造 升降螺旋之傾側裝置



第 4 圖 爐殼底部構造,活動曲拐之傾側裝置,並示冷却水橡皮管等

力大小視爐體之設計與大小而定，其關係大致如下：

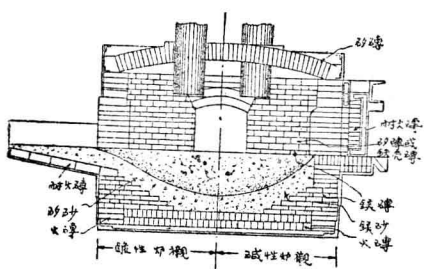
爐殼直徑(呎)	供傾側用之馬達馬力(匹)
5—9	1—10
9—12	10—15
12—15	12—35
15—20	25—50

大爐爐頂之上，裝有可移卸之平台，以便工作人員易於立足及裝接電極或清理爐頂。

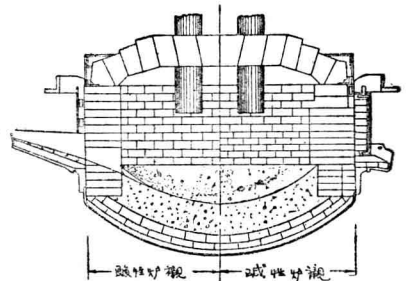
第二節 爐襯(Linings)

鹼性電爐之爐底，貼近爐殼之第一層耐火磚可採用上等優質之火泥磚(Fireclay brick)，自第二層起砌鎂磚(Magnesite brick)一層或二層。爐牆周圍亦砌以鎂磚，高度應達渣線以上。渣線以上至爐頂，耐火磚已不致再受鹼性爐渣之侵蝕，故可用矽磚(Silica brick)或鐵殼(Metal-encased)鎂磚，後者為較新採用，得有良好之效果，其壽命較矽磚長四倍左右，可冶煉300—400次。

平底爐殼內所砌耐火磚，從爐底起砌至數層後，應砌成粗略之碗形。球形爐底可即在曲面上鋪磚，自形碗形，無須再行作輪廓。火磚以上再填搗一層鎂砂爐底(參閱第5及6圖)。



第5圖 平底爐殼之砌磚方法



第6圖 球形底爐殼之砌磚方法

爐襯之厚度，小爐為9—13½吋，大爐約為18吋。所有耐火材料受熱必行膨脹，矽磚之膨脹較之鎂磚與火泥磚尤甚。電爐內各處之耐

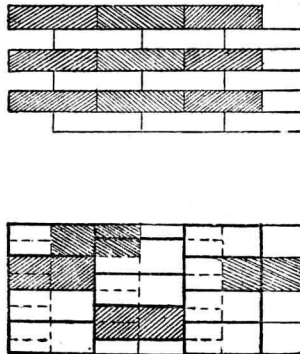
火磚，均受有高強之熱力，故砌磚時，每隔數磚需留有空隙，以防爐磚熱膨脹而致毀壞。爐牆受熱極強，每易發生熔化現象，常於靠電極近之爐牆間，離渣綫 18 吋左右砌入髮夾形(0=)厚皮冷水管，以便導冷却水，助其冷却；或砌入特種設計之冷水箱，以增長爐牆之壽命。

如用鎂磚砌建爐牆底部，其空隙為每呎 $\frac{1}{4}$ 吋，近鋼水線(Metal line)處，其空隙為 $\frac{1}{8}$ 吋。如用矽磚，空隙每呎不得低於 $\frac{3}{16}$ 吋。砌磚時普通均不用膠泥漿砌疊之。

電爐各開啓之處，耐火材料最易燒壞，故均裝有冷水冷却設備，資保護。門拱與側柱(Jamb)之設計應盡量避免進料時碰壞。在爐連續工作時，雖鎂磚為鹼性爐之適當材料，但鎂磚所砌之門拱與側柱其建築強度極壞，而需時加修理，以致影響工作與生產；故須設置水管形門拱，並多砌一層鎂磚。大型電爐應將爐門盡量放大，以便採較大之進料箱(Charging box)，增速進料速度可達百分之十五至二十。

茲將 35 噸及 70 噸電爐爐底與爐牆耐火磚之砌疊法列述如下：

(一)爐底最初砌以 $9 \times 4\frac{1}{2} \times 3$ 吋之上等火泥磚二層，厚為 6 吋，磚兩端膠以火泥漿，第二塊火磚置於第一層之磚縫上(見圖 7)。其次



第 7 圖 爐底磚砌疊方法

砌 $13\frac{1}{2} \times 6 \times 3$ 吋之死燒鎂磚(Hard-burned magnesite brick)二層，火泥磚與鎂磚間不加膠泥漿，砌鎂磚時每呎留空隙 $\frac{1}{4}$ 吋。再次砌鎂磚

hrome brick)一層，厚 $2\frac{1}{2}$ 吋，連前底磚總厚 $14\frac{1}{2}$ 吋。從此至爐門板(ill plate)以上四層爐牆，均用死燒鎂磚砌成，每呎留 $\frac{1}{4}$ 吋膨脹空隙，磚時磚縫間可填 $\frac{1}{4}$ 吋厚之綑紙板。磚之大小一種為 $13\frac{1}{2} \times 6 \times 3$ 吋，一種為 $9 \times 4\frac{1}{2} \times 3$ 吋。

爐牆分二層，外層橫砌厚度為 $4\frac{1}{2}$ 吋，名為殼襯(Shell lining)；內磚垂直爐殼而砌，厚為 $13\frac{1}{2}$ 吋，名為內襯(Inner lining)。砌成之爐總厚為18吋，爐門板四層以上，每砌鐵殼鎂磚四層，須間隔死燒鎂磚層，交替砌至爐殼頂部。

出鋼口部門亦係用死燒鎂磚砌成，磚縫以火泥漿膠結，不宜留膨脹空隙，以免鋼液自磚縫內滲出黏着爐殼。

(二)在爐底鋼板上先鋪一層厚約 $1\frac{1}{2}$ 吋之快乾絕熱膠泥(Fast drying insulating cement)，其次於爐壁四周附放一層高 $2\frac{1}{2}$ 吋，厚 $13\frac{1}{2}$ 吋，具有耐伸縮之磚塊(Thermo-flake block)，以吸收鎂磚之膨脹。在乾膠泥上先平砌上等火泥磚一層。火泥磚之上，再砌鎂磚三層，第一層第三層鎂磚砌向相同，中間一層與之垂直交叉，如此各層磚縫彼此沒，鋼液無法透過耐火磚而傷及爐殼(見圖7)。然後再砌爐底之邊，在耐伸縮之磚塊上砌上等火泥磚一層，向邊牆上砌13吋，在火泥磚乃置鎂磚。鎂磚邊牆厚 $13\frac{1}{2}$ 吋，一直砌至爐門板以上一層。牆脚成階梯狀者五層，均向爐心伸展，使爐底成爲碗狀(平底爐殼之砌磚法)。爐底及爐底邊牆之耐火磚並不加膠泥漿膠結，亦不留膨脹空隙，祇在磚縫間填以乾燥鉻礦粉。

鹼性電爐爐底有兩種，一爲燒結爐底(Burned in)，一爲撞槌(Ramming)爐底，而以後者製造快速並得有良好之應用壽命。撞槌爐底因不需燒結，故爐頂或爐牆砂磚之 SiO_2 ，不致滴下混入，因此含 MgO 量較高。同時燒結爐底，在和料時必須攪入平爐爐渣，石灰，鐵粉末，柏油，鐵屑，河沙等材料，以便降底其熔化點而利燒結，故其所含 MgO 成分平均僅爲百分之五十。撞槌爐底不但耐火度較高，且易於建造，費時僅爲燒結法之半。電爐容量在2噸以下者，此種撞槌爐底厚度有4吋即可，