

冶金实用知識丛书

转炉煉鋼



方汉庭編著

科技卫生出版社

內 容 提 要

轉爐煉鋼是一種很好的煉鋼方法，它具有吹煉迅速、不費燃料、容易控制等優點，因此應用轉爐煉鋼是迅速提高鋼產量的有效途徑之一。

本書較全面地敘述了轉爐煉鋼的知識，首先概括地介紹轉爐煉鋼的特點、分類及轉爐的結構，接着談到酸、鹼性轉爐從砌爐到煉的整個生產過程，並對一些主要問題如吹煉過程中的風量、風壓、吹煉角度、脫氧和增碳、操作中的故障等突出加以說明。本書特點為內容切合實際，解釋通俗易懂，是一本較好的初級讀物。

本書可供全國鋼鐵廠工人和初級技術人員參考。

轉 爐 煉 鋼

方 漢 庭 編 著

科技衛生出版社出版

(上海南京西路2004號)

上海市書刊出版業營業許可證出093號

中國科學院上海分院印刷廠印刷 新華書店上海發行所總經售

開本 787×1092 1/32 印張 1 1/2 字數 32,000

1959年2月第1版 1959年2月第1次印刷

印數 1—40,000

統一書號：15119-1174

定價：(七) 0.13元

目 錄

第一章	概 論	1
第二章	酸性轉爐	5
一、	砌爐及烘爐	5
二、	原材料	8
三、	酸性轉爐的吹煉過程	9
第三章	碱性轉爐	13
一、	碱性爐襯	13
二、	原材料	20
三、	碱性轉爐的吹煉過程	22
四、	去磷和去硫	24
五、	爐渣碱度及石灰用量的計算	26
第四章	吹煉過程中的風量風壓	30
第五章	吹煉角度和搖爐操作	34
第六章	脫氧和增碳	37
第七章	吹煉中金屬的損失	40
第八章	操作過程中的故障及其處理	41
第九章	煉鋼工段的安全技術	44

第一章 概 論

煉鋼的基本原理是將生鐵中的碳(C)、矽(Si)、錳(Mn)、磷(P)、硫(S)五種雜質用氧來氧化，使它們變成爐渣與鐵分離，當鐵中的雜質減少到一定程度時，鐵就變成鋼了。

在煉鋼方法中，主要的是平爐(馬丁爐)煉鋼和轉爐(酸性的貝式麥爐和碱性的托馬斯爐)煉鋼。平爐是利用鐵礦石、廢鋼、鐵皮等氧化劑和部分空氣中的氧來氧化雜質；而轉爐是利用空氣中的氧來氧化雜質的。由於鼓進爐內的空氣壓力和速度很大，因此，爐內金屬液攪拌得很厲害，雜質的氧化反應非常劇烈，使冶煉速度加快，同時雜質在氧化過程中所放出的熱量能有效的被利用，所以轉爐煉鋼是不需要燃料的。因為轉爐煉鋼具備吹煉迅速、不費燃料、容易控制等優點，因此它已被世界各國廣泛應用。例如1950年在某些國家內應用托馬斯爐(底吹碱性轉爐)煉出的鋼佔其本國總產鋼量的比例如下：

比利時	85%；	法 國	55%；
德 國	48%；	盧森堡	99%。

轉爐煉鋼的原料主要是生鐵，在我國廢鋼缺乏的條件下，應用轉爐煉鋼是迅速提高鋼產量的有效途徑之一。轉爐煉鋼無論在設備上、控制上都比用其他煉鋼方式來得簡單，容量範圍亦很大，小者數十公斤，大者能達數十噸，不但適用於小型的鑄造業，也適用於中、大型的鋼鐵企業。

過去認為轉爐煉出的鋼含氮量高，鋼的質量不好，現在應

用了側吹轉爐以後，基本上克服了這一缺點，如果採用富氧或純氧來吹煉，則將使鋼的質量更好，鋼的品種大大增加。

近幾年來，經過唐山鋼鐵廠、上海冶金工業局、新疆八一鋼廠轉爐的生產實踐，進一步證明，鹼性側吹轉爐完全可以冶煉製造鋼軌、無縫鋼管、優質薄板用的優質鋼，並可大量生產炭素結構鋼、焊條鋼、低合金鋼，合格率可達95~99%以上。

必須指出，在黨和政府的關懷和支持下，幾年來我國從事鋼鐵工業的工人和工程技術人員，在轉爐煉鋼生產技術上作出了不少的成績，例如側吹鹼性渦鼓型轉爐的正式用於鋼鐵生產，這是外國所沒有的，它不僅具有合適的爐型內壁、吹損小、熔池表面積大等優點，而且有充分的造渣能力，因此含硫較高的生鐵也可以作為原料。由於它不受生鐵成分的限制，所以將成為頭等的煉鋼工具之一，為我國鋼鐵工業的飛躍發展開闢道路。

轉爐採用多排風眼的試驗性生產亦獲得了一定的成績，採用雙排，和三排風眼以後，在吹煉溫度、吹損、爐襯壽命、縮短吹煉時間等方面，都得到了改善。

轉爐煉鋼可分為兩類，即酸性轉爐煉鋼和鹼性轉爐煉鋼。如果生鐵成分中硫、磷的含量很低，那麼只要去除生鐵中的碳、矽、錳就行了，由於不需要去除磷、硫，爐襯耐火材料可以用酸性的石英砂來做，這就是酸性轉爐。如果生鐵成分中含磷、硫較高，就必須使用鎂砂或白雲石做爐襯耐火材料的鹼性轉爐，以便除去磷和硫。

根據吹煉時送風的方法來分類，可分為底吹轉爐、側吹轉爐、和頂吹轉爐三種。如果風由爐子底部進入爐內，叫做底吹轉爐（圖1）；如果風是由爐子的一側鼓入爐內，叫做側吹轉爐

(圖2); 爲了更好地提高鋼的質量, 擴大轉爐鋼的品種, 近代應用富氧或純氧從爐口插入吹煉, 叫做頂吹轉爐(圖3)。

轉爐根據爐子形狀又可分爲直筒型與渦鼓型(圖4)兩種。

總括轉爐煉鋼的分類系統如下:

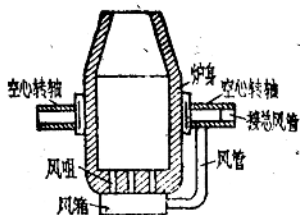
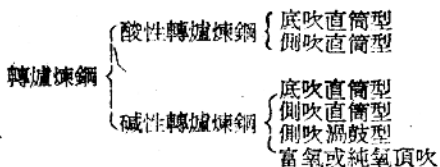


圖 1

~~~~~底吹轉爐~~~~~

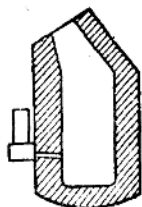


圖 2

~~~~~側吹轉爐~~~~~

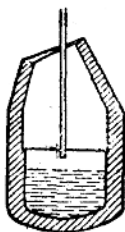


圖 3

~~~~~純氧頂吹~~~~~

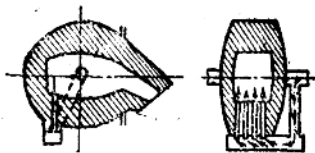


圖 4

~~~~~側吹渦鼓型轉爐~~~~~

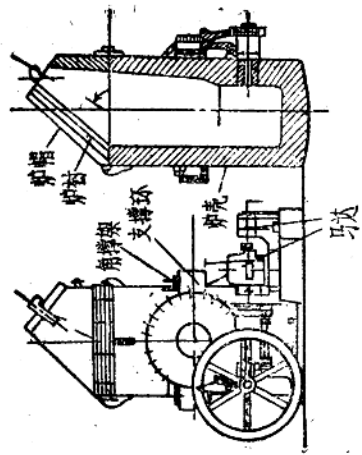
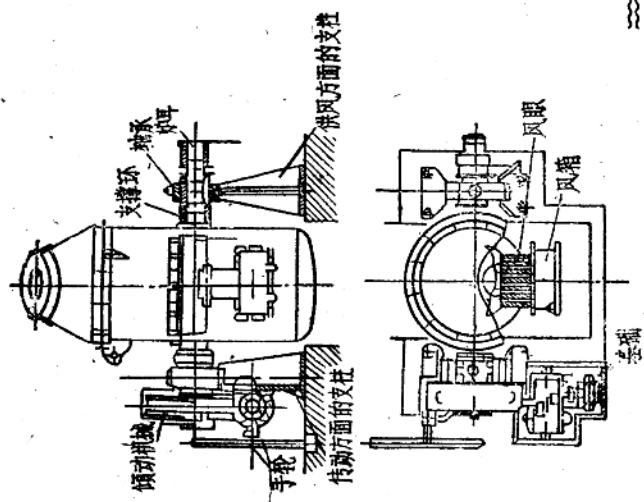


圖 5

侧吹直筒型轉爐結構圖

轉爐全套設備包括以下各部分：

(1) 爐體本身；(2) 支撐環；(3) 傾動機構；(4) 爐座（包括支柱和基礎），詳細結構如圖 5 所示。爐身的金屬殼是用鋼板鉚接或焊接而成，圍繞金屬殼裝有角撐架，通過角撐架，把爐身安放在支撐環上，支撐環上插有楔塊，使爐身保持中心位置。

在支撐環的直徑兩端各有一個爐耳，爐耳安在支柱上，供爐子傾動之用，其中一個爐耳是空心的，和風箱相通，以便把空氣引入風箱中；另一個爐耳和傾動機構的齒輪相連接。

傾動機構包括兩台馬達，其中一台進行工作，另一台作為備用。還有自動制動的減速裝置和傳動用的兩對齒輪。也有用水力機械來傾動轉爐的。

第二章 酸性轉爐

一、砌爐及烘爐

酸性轉爐爐襯一般常用砂磚或用石英砂打結砌築而成，亦有用天然的石英岩鑿成磚來砌築的。用來做爐襯的砂磚拱度，可以根據爐子的大小作成需要的圓周，或為砌築爐襯作成特別的式樣。這種特殊爐襯磚，經常有兩種大小，以便在修理時能將內層磚和外層磚移去和修補。形成風嘴部分的方法有三種：(1) 一塊全形的磚上開有一排風眼；(2) 由兩塊開有一排風眼的半邊磚合成；(3) 一塊磚上有一風眼，然後將幾塊磚合在一起砌成。在砌築過程中，必須留出膨脹縫，磚縫要交錯開，如圖 6 所示。

用作爐襯的耐火材料成分如下：

二氧化矽(SiO_2)95~98%，三氧化二鋁(Al_2O_3)0.2~0.5%，
 氧化鐵(Fe_2O_3)，<1% 氧化鈣+氧化鎂($\text{CaO} + \text{MgO}$)<0.5~0.8%。

如果爐襯是用石英砂、耐火泥打結成的，那末不但要求其成分正確，而且石英砂的顆粒配比亦是不可忽視的，因為顆粒配比不單是保證磚的比重，並對磚的耐火度、機械強度有很大的影響。

某廠使用的爐襯石英砂成分為：

二氧化矽 96~98%，三氧化二鋁<0.5~0.8% (按重量計算)，其顆粒配比如下：

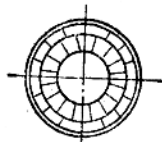
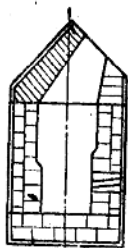


圖 6

砌有內外兩層磚的爐襯

| | |
|---------|--------|
| 3 公厘 | 5~10% |
| 1.5公厘 | 15% |
| 1 公厘 | 25~30% |
| 0.5公厘以下 | 30% |
| 耐火泥 | 20% |
| 水或糖漿 | 7~10% |

把混合好的爐襯耐火材料在拌砂機上或者用人工拌勻，再加粘結劑(水或糖漿)拌勻，然後用濕的麻袋或草包蓋好，貯藏2~4小時即能使用。

沖打爐子前必須先作好爐子的清理工作，把爐內所有廢砂全部清除乾淨。在沖打爐底時先用白泥漿水潤濕，然後加入混合好的砂，用80~90磅/平方英寸的氣錘沖打。沖打爐身時首先裝入中心鐵壳，每層鋪以60~100公厘厚的混合砂，鋪平後再沖打。鋪砂前應把前一層打好的平面用扒括毛，使其能密切結合。

用同樣的方法把爐帽內襯沖打好，但必須注意爐身與爐

帽接縫的表面處一定要打成水平，否則會影響接縫的嚴密。

爐襯不論是用磚砌的還是抻打成的，在使用前都要經過烘烤。烘烤的好壞直接影響着爐襯的壽命。烘烤的原則是“低溫緩慢上升，細火溫度均勻”，特別是抻打出來的爐襯，如果烘得過急，表面乾燥了且溫度很高，而內部仍有水分，當內部水分蒸發時，就容易產生裂紋。在使用矽磚爐襯時，應注意其內部結晶的變化，因為矽磚中主要成分是二氧化矽，而二氧化矽有着三種不同的變態：即石英、白石英和磷石英，此三種變態本身又因溫度的不同會有同素異晶的轉變，隨着同素異晶的轉變，其體積有所變動。矽磚的變化過程中，以磷石英變化時其體積變動最少，因此我們希望矽磚中含有較多的磷石英，這樣矽磚的耐火性能就比較高。

要想使矽磚中有較多的磷石英，應該特別注意在 650°C 以下這一段溫度的提高速度不能過快。

茲將某廠烘爐的速度介紹如下：

表 1

| 溫 度 | 時間(小時) | 溫度上昇速度($^{\circ}\text{C}/\text{小時}$) |
|-----------------------------|--------|--|
| 25~480 $^{\circ}\text{C}$ | 16 | 25~30 |
| 480~650 $^{\circ}\text{C}$ | 5~7 | 25 |
| 650~1200 $^{\circ}\text{C}$ | 8 | 65~70 |

烘烤時，首先用易燃的豆箕柴、刨花引火，然後分層分批加入焦炭，並且爐子要經常地來回搖動。以免焦炭結塊和粘在爐壁上。開爐前爐襯溫度要達到 1200°C 以上，否則將會影響吹煉。

二、原 材 料

由於酸性轉爐爐襯是用酸性較高的二氧化矽砌成，如加入鹼性造渣料（如石灰等）進行去磷、硫時，因化學作用將使酸性爐襯受到侵蝕而損壞，因此酸性轉爐不能去除磷、硫，對生鐵中磷、硫的含量要求比較嚴格，一般生鐵中的磷、硫含量要比成品鋼中的最大容許含量低 0.01~0.015%。如果生鐵中含硫量高，需要在化鐵爐出鐵時用純鹼（俗稱蘇打）在盛鐵桶或出鐵槽內去硫，一般去硫效率能達到 30~50%。

生鐵中矽、錳的含量也要適當，因為矽是酸性轉爐吹煉過程中的主要發熱元素，如矽含量低於 1% 時，就會造成爐子溫度太低，不能進行吹煉，或者在鑄錠、澆鑄鑄件時發生困難，但生鐵中的含矽量亦不應過高，如矽含量超過 1.6%，就會增加渣液的生成，延長吹煉時間。錳含量過多容易造成稀薄的爐渣，既易損壞爐體，又會增加噴濺的發生。

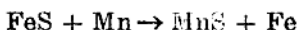
根據以上原因，側吹酸性爐的生鐵成分如下：

矽含量 1~1.6%； 錳 0.6~1.2%；
磷不大於 0.07%； 硫不大於 0.06%。

鐵水倒入轉爐的溫度為 1250~1300°C。在吹煉過程中，如遇鐵水溫度低時，應加入適當數量的矽鐵塊進行調溫。鐵水溫度過高時，可從爐口加入廢鋼塊、軋鋼屑或者礦石，使其溫度達到正常，不過加入物一定要乾燥，而且所含雜質要最低。如果加入物不乾燥，雜質多，將使鋼中含氣量增加，夾雜和渣子增多，影響鋼的質量。

三、酸性轉爐的吹煉過程

由於高爐出鐵是定時的、間斷的，而轉爐的生產却要求鐵水能及時供應，因此要高爐本身根據轉爐需要來供應鐵水是有困難的。現代工廠都以混鐵爐作橋樑，混鐵爐的作用是將來自高爐的鐵水貯存起來，隨時將鐵水供應給轉爐，鐵水在混鐵爐內得到了保溫，使溫度正常。由於鐵水在混鐵爐內存留時間較長，因此鐵水成分均勻，縮小了鐵水成分的變動範圍，避免轉爐爐況因鐵水成分而劇烈波動的現象，使操作正常化。在溫度低時，因為錳與硫的結合能力較鐵與硫的結合能力强，同時生成的硫化錳（ MnS ）在鋼中的熔解度很低，比重不大（約為4），所以生成的硫化錳能上浮入渣，故鐵水在混鐵爐中還能起一部分去硫作用，其反應式如下：



標準混鐵爐有600噸和1300噸兩種。形似茶壺，如圖7所示。選擇混鐵爐的大小，根據車間日產量的大小決定。

沒有煉鐵設備的工廠，轉爐所用的鐵水是由化鐵爐供應的，其缺點是不能利用高爐出鐵時鐵水的物理熱，而且要消耗一定數量的焦炭，在化鐵爐內熔化了的生鐵不可避免地要與焦炭接觸，而焦炭中含有硫的成分，因此使鐵水含硫量增加。

不論鐵水是從混鐵爐、化鐵爐、或是反射爐中來，都是由盛鐵桶往爐裏倒入鐵水的，其整個吹煉過程如圖8。

酸性轉爐的整個吹煉過程可分為以下三期：

第一期 主要是鐵矽錳的氧化，在氧化過程中產生大量的熱，其化學反應如下：

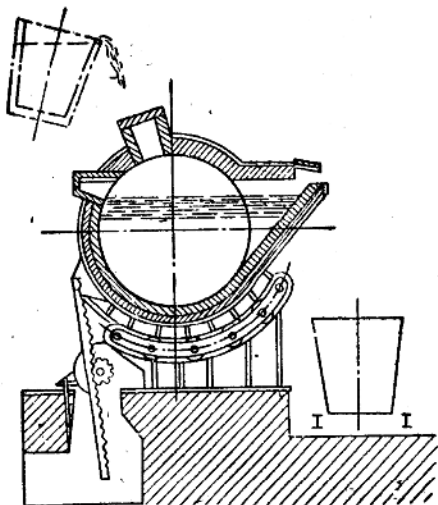


圖 7

混鐵爐示意圖

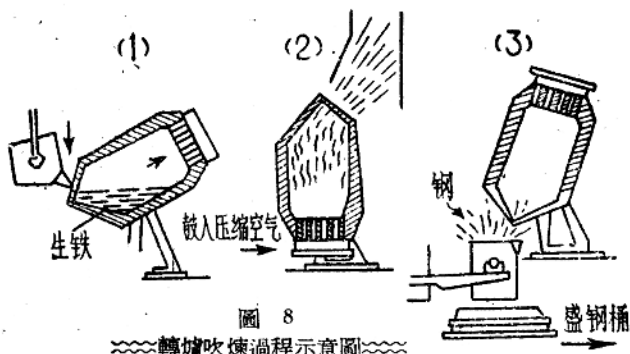
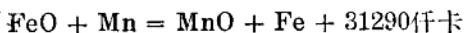
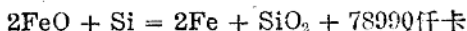
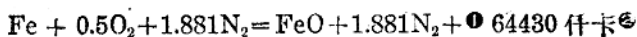


圖 8

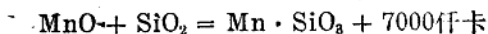
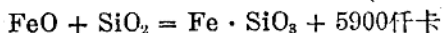
轉爐吹煉過程示意圖

- (1) 表示鐵水往轉爐內倒入時的情形；
- (2) 倒完鐵水隨即鼓風，爐子逐漸搖至直立狀態；
- (3) 吹煉至終點搖下爐子進行出鋼。



從反應式中可以看出，矽、錳的氧化不是由空氣中的氧(O)直接氧化，而是由鐵水中的氧化亞鐵(FeO)來氧化的。

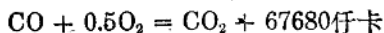
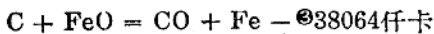
在第一期中，由於溫度比較低，渣中除了氧化亞鐵外，還有矽酸鐵(FeSiO₃)和矽酸錳(MnSiO₃)，其反應如下：



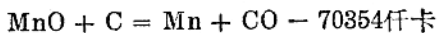
特徵：火焰呈深褐色，煙霧很濃，火焰較短，爐口有條束狀火花噴出。

第一期的時間長短與鐵水成分的含矽、錳量，鐵水溫度及風量、風壓有關，一般為3~6分鐘。

第二期是碳的氧化期，其反應如下：



在這時期內，爐內反應是很劇烈的，碳的氧化不但依靠空氣中的氧，而且能奪取爐內氧化物中的氧，而使氧化物還原。



特徵：火花較第一期為小，火焰漸漸粗大，且較第一期為亮，當第二期快結束時，火焰縮短而變暗。

第二期內應特別注意風壓、風量，如果爐口有渣子噴出，

① “+”表示化學反應過程中是放熱反應。

② “仟卡”又稱大卡，是國際上通用的一個熱量單位。

③ “-”表示化學反應過程中是吸熱反應。

應降低風壓，避免風壓過大而吹出鐵水。若噴濺過大，可適當地調整爐子角度，使風嘴往金屬液深入，進行沉吹。一般這段時間為6~10分鐘。

第三期完成期，又稱冒煙期。這時碳的氧化基本上完了，主要是鐵的氧化。

特徵：爐口火焰逐漸寬大發白，火焰邊緣出現羽毛狀波紋，火星愈來愈少，當火焰突然縮短，擺動無力發飄，火焰周圍有褐色煙霧時，即為吹煉終點，可以搖下爐子進行出鋼。

第三期延續的時間很短，每個煉鋼工應高度集中精力，判定終點，由於此時金屬液中的碳含量很低，吹進的空氣中的氧幾乎全部與金屬液中的鐵起作用，形成大量的氧化亞鐵，稍不注意就會引起大部或全部金屬液的氧化，俗稱過氧化，其後果輕則消耗較多的脫氧合金，嚴重的將使整爐金屬報廢，如處

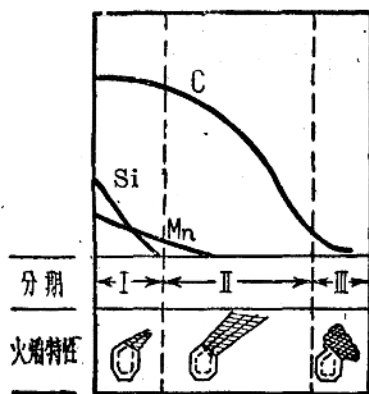


圖 9

~~~~~火焰特性圖~~~~~

理不當還將形成爆炸事故。各期的火焰特性如圖 9 所示。

轉爐煉鋼的熱的來源是靠金屬液中矽、錳、鐵、碳的氧化。從表 2 可以看出，在不同的熔池溫度下，氧化 1% 任何元素時金屬液溫度升高的度數。

表 2

| 反應                                                           | 金屬液溫昇   |      |      |      |      |
|--------------------------------------------------------------|---------|------|------|------|------|
|                                                              | 熔池溫度 °C |      |      |      |      |
|                                                              | 1200    | 1300 | 1400 | 1500 | 1600 |
| $\text{Si} + \text{O}_2 + 3.762\text{N}_2$                   | 178     | 172  | 166  | 161  | 155  |
| $\text{Mn} + 0.5\text{O}_2 + 1.881\text{N}_2 + \text{SiO}_2$ | 45      | 44   | 42   | 41   | 40   |
| $\text{Fe} + 0.5\text{O}_2 + 1.881\text{N}_2 + \text{SiO}_2$ | 32      | 31   | 29   | 28   | 27   |
| $\text{Fe} + 0.5\text{O}_2 + 1.881\text{N}_2$                | 26      | 25   | 24   | 23   | 21   |
| $\text{C} + \text{O}_2 + 3.762\text{N}_2$                    | 151     | 140  | 129  | 118  | 108  |
| $\text{C} + 0.5\text{O}_2 + 1.881\text{N}_2$                 | 25      | 21.5 | 17   | 12.5 | 7.5  |

矽、錳、鐵、碳氧化時產生的熱量，不是全部用於加熱金屬液本身，約有 40% 的熱量被爐渣、爐襯及爐氣等所吸收。

## 第三章 鹼性轉爐

### 一、鹼性爐襯

鹼性轉爐能去磷、硫，因為爐襯所用的耐火材料是鹼性的。最常用的鹼性耐火材料為鎂砂與白雲石。

選用的耐火材料應滿足以下要求：

1. 堅固耐久；
2. 能耐高溫；
3. 抗渣侵蝕力強；



4. 耐急冷急熱性能好；

5. 在高溫下各種機械磨損最小。

如果沒有合適的良好的爐襯材料就會影響冶煉任務的完成，因為爐襯壽命縮短不但影響到產品的成本、產量，而且影響到鋼材的質量。

爐襯壽命的長短與所選用的耐火材料的配比、爐子的烘烤、爐襯維護三者有着密切的關係。

**1. 耐火材料的選用及配比** 鎂砂主要是由自然界的菱鎂礦死燒而成的。菱鎂礦的主要成分是碳酸鎂 ( $MgCO_3$ ) 經加熱到  $1500\sim 1600^\circ C$  使二氧化碳 ( $CO_2$ ) 逸出，剩下的即為氧化鎂 ( $MgO$ )， $MgCO_3 \xrightarrow{\text{加熱}} MgO + CO_2 \uparrow$ 。

爐襯鎂砂的成分如下：

| MgO  | CaO | SiO <sub>2</sub> | R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ① | 灼減②   |
|------|-----|------------------|---------------------------------|-------|
| >85% | <6% | <5%              | <3%                             | <0.6% |

白雲石耐火材料主要是由白雲石礦石 [ $CaMg(CO_3)_2$ ] 俗稱老槽石經過死燒而成，一般白雲石的成分為：

| CaO    | SiO <sub>2</sub> | MgO    | R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 灼減  |
|--------|------------------|--------|-------------------------------|-----|
| 54~56% | 3~3.5%           | 34~38% | <4%                           | <1% |

白雲石的吸水性强，因此必須安放在乾燥密閉的倉庫裏，最好是隨燒隨用，避免吸水而粉化。

選用鎂砂還是白雲石做爐襯材料，主要視當地的條件來決定。鎂砂在我國目前來說還是不足的，而且價格比白雲石高。某廠曾用純鎂砂和純白雲石作爐襯試驗，其壽命並無多大差別。

① R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 為除 MgO、CaO、SiO<sub>2</sub> 以外的其他氧化物的總和。

② 灼減為鎂砂經過加熱製成成品後燒去的數量。