

坩埚炉炼钢基本知识

王基仁 赵文远 编写

河南人民出版社

內 容 提 要

本書內容，有坩堝爐鑄鋼的一般知識和鑄鋼的操作技術，碳鋼中各種元素的影响，坩堝爐的構造與組織，坩堝爐的熔化與操作，坩堝爐煉鋼應注意的事項等。由於它設備簡單、操作方便，容易控制鋼的組織成分。在目前來說，用來生產少量的高碳鋼，及高級工具鋼，進而部分的代替鋼制複雜零件，都是可行的。

坩堝爐煉鋼基本知識

王基仁 趙文遠 編寫

*

河南人民出版社出版（鄭州市行政區經五路）

河南省書刊出版業營業許可証出字第 一 號

地方國營鄭州印刷廠印刷 河南省新華書店發行

*

豫登書號：1140

787×1092 耗 1/32 · $\frac{15}{16}$ 印張 · 17,000 字

1958 年 9 月第 1 版 1958 年 9 月第 1 次印刷

印數：1—100,085 冊

統一書號：T15105·23

定價：(7)0.11 元

目 录

- 一、坩埚煉鋼一般知識..... (1)
- 二、坩埚爐煉鋼过程..... (3)
 - (一)以坩埚爐煉鋼爐料的选择(二)坩埚爐熔煉冶金反应过程(三)坩埚爐煉鋼配料的計算公式。
- 三、碳鋼中各种元素的影响..... (10)
 - (一)鋼中碳的影响(二)鋼中錳的影响(三)鋼中矽的影响(四)鋼中硫的影响(五)鋼中磷的影响(六)鋼中鋁的影响
- 四、坩埚爐的構造与組織..... (14)
- 五、坩埚內爐料的控制方法..... (16)
- 六、坩埚爐的熔化与操作..... (18)
 - (一)熔化前的准备工作(二)坩埚爐的送風(三)停止熔化
- 七、坩埚爐煉鋼的几点注意事項..... (21)
 - (一)鋼水出爐時間对鑄件質量的影响(二)补充焦炭对爐內溫度的影响(三)熔化時間的控制(四)坩埚傾斜的糾正方法(五)坩埚支承柱的制做方法(六)修爐材料的准备

一、坩埚煉鋼一般知識

小型坩埚爐煉鋼是繼滲碳鋼之后的一種煉鋼方法。這種煉鋼法所獲得的鋼的品質較滲碳鋼為強，它可以改良滲碳鋼的品質，把鋼中所含的雜質除掉，因此結合化學分析來看，坩埚煉鋼是比較簡單的一種煉鋼方法。它僅僅是吸收了料里的元素，和坩埚壁本身的一點矽以外，對於除去鋼內夾雜物方面，除了使少量的磷與鋼化合以外，整個的熔煉過程只是一種物理性的工作。所以到目前為止坩埚爐煉鋼，多是用來製造高碳鋼及高級工具鋼，在這方面有它一定的地位。但是由於經濟上的原因，在大工業內，已被電弧爐及高頻電爐煉鋼所代替。

坩埚爐所用之燃料是焦炭、煤等。熔化時如用固體的燃料則坩埚置於爐膛之後，埋在焦炭及煤的里面，將需要熔化的金屬料，放入坩埚內熔化。採用這種熔煉方法，由於金屬爐料及燃料燃燒火焰爐氣及空氣等不能直接接觸，所以熔煉出的鋼水，化學成份幾乎是不改變的，同時也不受其它介質的影響，從而也就很容易控制鋼液的化學成份（指配料至熔化後鋼液成份不變而言）。但是，這種煉鋼的方法，從目前的資料中來看，坩埚爐煉鋼，不僅產量低，而且燃料的耗用

量大，在每次熔煉之后，坩堝里面渣綫上面的牆壁，都將被熔渣所浸蝕，降低了坩堝的使用寿命，为了減少石墨坩堝在渣綫以上的浸蝕作用，文献中介绍“須在配料中加入一些砂子、粘土、或白云石等，作为熔剂”。因为浸蝕作用主要是由于熔化期內熔渣所含的氧化鉄对坩堝壁中的 SiO_2 起化合作用而生，在配料中加入一些砂子，就会中和氧化鉄的浸蝕的作用。在近代大量生产中，除了特殊要求熔制小量特种合金鋼尚可采用坩堝煉鋼之外，很少被广泛的利用在煉鋼生产上。因此各厂在煉鋼方面，采用坩堝爐煉鋼是早以不用了。虽然如此，坩堝爐煉鋼在某些条件下，还是可以应用的。在生产小量的合金鋼件，而又沒有电弧爐和高頻感应电爐等煉鋼設備时，用坩堝爐煉鋼，鑄造一部份形狀复杂的零件，来代替鍛鋼件生产，比鍛制的零件是經濟的，并保證了質量，同时可以解决鍛制复杂零件生产工艺上的困难。由于坩堝煉鋼設備簡單，操作方便，如能及时加以运用，在沒有煉鋼設備的情况下，采用小型坩堝爐煉鋼还是有必要的。

如我省安陽恆昌鉄工厂在1956年10~12月的三个月中，先后利用坩堝鑄鋼制造了40多套冲模，代替了640多斤的工具鋼，共節約了鍛工工时10,170个，不但提前完成了任务，而且在工具的制造上節約了7,700多元。

通过生产，我們認為坩堝煉鋼，在我国目前大部

份厂矿和机械厂中，在沒有專門煉鋼設備的情況下，為了節約增添煉鋼設備開支，有必要介紹和總結這方面的經驗，做為小量生產鋼鑄件時參考，也還是有意義的。

二、坩堝爐煉鋼過程

（一）坩堝煉鋼爐料的選擇

如何選擇爐料是根據生產鑄鋼件所要求的化學成份及機械性能來進行的。前面提到，由於坩堝爐煉鋼在整個熔煉過程中，金屬料不與外界火焰直接接觸，使金屬於爐氣隔絕，因而金屬氧化機會較少，與氣體及有害雜質混合較少，所以一般的坩堝爐煉鋼，在爐料控制上是比較容易的。但在製造高級合金鋼鑄件時，選擇爐料就必須特別的注意磷硫兩種雜質的含量，因為在坩堝煉鋼中，是沒有方法除掉這些雜質的。如果坩堝煉鋼是採用封蓋式進行熔煉中，一旦發現鋼中某一種化學成份不合乎要求時，臨時進行調劑就更為困難，有時只好在下一次配料時從新調整。

目前我省設有鋼鐵成份分析化驗設備的廠子只有少數，大部分廠都缺乏這些設備，無法對爐料進行即時

的成份分析而是摸索控制和調劑。因而在爐料的成份控制上，很難取得要求的化學成份。結合這些情況，根據我們在实际生产中的摸索，除了定时的对試塊进行化學成份鑒定外，大部分配料的确定，是利用估計的計算方法进行配料，因为所采用的爐料是雜亂的碎鋼头等組成。

下面介紹兩個厂子在配料上采用的配 料 比 例 成 份：

安陽机械厂采用的配料比例成份：

第一种配料：高碳鋼19.6%低碳鋼78.4%矽鉄（含矽45%或75%）0.5%，錳鉄粉0.5%，木炭粉0.3%碎玻璃0.7%熔煉后鋼液以0.5鋁屑脫氧。

第二种配料：低碳鋼94.6%，白口鉄（断面不得有孔及夾渣）3.7%，矽鉄0.5%，錳鉄0.5%，碎玻璃0.7%，熔煉后鋼液以0.3%鋁屑进行脫氧。

注：坩堝內加入3.7%的白口鉄，起調整作用。

安陽恆昌鉄工厂采用的配料比例成份：

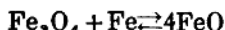
第三种配料：低碳鋼60%，回爐料38.8%，矽鉄0.25%，錳鉄粉0.25%，木炭粉0.1%，碎玻璃0.6%，熔化后以0.3%鋁屑进行脫氧。

(二) 坩埚爐熔煉冶金反应过程

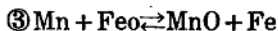
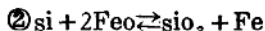
坩埚爐煉鋼時冶金反应大致可以分为三个阶段来看：1. 熔化阶段；2. 沸騰阶段；3. 鎮靜阶段。

(1) 熔化阶段

当爐料熔化时，金屬液頂面生成一層渣，該渣層由爐料中的氧化皮，鉄銹物及坩埚內的熔化部分所組成，此外坩埚內有一些空气亦会使金屬氧化在熔化期內，渣層吸收氧化鉄，顏色轉变成黑色含氧化鉄的渣層能浸蝕坩埚壁，为了防止此种浸蝕作用，可在配料中加入一些些熔剂（石英砂、粘土、白云石等）当加料熔化时，以及在爐料熔化以后，坩埚內有下述反应产生。



生成的氧化鉄熔解在鋼液內，能使c.si.及Mn氧化。



氧化鉄及氧化錳（ MnO ）均能熔解在渣內，与渣中的 SiO_2 生成稳定的矽酸鹽， $\text{FeO} \cdot \text{SiO}_2$ 及 $\text{MnO} \cdot \text{SiO}_2$ 因此渣內的自由氧化鉄及氧化錳含量很低。在熔化期內，由于温度不高， $\text{C} + \text{FeO} \rightleftharpoons \text{CO} + \text{Fe}$ 的反应并不是主要的。此时渣子的成份主要为 $\text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{FeO}$ 系，其成

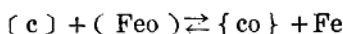
份大致如下:

50~65% SiO_2 20~30 Al_2O_3 3~5% FeO 2~9%
 MnO , 5~8% CaO 0.3~1.5% MgO

在熔期化內，鋼水含碳量。由于吸收、坩埚壁中的炭而略有增加，矽及錳含量則略有降低。磷含量在熔化期內沒有变化，硫含量則略有增加，在爐料完全熔化以后，爐盖熔化而粘合在坩埚上，使坩埚內气份与大气隔絕。

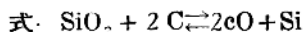
(2) 沸騰阶段

爐料全部熔化以后，溫度則逐漸提高，当溫度升至 1450°C 以上时，便逐漸产生沸騰，沸騰开始溫度应为 1450°C ，而沸騰最激烈时的溫度，应为 1550°C 現象，已进入沸騰期。此时鋼液內产生多量由一氧化碳所組成的气泡开始时，氧由鋼液中的氧化鉄 (FeO) 所供应，反应式如下:



鋼液中的氧化鉄与渣中的氧化鉄保持平衡。鋼液氧化鉄由于沸騰作用而降低以后，渣內氧化鉄便通过渣与鋼液的界面扩散至鋼中。

上式內 $()$ 代表鋼液， $()$ 代表渣， $\{ \}$ 代表气态。上式反应在与爐气隔絕的还原性坩埚气体作用下进行的，坩埚內气体具有正压力。在此一阶段中發生二氧化矽补鋼水中的碳及坩埚壁所含碳还原的作用:



被还原的二氧化矽，主要是由坩埚爐壁的所供应的、也有一部分来自鋼液，新坩埚第一次熔化时，含二氧化矽59.0%，經8次熔化以后 SiO_2 含量下降至25.4%。鋼液中的錳大部分是由爐渣中的氧化錳引入，氧化錳对坩埚壁的浸蝕作用最强大，这样更由于爐壁的碳而使 SiO_2 还原加强。

沸騰期末鋼液的温度可达 1550°C 。

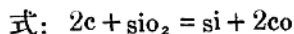
(3) 鎮靜期

鋼液中的沸騰作用逐步減弱，当溶解在鋼中的氧化鉄(FeO)与鋼液中 C 、 Si 、 Mn 达到平衡时，沸騰作用便停止，即鋼液是自己脫氧的。此时，差不多所有的非金屬夾杂物均能沸到鋼液的頂面的渣中去。为了使这个作用完全，同时使鋼液中的气体析出，最好使鎮靜的鋼液在爐內保持30分鐘，此时强度將略为下降。若沸騰期末的温度为 1550°C ，則保持完畢后鋼液温度將为 1470°C 。

在配料中加入矽鉄于坩埚中，其主要作用，是調整矽份，但参考部分資料介紹加入矽鉄于坩埚中，主要起熔剂作用，用来和爐料里的氧化鉄化合作成渣子，但假使是为了做渣，只需加入石英砂就可以了，看来，如果在配料中以价格昂貴的矽鉄进行做渣是不够經濟的。其次对于每一个坩埚中，所裝的各种原料，都必须正确的进行过秤。加入坩埚內的木炭，必

須是硬木炭，大小和豆子一般大，并且必須把炭末除去。錳鉄必須低碳的一種，并且要求選用干淨而均勻的小塊加入坩堝內。裝料的次序如用廢鋼做原料，則廢鋼應裝在最上面，熔劑均放在坩堝的底部，為了防止爐料與能氧化性火焰直接接觸而氧化，必須使坩堝的蓋子能夠很好的蓋緊坩堝的上口部分。根據實驗的情況看，在爐料中配入一定數量的白口鉄，是完全可以代替一部分高碳鋼調整鋼液的化學成份的。

對於加入坩堝內的爐料，如果表面附着一層氧化皮，（鉄銹及 Fe_2O_3 和 Fe_3O_4 ）則在坩堝內大部被還原成氧化鉄（ FeO ），熔解在鋼液中。或者與坩堝壁及加入的矽鉄作用，生成矽化亞鉄和矽酸鋁鉄做成一種酸性的渣子。但是坩堝壁上的石墨則和爐中加入的木炭與溶解在金屬液中的氧化鉄發生化學反應產生一氧化碳。木炭在高溫時和坩堝壁所含矽，發生化學反應產生矽和一氧化碳反應如下：



反應後生成的矽則為金屬液體所吸收，當氧化鉄被還原到極小數量時，坩堝內不再產生一氧化碳氣體，也不再由鋼液中放出來。所以此時鋼水表面即成平滯狀態，使鋼水開始轉入吸收碳和矽階段。加入鋁的目的，除了最後的脫氧以外，還有使結晶粒子變細的作用。

在鎮靜末期，鋼液中肯定還含有與鋼液中，碳保

持平衡的氧量，这些氧必須用加入矽錳或加入鋁来除去，制造粗晶粒鋼时可只用矽錳脫氧，制造細晶粒鋼时則須用鋁。

(三) 坩堝爐煉鋼配料的計算公式

$$Q_1 C_1 + Q_2 C_2 = Q_3 C_3$$

式中： Q_1 指原鋼料的重量（公斤）。

Q_2 指爐料中配入白口鐵重量（公斤）。

Q_3 指熔煉后鋼的重量（公斤）。

C_1 指原鋼料中含碳量%。

C_2 指白口鐵中含碳量%。

C_3 指熔煉后鋼液的含量%。

欲求白口鐵的加入量

$$\text{則 } Q_2 = \frac{Q_3 C_3 - Q_1 C_1}{C_2}$$

采用上式沒有考虑木炭的加入量，所以这种配料方案，計算的爐料內不加木炭。至于采用加木炭来調整爐料中碳量的具体数字，有待进一步試驗研究得出。

三、碳鋼中各种元素的影响

(一) 鋼中碳的影响

一般的在机械制造业中，应用最广的碳鑄鋼是含碳量在0.25~0.45%或0.5%范围内的鋼件，当碳分高于0.45~0.5以上时，鑄鋼的降伏点不增加，延伸率下降，但硬度增加。

在制造中碳鋼的碳的范围内，使碳量控制在上限，可以改善液体鋼液的鑄造性能，在生产含碳量較高的鋼鑄件时，可以采用較低的澆注温度从而減低了形成热裂的可能性，及非金属包含物，減少了型砂燒結在鋼件上的程度，一般的碳分較高时，合金的液相綫与固相綫間温度范围增加，对鑄造工作是不利的，此时凝固層中有大量树枝狀結晶存在，整个鑄件在凝固期可能有大部分呈半凝固狀气体，不易从这些半凝固区内逸出的，一般均存留在析出的小区内，該小区可能四周由枝狀結晶包围着，形成严重的縮松現象。另外鋼中主要有害气体为氫，提高碳含量对鋼液中的氫含量，沒有多大的影响。提高碳量只能使鋼液中的平衡含氧量減少，但在一般煉鋼操作中，最后均需加入鋁屑脫氧，只有制造沸騰鋼是例外的。故提高碳含量这个作用，对整个煉鋼操作的影响，并不太大，但过多的增加碳份則会減低了鋼的傳热率，和鋼的延伸

率，从而增加了鑄鋼件形成冷裂痕的傾向，因此在鑄鋼件生产中，碳量控制不宜过高。

(二) 鋼中錳的影响

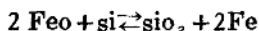
錳是鋼中主要脫氧脫硫剂。錳可以与液体鋼中的硫組成硫化錳，化合成細小的顆粒狀，存在鋼中，使鋼中硫化物不是以有害的硫化鐵的形式存在，而是以硫化錳小粒为主。所以錳对于鑄鋼有提高拉力的作用，在0.6~0.9%錳的範圍內，每增加0.1%的錳，能增加1.2公斤/每平方公厘的拉力，因此錳不仅是鋼的主要脫氧剂，而且也能够減低硫份和中和硫的害处，从而錳減低了鋼的热脆性（鋼中若錳量为硫的三倍时，則能有效的減低硫的热脆性），提高了鋼的强度、硬度、和硬化性，但过量的錳則能增加鋼的回火脆性，由于錳能够降低鋼的延伸率及截面收縮率，亦即降低其韌性，因此在高碳鋼中錳含量应控制得低一些。

錳对鋼性質之影响

鋼之种类	錳%	錳 之 影 响
軟 鋼	普通0.2—0.6	增大抗張力及冲击值有时加入1%錳
中炭鋼	普通为0.5 有时1.0—1.5	錳对热处理及改善机械的性質均屬有利含錳1—1.5%依热处理可得优秀之性質
高碳鋼	普通0.2—0.4 有时0.2—0.3	淬火时增多为麻田賽体之量，而增加淬火硬度，但易致碎裂，錳量以0.2—0.4为限

(三) 鋼中矽的影响

矽是鋼的主要脫氧剂，矽与錳同为脫氧剂的殘留物見反应式。通常是：



鋼中的主要含矽量为0.05~0.3%，但有时含矽0.5%；矽存在于液体鋼中，能够阻止鑄造气泡的产生。其原因在于矽能使形成气泡之气体如氢、氮在凝固中間保持于固溶体内，并由 SiO_2 生成，促进了脫氧作用，而增加了鋼鑄件中的强度、硬度和彈性等全面性能。此外矽还能增加鋼的耐酸度、耐热性、和鋼的电阻，在含矽量高0.15%以上时，矽能够增加鋼液之流动性能。

(四) 鋼中硫的影响

硫存在于鋼中是一种有害的物質。硫主要增加了鋼的热脆性，使鋼件容易产生热裂，特別是鋼中錳低于硫的兩倍为然。硫与鉄化合形成硫化鉄存在于鋼中，硫化鉄單獨存在时，凝固期內殘留在結晶周圍，形成薄膜包圍在晶粒的周圍，且作網狀分布，熔点又甚低，在高温时表现出脆性，破坏了鋼的組織結構，降低了强度，因此鋼中的硫應該愈低愈好。

(五) 鋼中磷的影响

磷对于低碳鋼性質之影响：磷增加了抗張力及硬

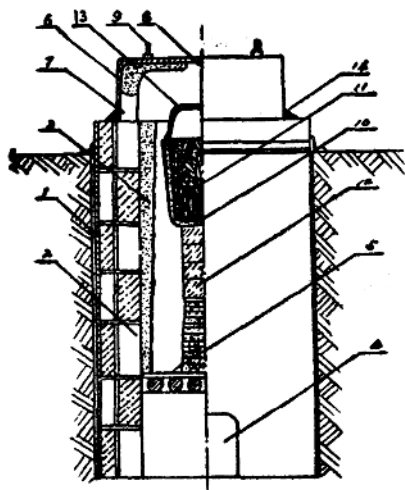
度，但降低了延伸性。磷达到0.25%时，冲击值等于零，对于普通的鋼材，磷量以0.04%为佳，在工具鋼中，磷最为有害，因此要控制在0.025%以下。在中碳鋼中磷量不应超过0.07%，否則磷量易于产生偏析使鋼質变为脆弱；同时磷量增加，亦易使鋼铸件产生热裂。所以磷在鋼中是一种有害的杂质，鋼中含磷量亦应尽量减少。

(六) 鋼中鋁的影响

鋁作为鋼的脱氧剂而加入鋼液中，中碳鋼一般含鋁量为0.02~0.05%，但有时高于0.1%，鋁量过高时，能够显著降低鋼的延伸率，因此在液体鋼中，加鋁时要避免不合适的鋁量，除此而外，鋁还能使鋼的晶粒变細，加热时不易發生晶粒成長的現象。

四、坩埚爐的構造与組織

坩埚爐的構造，是一个大部分爐身埋在地下的圓筒形或方形的爐子（見第一圖）。



（圖一）坩埚爐構造剖面圖

（1）爐壳 （2）耐火磚 （3）耐火材料 （4）爐門 （5）爐条
（6）爐帽 （7）側爐口 （8）上爐口 （9）起爐頂把 （10）墊灰
（11）坩埚 （12）坩埚支承柱
（13）坩埚帽 （14）封爐材料。

根据生产中实际体会，爐子直徑的大小，主要是根据所采用坩埚号数大小作为参考的数据。例如用50号坩埚，爐子的直徑可取480~530公厘，如用40号坩埚，則爐子直徑可取430~480公厘較為适宜，否則爐膛过大，所采用的坩埚号数过小，不但要浪費燃料，而且还要延長熔化的時間，在燃燒过程中，由于燃料（焦炭）損耗大，大力燃