



机械工人
活叶学习材料

400

石墨坩埚的制造和 使用

曾正明 編著

机械工业出版社



蘇聯工人
技術學校教材

（第一冊）

蘇聯市場的製造和

使用

（第二冊）

蘇聯工業部編

內 容 提 要

本書介紹了石墨坩堝的制造、种类和使用，并叙述了漏坩堝的修補，廢坩堝的利用和坩堝操作的技术安全等問題。

本書可供熔煉工人参考和閱讀。

編著者：曾正明

NO. 2347

1959年5月第一版 1959年5月第一版第一次印刷

787×1092¹/₃₂ 字數 12 千字 印張¹⁰/₁₆ 00,001—40,050冊

机械工业出版社(北京阜成門外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版业營業
許可証出字第008号

統一書号T15033·1861

定 价 (9) 0.06 元

一. 前 言

在早先，鋼是采用坩堝法熔煉的。自從平爐煉鋼法和電爐煉鋼法相繼發明以後，坩堝煉鋼法就逐漸被淘汰了。因為採用坩堝法煉鋼，熔化慢、燃料消耗大、生產率低。但是坩堝法也有它的優點，如設備簡單，投資不多，金屬不跟燃料和火焰接觸，因而燒損和化學成分的變化不大，可以得到比較純淨的金屬。又由於鱗片狀石墨製造的坩堝表面平滑，金屬液不致粘附在坩堝上，流動性和澆鑄性都很好。因為坩堝法有這些優點，所以在機械製造工廠中，熔煉特殊鋼、有色金屬和有色合金的時候，還相當普遍地採用。

石墨坩堝是由石墨、耐火粘土和熟料所製成的。利用石墨製造坩堝的理由，在於它的耐火度高、抗渣性強、熱傳導性大和熱膨脹性小。一般粘土坩堝的性能，在這幾點上是比不上石墨坩堝的，所以石墨坩堝是用來熔煉金屬的優良的耐火材料。

二 石墨坩堝的製造

原料 製造石墨坩堝的主要原料是石墨、耐火粘土、熟料和廢石墨坩堝等，現分述如下：

石墨屬於非金屬元素礦物類，成分是純粹的碳（C），屬六方晶系的結晶，往往成為屬於該系的六角結晶片。石墨的薄片有柔性，能屈撓，但無彈性。顏色呈銀黑色，條痕是黑色，具有金屬光澤，體質是全不透明的。硬度（摩氏硬度計）是1.5~1，比重為1.9~2.3，以手指觸時有滑膩感。耐火度很高（約3000℃以上），

膨脹系数低，热傳导性和电气傳导性都良好。在氧化焰中燒之，即变为二氧化碳，最后遺留的多是灰燼。

用来制造坩堝的石墨，它的化学成分一般含有固定碳75~90%、灰份8~20%和揮發物2~5%。固定碳如果能达到80%至90%，則这种石墨是較好的。石墨中的灰分应控制在25%以下为宜，否則制成的坩堝質量很低，往往不能使用，势必造成工料的浪費。石墨坩堝要具有表面平滑、組織致密的質量，这样可以减少熔料粘附在坩堝上面，也能够减少对坩堝的侵蝕，因此，一般都采用結晶形鱗片狀的石墨。石墨的片狀大小以0.3~1.2公厘为最适宜。此外，結晶形除了針狀石墨中的微粒群不能用来制造坩堝外，而針狀荒粒結晶群的石墨同样可以作为原料。

我国石墨产地很广，东北、山东、湖南、江苏、安徽、广东、內蒙古和西藏等地产量丰富，品質优良，尤其是山东南墅所出产的石墨，品質最佳，固定碳达到90%以上，可說是制造坩堝最理想的原料。

耐火粘土是土狀或石狀的矿物結合体，在技术上通常叫做泥質岩石，它的耐火度不低于1580°C，其主要成分是含水硅酸鋁——高岭石 ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)，理論成分是： Al_2O_3 39.5%， SiO_2 46.5%和 H_2O 14%。但耐火粘土还含有雜質，这些雜質包括有：游离石英、硫化鉄、氧化鉄、氧化鈣、氧化鎂，还有的含有云母等。使用的耐火粘土的雜質含量应愈少愈好，尤其是氧化鉄不得超过3%。因为这些有害雜質都能降低粘土的耐火度。

制造石墨坩堝使用的耐火粘土，它的耐火度应在1710°C(SK 32)以上。由于石墨缺乏可塑性，不能单独成型，所以必須配合具有可塑性的耐火粘土。耐火粘土不仅是作为石墨的結合剂，并且在使用过程中也能使坩堝形成一層保护性薄膜，对石墨遭受燃燒

时稍有防护作用。

经过高温煅烧和粉碎后的耐火粘土，称为熟料。加入熟料能增大坩埚的稳定性，当成型后进行干燥和烧成时，可以减少收缩，容易使坩埚形状正确和尺寸准确；此外还能提高坩埚的机械强度，增加抗磨性。

生产中的废品或使用过的坩埚经清理和磨碎后，也可用作坩埚原料。使用废坩埚的目的和加入熟料相同。但废坩埚中含有一定分量的石墨，又经过了高温反复的煅烧，它不仅是含有部分熟料，还含有一部分石墨，所以使用时可以减少石墨的用量。

制造过程 由于原料性质和坩埚用途的不同，配料的组成范围波动很大，下表列举一些配料组成：

表 1 石墨坩埚的配料组成 (%)

坩埚用途	石 墨	耐火粘土	熟 料	废石墨坩埚
熔炼高碳钢	54	36~42	4~10	—
熔炼低碳钢	<15	40~44	40~44	—
熔炼铜合金	12~25	45~55	16~30	—
熔铜	40~50	30~40	5~10	5~10

熔炼低碳钢的坩埚通常配合的石墨，不可超过15%，如果石墨含量过高，则金属内容易增碳；倘若含量过少，则坩埚的热传导性降低，使熔炼时间延长。

石墨坩埚的化学成分为：10~50% C、30~56% SiO_2 、18~36% Al_2O_3 和 0.2~1.5% Fe_2O_3 等。

制造时必须注意坩埚原料的混和，因为要使鳞片状石墨均匀地分布是相当困难的。所以必须用较长的时间充分混和。这样也可以充分发挥耐火粘土的粘结作用，以利成型。石墨坩埚在使用时发生裂纹和漏洞的毛病，往往是由于原料混和不均匀所造成。

原料混勻后須放置15~20天，使水分徹底分布，可塑性增大。坩堝的成型可以在木模或金屬模內以手工或机压进行操作。如果形状不良，将会降低坩堝的質量。

坩堝壁的厚薄若不均一，对机械强度和热傳導性都有一定的影响。

坩堝干燥时应控制溫度，使它發散水份。以慢慢地进行为宜。由于加热过快或不均匀，都会使坩堝产生裂紋、气泡或变形的廢品。干燥后以手指或木棒敲击，若發出清晰的金屬声，就表示已完全干燥了。

坩堝是在1000°C以下的溫度中燒成。为了防止石墨的燃燒，燒成时它的表面应撒一層細粒焦炭或放入以焦炭充填的匣钵內。窑內必須保持还原焰或中性焰，不可以用氧化焰燒成石墨坩堝。燒成時間約需4天。

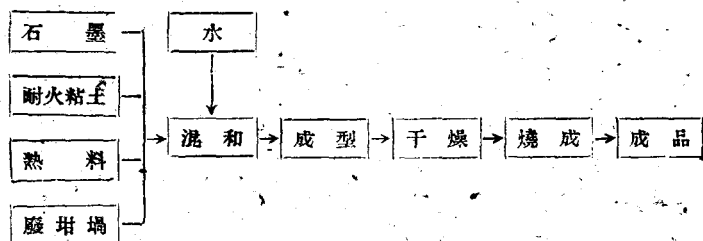


圖1 石墨坩堝的制造过程。

对坩堝的要求 石墨坩堝应具有較高的耐火度和良好的耐急冷急热性。因为在使用过程中，特别是在熔煉和澆鑄金屬的过程中，坩堝壁的內外溫度是相差很大的，产生相当大的热应力，将促使坩堝有破裂的危險。为了要承受熔融金屬的全部負荷，保証在澆鑄过程中(运送和翻倒的操作)安全进行，必須具有足够的机械强度。熔煉金屬时，热量是由坩堝壁傳導得来，为了節約燃料，

縮短熔煉時間，坩堝必須具有大的熱傳導性。熔融金屬和產生的熔渣對坩堝有侵蝕作用，特別是氧化錳的存在，侵蝕更大，因此它還要有強的抗渣性。在坩堝配料內增加石墨分量，除了會降低機械強度外，其他性能都可以提高。

石墨坩堝的質量指標如下：

表 2 石墨坩堝的技術指標

指 標 名 稱	熔 煉 鋼	熔煉鋼合金
灰的耐火度(°C)	1670以上	1630以上
溫度急變抵抗性(1200°C時耐急冷急熱次數)	25以上	20以上
耐壓強度(公斤/公分 ²)	45以上	43以上
殘余收縮(1200°C時加熱二小時)(%)	1以下	1以下
體積比重(公斤/公分 ³)	1.5以上	1.5以上
氣孔率(%)	33以下	33以下
近似比重	2以上	2以上

三 石墨坩堝的號數

坩堝的形式和規格 目前機械工廠一般采用下列形式和規格的坩堝：

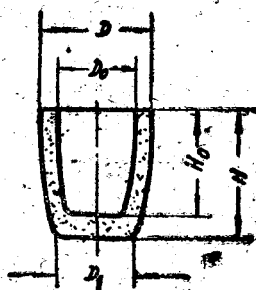


圖 2 石墨坩堝。

表3 石墨坩埚的尺寸(圖2)

坩埚号数	D	D_0	D_1	H	H_0
5	120	98	82	146	132
10	145	117	100	176	160
15	165	135	113	202	182
20	185	151	125	226	203
30	210	172	145	259	233
40	230	188	155	280	253
50	250	202	170	303	273
75	285	233	195	348	314
100	315	257	215	385	347
125	340	278	230	418	376
150	360	294	245	440	396
200	395	323	270	484	436
250	430	350	290	525	474

[注] 坩埚号数表示: 銅熔化后(比重8.6, 加热到1200°C)充滿坩埚95%时的重量(公斤)。

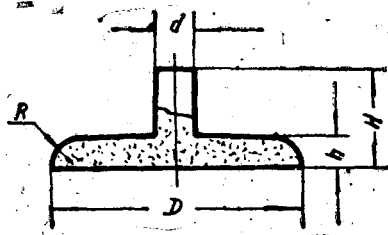


圖3 石墨坩埚盖。

表4 石墨坩埚盖的尺寸(圖3)

坩埚盖号数	d	D	h	H	R
50	35	250	25	50	19
75	40	285	27	55	21
100	50	315	32	70	24
125	50	340	34	75	26
150	55	360	36	75	28
200	60	395	39	80	30
250	60	430	42	85	32

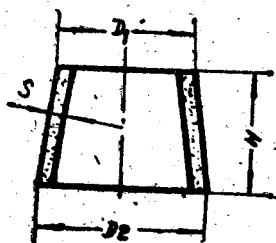


圖 4 石墨套筒。

表 5 石墨套筒的尺寸 (圖 4)

套筒号数	D_1	D_2	H	S
100	285	315	200	24
125	305	340	215	26
150	325	360	230	28
200	360	395	253	30
250	385	430	275	32

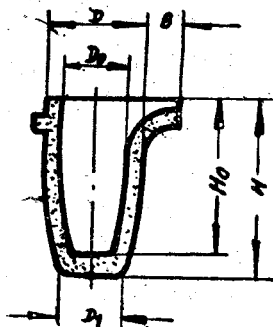


圖 5 石墨坩埚。

表 6 石墨坩埚的尺寸 (圖 5)

坩埚号数	D	D_0	D_1	H	H_0	B
100	275	221	220	445	405	100
200	360	292	240	575	525	130
300	375	300	260	750	695	130

熔煉重量的計算 当石墨坩堝不是熔煉銅，而是熔煉其他金屬時，必須將坩堝號數乘上一個係數K，才知道該號坩堝能熔煉的金屬的真正重量。這個係數是其他金屬與銅的比重比。

表 7 各種金屬的係數

金屬名稱	鋁	鋅	鑄鐵	錫	碳鋼	黃銅	鉛
係數K	0.32	0.82	0.86 ^{2/3}	0.89	0.90	0.96	1.38

例 250號坩堝內能熔煉鋁多少公斤？

只要將坩堝號數乘上鋁的係數（ $K=0.32$ ）即得，即該號坩堝能熔煉鋁 $250 \times 0.32 = 80$ 公斤。

四 石墨坩堝的使用

由于坩堝質量、熔融金屬、加熱燃料和爐子構造的不同，它的使用壽命有着很大的差別（表8）。同時影響坩堝壽命還取決於使用方法和維護制度，因此使用石墨坩堝時必須注意下列事項：

因為石墨坩堝很脆，容易破裂，所以在使用時不可隨便敲打，一定要輕拿輕放，不得疏忽大意。

保存 石墨坩堝容易從空氣中吸收水份，應該把它放在乾燥（最好是暖和）的地方，不可放在露天或潮濕的地方。

表 8 石墨坩堝的使用壽命及其他

坩堝用途	使用壽命(次)	燃料消耗量 (占金屬重量的百分數)	熔煉延續時間 (小時)
熔鋼	~6	200~250	2~3
熔鐵	~12	80~100	2~2.5
熔銅合金	~25	30~50	1~2
熔鋁合金	~40	20~30	0.5~1

烘烤 新坩埚使用前必須进行烘烤，烘烤要有制度，这个制度要規定溫度和時間，例如：

1) 緩慢加热到 80°C ，保溫 2 小时。

2) 繼續加热到 $120\sim 140^{\circ}\text{C}$ ，保溫不少于 $5\sim 6$ 小时。

3) 升溫到 $250\sim 300^{\circ}\text{C}$ 时，再保溫 $5\sim 6$ 小时，然后与爐子一起冷却。

装料 坩埚应放在爐內的石墨底座上，底座上面鋪有石墨或焦炭粉末。

熔煉前坩埚必須穩定而緩慢地进行加热，至使坩埚漸漸地燒紅；不可以把冷坩埚放入很热的爐內，最好將坩埚和爐子一起加热，慢慢地升高溫度。加热至紅色时，如果坩埚沒有發生破裂或剝落現象，則可进行装料。爐料必須是干燥的，最好經過預热。冷的或湿的爐料不可以投入坩埚內。

装料时應該小心地放入。爐料不可將坩埚填得过紧，因为加热时金屬要膨脹，应使爐料能自由地滑落，有伸縮的余地。

为了得到充滿坩埚的熔融金屬，可以在坩埚上加上一个石墨套筒（圖6）；以便把足量的爐料一次装入。

熔煉 由于坩埚沒有經過足够地高溫燒結，因此它的組織还不够十分致密，在第一次若不熔煉易熔金屬（鋁、鋅、錫）那就最好。坩埚經過 $2\sim 3$ 次的高溫（ $1300\sim 1500^{\circ}\text{C}$ ）熔煉，即形成燒結層，这样就能增加坩埚的抵抗性，在較低的溫度下可延長使用寿命。

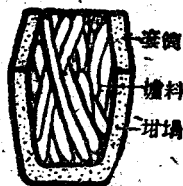


圖6 帶有套筒的坩埚。

从另一方面說来，每只坩埚最好熔煉一种金屬，以免影響金屬的質量。

用煤气或重油加热时（圖7），火焰不可垂直或噴射到坩埚壁

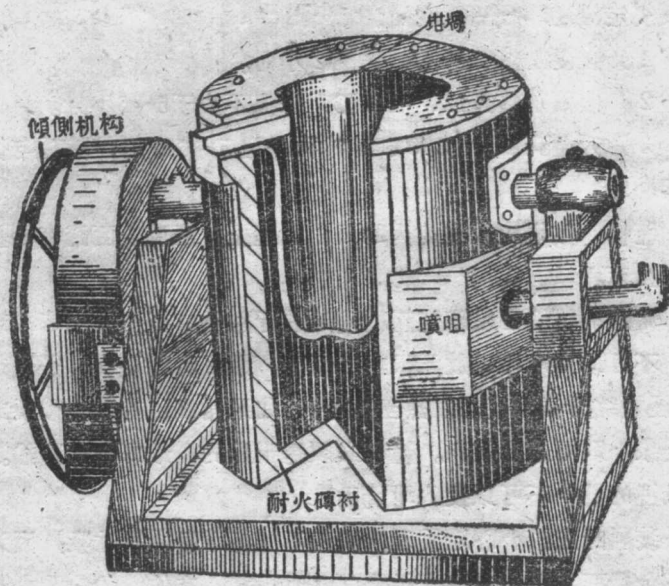


圖7 傾側式煤氣爐。

上，應靠近爐壁環繞前進（爐膛要砌成圓形，爐壁必須光滑），並沿螺旋形上升。

用焦炭加熱時（圖8），焦炭應該用乾燥的，它的塊度的大小也要選擇適宜。太大的焦炭塊會妨碍因燒完而自動的下落；太小的塊會阻止空氣的上升，可能造成爐底溫度高，上部溫度低、熔化不均，坩埚和爐子都容易燒壞。選擇的焦炭塊以40~60公厘最為適當。

在熔煉過程中，坩埚或套筒上面必須蓋上石墨蓋，這樣的好處是：（1）能提高溫度，縮短熔煉周期；（2）可以減少金屬燒損；（3）燃料不會落在金屬內使金屬的質量降低。

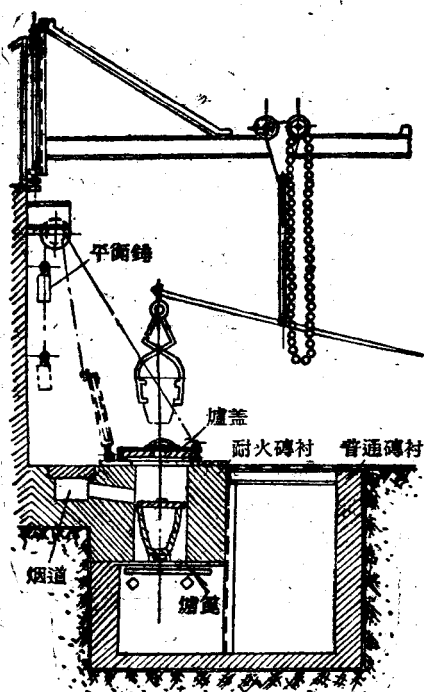


圖 8 固定式焦炭爐。

在坩堝中攪拌或加入熔劑時，尽量不要碰到坩堝壁，鈎通焦炭時也要同樣注意。

澆鑄 熔煉後，把坩堝從爐內取出和進行澆鑄時，傾側坩堝的操作法一定需要使用尺寸和形狀準確的坩堝鉗（圖 9 和 10）。每一個坩堝應該有單獨的鉗子。鉗子必須在二個水平部位（上部和下部）把坩堝鉗住，不可以只鉗在坩堝上部的邊緣。坩堝鉗上最好帶有柔軟墊片，以防坩堝滑動傾復和硬具夾壞。

澆鑄後剩余的熔融金屬必須倒光，不要把金屬液留在坩



圖9 提取坩堝用的鉗子。

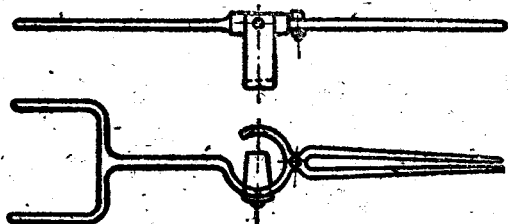


圖10 澆鑄時用的坩堝鉗。

坩內。

熱坩堝應該放在耐火粘土的底座或石棉板上，不可以放在冷風吹着和潮濕的地方。

清理 坩堝的外壁若粘附有灰渣和焦炭，必須把它清除。當清理坩堝內壁的熔渣時，若發現有小的裂紋和漏洞，必須進行修補方可繼續使用（見漏坩堝的修補）。

利用舊坩堝，在使用前，最好刷上一層塗料，作為保護層，塗上的厚度約為燒去的 $\frac{2}{3}$ 。

〔注〕粘土中的 SiO_2 在高溫時易被鎂質還原而形成硅鎂化合物，促使合金內的含硅量增加，所以應盡量避免採用石墨坩堝熔煉鎂合金。

鋁合金的熔點很低，可以用鑄鐵坩堝代替石墨坩堝使用。

金屬銅、鋅、錫、鎳和鉛等。不與碳起作用，但鐵、鎳、鉻、鈷和鎢則與它起反應而形成碳化物。

五 漏坩堝的修補

石墨坩堝進行熔煉後，如果發現裂紋和漏洞（這些損壞地方不太嚴重的話），應該及時加以修補。修補的坩堝仍可用來熔煉輕金屬（鋁、鋅、錫）。

修補前把裂紋或漏洞清理到新的石墨層，並刮成中間小兩面

大的形状。同时配制修补材料，这种修补材料的配合法如下表：

表 9 修补材料的组成 (%)

廢石墨坩堝	石 墨	耐火粘土	熟 料
50	—	20	30
50	10	20	20
80	—	20	—

按上述材料配合后，充分混和，再加适量的水，用手搓成团。修补时先在裂纹或漏洞处刷上一層火泥水，然后充填修补材料，再用小錘輕而着实的拍打，使之越紧越好。把补好的坩堝放在阴凉、(不可晒太阳)的地方，由它自然干燥。干燥后再烘烤一下，使用时仍旧要小心地进行升温。

往这种修补材料中适当地加多水份，就成为塗刷旧坩堝的塗料。

六. 廢坩堝的利用

手抬包 挑选出只是底部用坏了的，而四壁还是完整的廢坩堝，把它鑲在手抬包的鉄皮壳内，再以火泥将裂缝、漏洞以及边缘抹平，即成一种很好的手抬包。这种手抬包内壁光滑，使用寿命較長。

攪棒和隔渣棒 把廢坩堝鋸成条状，另作一个像鉗子式的鉄架，把廢坩堝条插入鉄架内，用螺絲夾紧即成攪棒 (圖11)。在熔煉过程中或澆鑄前，用这种攪棒攪拌熔融金屬是很好的。用同样方法可制成隔渣棒，以便除去熔渣，提高鑄件質量。

澆勺擋渣板 把廢坩堝片鋸下一塊，它的大小是澆勺上口面积的1/4，做成半圓形，并在弧形一端鋸个小孔与澆勺注口配好，然后用火泥砌上，烘干后就可使用 (圖12)。这种擋渣板不仅使

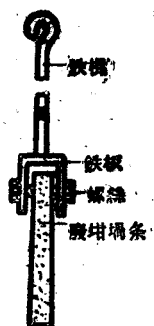


圖11 攪棒。

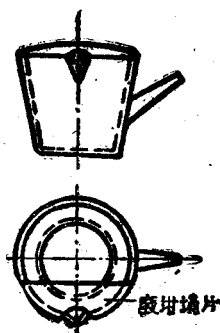


圖12 澆勺。

用壽命長，並且澆注方便。

坩埚底座和蓋 把廢坩埚清理、研碎成細粉后加入耐火粘土和熟料混合均勻，除了可用作修補的材料外，還可用來做坩埚底座或蓋。制作底座時，只需用手捏成。制作坩埚蓋時，必須用鐵絲做骨架，形狀像芭蕉扇一樣。

小坩埚 用40~60%廢石墨坩埚、20~30%耐火粘土和15~20%熟料加水混和均勻后（有時還加入少量水玻璃，作為粘結劑），用手捏成圓筒狀，它的高度是150公厘，外徑是100公厘，厚是10公厘。然後慢慢地使它烘干，可以用作熔化銅渣的坩埚。用法是將充滿銅渣的小坩埚放在爐內加熱，熔化后敲碎小坩埚，就可從銅渣內回收50~80%的銅。

修砌鉄水包子（鉄水桶）為了減少鉄水中的含硫量，只是選擇較純的爐料和焦炭確是不成，還必須設法在鉄水包子內進行除硫。若用石墨砌襯，就可達到目的。

修砌材料的配合法：使用50~70%廢石墨坩埚、10~15%耐火粘土和20~40%熟料。調和過程中必須使料充分混和，並且要放置24小時后方可用來砌筑。砌筑時用搗打法，鉄水包子壁是略