

铜线锭生产实践

上海冶炼厂 编



冶金工业出版社

鋼鐵鍍生产实践

上海冶炼厂 編

編輯:吳學文 設計:周广、韓晶石 校對:王坤一、吳研琪

冶金工業出版社出版(北京市海市甲45号)

北京市書刊出版業營業許可証出字第093号

國家統計局印刷厂印 新华書店發行

1959年2月第一版

1959年3月北京第二次印刷

印數2,510册(累計3,510册)

787×1092×1/32·12,000字·印張 $\frac{20}{32}$

統一書号:15062·1437 定价0.33元

出版說明

随着全民煉銅运动的發展，銅綫錠生产的任务亦相应增加，总结与交流这方面的經驗，已日益必要。

本書是上海冶煉厂第二車間科研組根据該厂反射爐生产銅綫錠的实际操作經驗写成的，內容着重于生产实践的敘述。可供有关生产部門技術人員及熟練工人参考。

本書由李作恩同志执笔編写，田庚錫同志审校。

目 录

一、銅綫錠生产概述.....	1
二、精煉作業.....	4
三、銅綫錠的澆鑄.....	10
四、产品檢驗.....	13
五、总结.....	14

一、銅綫錠生产概述

生产銅綫錠的銅料主要是由电解得到的陰極銅，此外是一些回爐的廢綫、廢模、廢錠、以及澆鑄过程所产的碎銅等。使用陰極銅的純度已經达到99.95%—99.99%，雜質已基本上除去，但把它熔融后澆成錠，一般还是要經過吹空气的精煉阶段，其目的主要是除去陰極銅中所含的气体（如氫）、硫，〔由于陰極板清洗不干淨而帶來的电解殘液，銅矾（ CuSO_4 結晶）〕或从爐气中吸收的气体（如 H_2 ， SO_2 ）等，另外也为了除去回爐品中外来的夹杂物。

氧化精煉的原理是借 O_2 与 H_2 ， SO_2 存在下列的关系：当銅液中增加 O_2 的濃度，則可大大的降低 H_2 、 SO_2 等在銅液中的溶解度。从实践的經驗証明，銅液中含氧量降到 0.03% 以下时， H_2 于銅液中的溶解度急剧增加（見圖 1）。与 H_2 的情况相类似，S 的吸收量也根据含氧量而变，銅中含氧量愈高，燃料中的含硫愈少，則硫的除去也愈完全。此外，在氧化过程中，外来雜物也大部份氧化造渣除去。精煉的主要过程可分为：

1. 吹風氧化，使銅液中飽和 Cu_2O ，排除气体或除去雜質；
2. 还原銅液中的 Cu_2O 。

氧化过程的反应主要是： $4\text{Cu} + \text{O}_2 = 2\text{Cu}_2\text{O}$

氧化的程度，視銅料成分而定。处理純度高的陰極銅时氧化程度較小，处理廢電綫及純度較低電銅时氧化程度則較大，一般是氧化至銅液含 0.4—0.6% O_2 量較為适宜。过份的氧

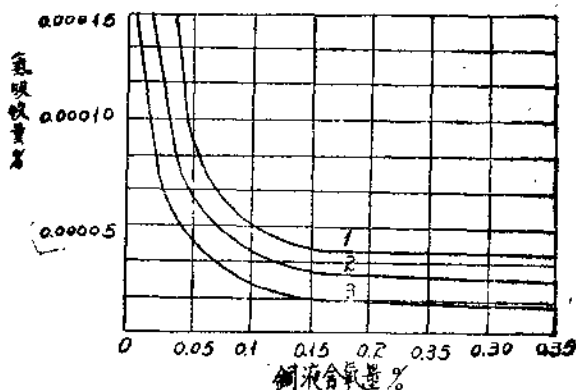


圖 1 銅液中氧與氧的關係曲線圖
1—1350°C; 2—1250°C; 3—1150°C

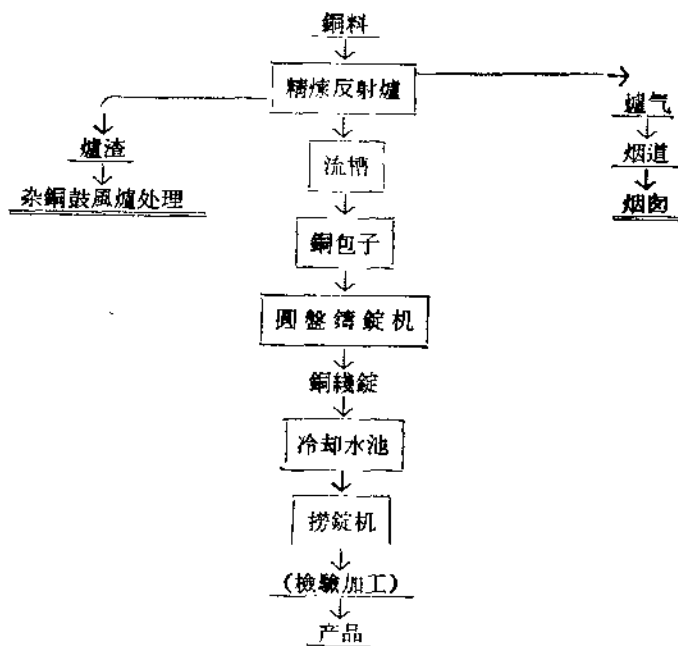
化，使后期还原時間延長，但氧化不足又使氣體從銅液中析出不完全，甚至於使还原后期產生銅液重新充氣。銅液中氣體的排除，除了增加氧的濃度外，一般是在还原的第一階段插樹，借樹干在銅液中的激烈攪動和樹干的干餾而分解出的大量氣體，把銅液中懸浮的微細氣泡及 SO_2 機械帶出，使除氣徹底。除氣結束，于銅液表面復蓋一層木炭，繼續插樹，使脆性氧化亞銅借木炭以及樹干分解出的碳氫化合物还原成韌性的金屬銅。

还原時發生的主要反應： $2\text{Cu}_2\text{O} + \text{C} = 4\text{Cu} + \text{CO}_2 \uparrow$

$\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2 = 2\text{Cu} + \text{H}_2\text{O} \uparrow$

為了避免銅液產生重新充氣危險，要求还原結束，銅液含有 0.03—0.05% 的氧氣。

生產銅綫錠的工藝流程：



經過精煉后澆成綫錠，有下列兩種規格：

$1240 \times 100 \times 95 \times 90$ 85公斤

$980 \times 50 \times 50 \times 45$ 20公斤

綫錠的質量：含銅99.94—99.96%，含氧0.03—0.05%，銅錠的導電率達到98—99%（以電阻系數0.01724歐姆/平方毫米/米之導電率為100%計），銅的比重8.4—8.6，其他的機械性能如拉力、延伸率、彎曲以及表面形態等都合乎加工要求。

生產過程的主要技術經濟指標：

总回收率	99.8—99.9%	造渣率約	1.0%
渣含銅	36—40%	廢品率	1%以下
每爐操作時間	14—15小时		
加銅	3:15 (时:分)		
熔化	3:30		
氧化	0:40		
还原	2:40		
澆鑄	3:30—5.00		
爐能力	55吨/每平方厘米爐床/每晝夜		
生产每噸銅錠需要消耗			
燃料(烟煤)	100—115公斤		
木炭	12—15 公斤		
松树	18—25 公斤		
冷却用水	6—8 吨		

二、精煉作業

精煉陰極銅的爐子系用酸性爐頂和碱性爐床的反射爐，一般使用碱性爐床的寿命較長，爐牆和爐底不容易受到渣質的腐蝕。由于爐子采用烟煤做燃料，故在爐子的一端砌有燃燒室，燃料在此室燃燒后形成高溫火焰掠過爐內，然后經烟道进入烟窗。爐子另一端砌有爐門和出銅口，作扒渣、插樹和出銅用，爐子前側有二爐門，作加料、吹空氣等用，爐門側牆又砌一出銅口，專門作澆鑄錠模用，爐子結構見圖2。

整个精煉作業包括裝料、熔化、氧化、还原四个部分。

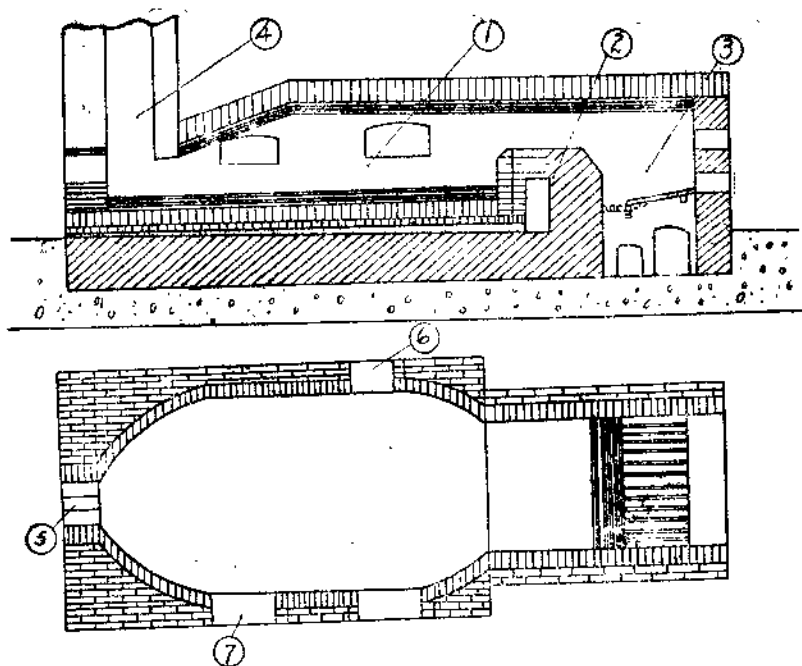


圖 2 精煉反射爐

- 1—爐膛；2—火橋；3—燃燒室；4—烟道；5—出鋼口；
6—鑄錠模流口；7—加料門

1. 裝料

目前採用裝料的方法系用人工加料。在爐門裝置橫擋，為一直徑 75 毫米的圓形鋼材，裝置於爐門坎。陰極板放置在加料棒的一端，棒的長度約 4000 毫米，直徑 44 毫米，由具有彈性的鋼材做成（見圖 3）。

加料時借橫擋與棒的滑動作用，把料推入爐內。這樣的

加料方法簡單，加料比較均勻，但需要人工推動，勞動強度很大，加料時間也長，只適用於小爐子生產。往爐內加料次數按照加料設備、爐內熔化情況和加料量的不同而定。加料的次序，先加回爐的垃圾（含有銅）、碎銅，其次是加入陰極板（有廢綫則先加入），至於較為笨重的銅件，如廢錠模、廢錠等，必須在最後加入，以避免損壞爐底，又可加快熔化。加料完畢，必須把爐門加以封閉，開始進行熔化。

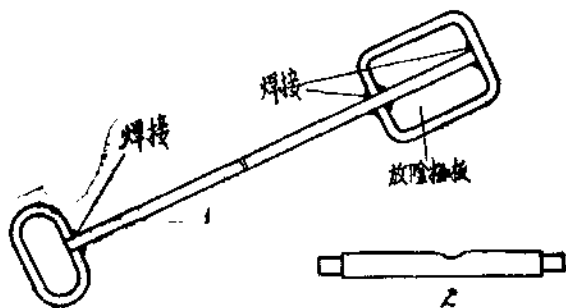


圖 3 加料棒和橫擋
1—加料棒；2—橫擋

2. 熔化

採用烟煤作為爐內熱源。為了加快銅料在爐內的熔化過程，採用二次空氣燃燒，主要目的是使爐氣中的固定炭及揮發物在爐膛內充分燃燒，提高爐膛溫度。二次空氣佔空氣總需要量的30—40%（由燃料的成分決定），空氣的壓力為1—1.5大氣壓。使用壓力大、流股細而多的二次空氣，不僅加強對爐氣充分攪拌使揮發物等燃燒完全，而且增加火焰掠過銅料表面的壓力，對加速爐內熔化過程取得更大的效果。二次空氣裝置於爐氣從燃燒室進入爐膛內的進口處，使爐內靠

火桥一面形成高温带。

铜料在爐内全部熔化的标志，首先是铜水起激烈的沸腾现象，加于爐的底部所夹带的垃圾、炭灰等形成渣子，浮于铜水表面。其次用风管通搅，爐底部没有冷铜出现，即可开始把表面的渣扒出，然后测量铜水温度，如达到要求，即可结束熔化阶段。

3. 氧化

氧化过程是把压缩空气经橡皮管接吹风管吹到铜液里面。空气压力为1—1.5大气压，吹风管采用直径19毫米铁管。在管子浸入铜液的一段涂上耐火材料，其配制成分为：火砖屑（不大于1.5毫米）：火泥：木炭屑=44%：33%：23%，用水均匀混搅后涂上，厚度约10—12毫米，然后进行烘干。风管插入铜液深度约为 $\frac{3}{4}$ 的铜水高度。氧化过程中，在铜液表面有渣质产生，必须随时扒出，直到表面清爽、无渣子产生为止。氧化结束的判断主要靠实际经验。取出铜样表面光滑，中心下凹，断面呈砖红色，无金属光泽，断面的结晶由开始氧化时呈现的细丝状转化为较粗的柱状，含 O_2 量约0.4—0.5%。继续氧化，结晶又由粗变细，而有氧化亚铜结晶颗粒析出。

4. 还原

还原使用的树干，最好是新伐下来的、树皮完整没有劈开的松树，针叶或阔叶树也可使用，没有新伐下来的树时，也允许木干浸湿后使用，含水要不少于30%。树干规格一般是直径200—300毫米，长度5000—6000毫米。还原的过程分为两个阶段：

还原的第一阶段为了借插树操作分解气体及激烈搅动，

將銅液中氣體，主要是 SO_2 從銅液內機械帶出，稱密度插樹或去硫階段。操作過程必須控制爐內為中性或微氧化性的氣氛，即控制抽力，以爐門不冒火為度，以達到除硫效果。此階段進行到銅樣斷面比較緊密，呈粗短塊狀結晶，即告結束。但發現斷面尚有發亮氣泡，必須繼續插樹，至不發現亮的氣泡為止。

還原的第二階段緊接着第一階段進行于銅液表面覆蓋直徑 25—30 毫米、長 50—200 毫米的木炭，繼續插樹，使氧化亞銅還原，稱延性插樹或棒責階段。還原至銅樣表面平整，紋紋細致，斷面顯出絹絲光澤，呈玫瑰紅色，金屬星突出而散佈均勻。含 O_2 約為 0.03—0.05%。

還原過程中插樹的方法，是在爐門口裝置滑動葫蘆，樹干的一端懸吊在葫蘆的拉鏈上，另一端插入銅液內，樹干的松緊程度由拉鏈控制，為了提高還原效果，樹干宜深插于銅液內，但以不損壞爐底為度。

整個還原過程最重要的是控制還原終點的溫度以及銅水含氧。在操作中往往由於缺乏經驗或是操作上的疏忽，使還原結束溫度偏高或偏低，還原程度控制不當，造成還原過頭或不足。這些不正常的情况直接影響到下階段的澆鑄操作，甚至影響到綫錠質量，嚴重者澆鑄不能繼續進行。

還原結束溫度過高，不僅影響綫錠的結晶組織變粗，同時溫度高，增加銅液對氣體的溶解度，相反地溫度過低造成銅冷事故，或者由於溫度過低，造成還原時間短促，銅錠質量不佳。為了掌握對溫度的控制，必須根據實際操作情況，從熔化到還原各階段，摸索出溫度下降規律，找出各階段適當溫度。影響溫度變化的因素很多，但主要是從作業時間、

樹干的干湿程度、技術條件控制以及爐子本身等因素決定。目前我們的實際操作中一般控制熔化結束溫度為 1200°C 左右，還原終點爐內銅液溫度 $1120-1122^{\circ}\text{C}$ ，比銅包溫度高約 $15-20^{\circ}\text{C}$ 較為適宜。但由於溫度測量儀器（用的是光學高溫計）以及測量時的誤差，使還原終點溫度偏高或偏低。這種情況在還原階段採用加冷銅利溫或用干湿樹干以及控制抽力加以調節，有時在開始出銅時溫度偏高，則在出銅口處吊以廢錠，使與流出銅水接觸降溫。在採取各種降溫措施過程時，必須嚴格注意溫度均勻下降，避免發生銅冷事故。如遇銅水溫度較低，最好在氧化或還原第一階段提高溫度，在還原後期不宜於燒火提溫，原因是此階段銅液含 O_2 急速下降，燃燒爐氣容易被銅液所吸收而造成充氣現象。

採用上述方法調節溫度，並不是妥善辦法，不僅增加操作麻煩，且不同程度影響到操作的正常進行。正常的操作要求有儀表的測量和操作者熟練的經驗。

銅液含氧量對操作的影響也很大。往往因還原時間過長，或氧化不足而還原時間短促，以致於銅液中溶解氣體來不及完全排出，結果造成銅液充氣嚴重，銅樣表面中心凸起，敲開斷面粗松，產生蜂窩狀氣孔，性質變脆。有時是由於氧化程度大而還原不足，造成銅樣表面下凹。從實際經驗中，一般在還原終點，控制銅液含 O_2 $0.03-0.05\%$ 範圍可避免這些不正常情況發生。如遇銅液充氣，銅樣表面凸起時，輕者可減少銅液表面木炭復蓋，或採用風管通攪，增加氧的濃度；嚴重者須要重新氧化。至於還原不足，銅樣表面下凹，則可繼續還原，增加銅液表面木炭或調換新鮮木炭。

從上面所述，控制還原終點溫度和銅水含 O_2 量對整個

操作过程具有很大的意义，也是整个精炼作业的关键。

三、銅綫錠的澆鑄

出銅時首先開出銅口，使銅水經流槽流入銅包，再傾注入鑄錠機的模槽。出銅口封料採用62%木炭粉，29%火泥，9%火磚粉。鑄錠機採用一直徑6.78米的圓盤鑄錠機，沿外徑的切綫方向裝置十二個錠模，每個錠模槽可澆銅錠一根（85公斤大錠）或三根（20公斤小錠）。鑄錠機的轉速5分鐘/轉，澆鑄能力12噸/小時。流槽和銅包用6毫米厚鋼板焊接而成，里層襯以厚約50—60毫米的耐火材料，（耐火泥55%，木炭粉25%，火磚屑20%）。銅包的容積約0.4立方米，可容250公斤銅水，包咀彎成與錠模軸綫平行，為了在澆鑄時使包咀能隨時對準錠槽中心，把包子一邊固定在特制的裝有鐵軌的小車上，使包子可前後靈活移動。傾注時採用葫蘆拉動銅包，一人拉動葫蘆，一人推包，使銅水均勻的傾注入錠模槽內。澆鑄是在鑄錠機連續運轉的情況下進行，銅水流股沿模槽長度連續澆入槽內。以前採用的澆鑄方法是鑄錠機間歇運轉，銅水流股固定於槽子一端流入槽內，這種固定澆法的缺點是銅水降落區域形成高溫區域，銅水不能均勻冷卻，靠高溫區冷卻速度慢，相應於降落區的模溫也高，錠塊結晶組織及物理性能不均勻。採用目前這種銅水流動澆法，便可避免那些缺點。

澆鑄使用的錠模系用陰極銅鑄成，澆鑄錠模時一般在還原後期，即出銅前進行。模子的塗料採用骨灰粉（骨灰與水

比例采用 1:7-8)。澆鑄前把模槽內殘余骨粉清刷干淨，然後用噴霧器（見圖 4）噴上一層厚薄均勻的骨灰漿。澆鑄後的銅綫錠，用裝在模子底下的蓮蓬斗噴水冷卻，噴頭與澆鑄

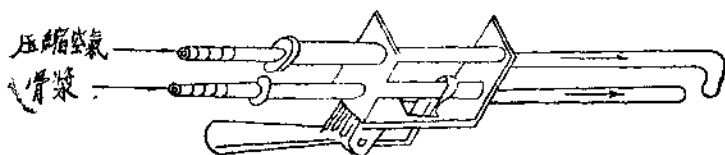


圖 4 骨灰噴霧器

机反向成水平 50° 噴水。銅錠在槽內冷凝後翻入冷卻水池，經完全冷卻後，由寬度 2 米的帶式撈錠機撈上。

整個澆鑄操作過程主要是銅水溫度控制、拉包、推包和塗料，以及銅錠的冷卻過程。往往由於技術條件控制不當，或操作技術上的不熟練，直接造成綫錠產生缺陷或者造成廢品。

澆鑄過程產生銅綫錠的缺陷，主要是氣孔、冷夾、表面凸凹、裂紋、夾砂、尺寸不合格等。

1. 氣孔——原因是銅水內部溶有氣體，當銅水凝固時，氣體來不及逸出而在內部或表面形成空隙。產生氣孔原因很多，主要的是銅水溶解氣體而於銅綫錠斷面上層產生細小氣孔；銅水溫度高或模溫高而於綫錠側壁或底部產生熱孔；模溫低，塗料沒有干燥，模槽內壁潛有水份；或者骨灰揮發物多也造成氣孔。

2. 冷夾——冷夾的現象主要是銅液流股不連續，銅水冷卻先後不一致，造成銅錠產生隔層。造成冷夾原因是拉包時，銅水的流股過大或推包時猛然推拉，容易引起槽內銅水

冲起浪花，附于槽壁而先凝固，造成側冷夾，傾鑄時由于銅水流股不均、澆鑄中間產生停頓現象、銅水流股不連續，都會造成底部冷夾；此外骨灰塗抹不均勻，冷卻不一致也容易造成冷夾。

3. 夾砂——澆鑄時由于銅包耐火材料脫落或木炭灰渣等，隨銅水流入槽內造成。

4. 銅錠表面產生凹凸現象，產生原因主要是還原不足或過頭，或者出銅時間長，銅水產生充氣現象。

5. 裂紋——產生裂紋的情況嚴重者可用肉眼觀察到，輕微的須要放大鏡才能發現。裂紋多發現于銅錠的高溫地帶，澆鑄時銅水流股較大的區域，或者是發現于產生冷夾處、橫槽產生凹陷或裂紋處及銅錠結晶粗糙處附近。裂紋的產生，主要是因為冷卻不均勻產生不均勻收縮，或者由于模槽或銅錠本身缺陷阻礙銅水的冷卻和自然收縮所致。

6. 尺寸不合規格，有大小頭、過厚或過薄、產生邊翅等。產生大小頭是由于澆鑄前模子沒有校平而產生一頭大一頭小的現象；過厚或過薄的原因主要是澆出的錠模槽深度不合規格，澆鑄時流入銅水沒有加以適當控制，結果造成銅錠厚度過大或過小。

邊翅的產生，主要是由于鑄錠機產生震動，或者在澆鑄時產生前松後緊現象，而發生收包階段銅水流股過大或收包匆促而造成銅水外溢。

鑄錠的缺陷，嚴重影響到後一個階段的加工，造成加工過程產生毛刺、銅皮脫落現象，嚴重的造成壓延或拉綫過程產生斷裂現象。為了獲得銅綫錠的均勻結晶組織，避免銅綫錠缺陷的產生，要求澆鑄過程必須在較低溫度下進行，並加

强綫錠的冷却，同时要求操作上注意澆錠时拉包由慢而逐渐加快，使銅水均匀而不間断的澆入槽內。推包时也要求平稳移动，使包咀随时对正模槽中心。塗粉必須厚薄均匀，一般以白色帶微暗为度。此外必須保持模槽內的光滑与干淨。目前澆鑄时控制銅水溫度为 $1100-1105^{\circ}\text{C}$ ，模溫为 $110-130^{\circ}\text{C}$ ，模溫差 $8-10^{\circ}\text{C}$ ，使用錠模与銅錠重量比为 $8.4-10:1$ 。冷却水的溫度不超过 $40-50^{\circ}\text{C}$ ，基本上保证了操作上的要求。

在澆鑄阶段，一般由于澆錠時間長而造成澆錠后期溫度下降。因此在此阶段必須經常測量銅水溫度，發現銅水溫度过低，可以适当燒火提溫，但提溫必須緩慢进行，防止溫度突然变化，以免影响銅錠質量。

四、产品檢驗

产出銅綫錠須要經過仔細詳查，由于澆鑄而产生缺陷的綫錠，輕微者尚可进行加工，严重者即作为廢品。

銅綫錠的檢驗項目：

1. 檢驗銅綫錠的化学成分，主要是 Cu ， O_2 。
2. 檢驗銅綫錠的导电率（以电阻系数 0.01724 欧姆/平方毫米/米为导电率 100% ）。
3. 銅綫錠的外觀形态。
 - 1) 尺寸大小厚薄合乎要求。
 - 2) 表面不应有凸起或下凹現象。
 - 3) 底部及兩側不应有显著的气孔、裂紋、非金屬夹杂