

# 铸造用纯铜及铜合金的熔炼工艺

南昌航空工业学院材料科学与工程学院 (江西 330034) 聂小武

**【摘要】** 详细介绍了铸造用纯铜及青铜、黄铜等主要铜合金的熔炼工艺, 提出了实际生产中应注意的问题, 供同行参考。

铸造用纯铜及铜合金是有色金属中重要的一类, 在实际生产中运用较广。常用的铜合金按照成分不同主要分为两大类, 即铸造黄铜和铸造青铜。无论是砂型铸造还是熔模铸造, 熔炼都是铸造生产中至关重要的一环, 各种铜合金的熔炼有相同之处, 又有不同之处, 在多年的生产实践中, 我们总结了纯铜及铜合金 (主要为青铜和黄铜) 的熔炼工艺经验, 供有关人员参考。

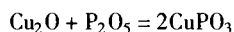
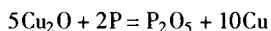
## 一、纯铜的熔炼

所用的熔炼设备: 中频感应电炉、热电偶、浇包和石墨坩埚等。

(1) 先将坩埚预热至暗红色, 在坩埚底加一层厚度约为 30~50cm 的干燥木炭或覆盖剂 (63% 硼砂 + 37% 碎玻璃), 再依次加入边角余料、废块和棒料, 最后加纯铜。

(2) 补加的合金元素可放在炉台上预热, 严禁冷料加入液态金属中。整个熔化过程中应经常活动炉料, 以防搭桥。

(3) 升温使合金全部熔化。合金全熔后, 温度达到 1200~1220℃ 时, 加入占合金液重量 0.3%~0.4% 的磷铜脱氧, 磷与氧化亚铜发生下列反应:



生成的  $\text{P}_2\text{O}_5$  气体从合金中逸出, 磷酸铜可浮于液面, 扒渣去除, 达到脱氧的目的。另外, 在脱氧的过程中需不断搅拌。

(4) 最后扒渣出炉, 合金液的浇注温度一般为 1100

~1200℃。

## 二、黄铜的熔炼

以锌为主要合金元素的铜基合金为黄铜, 分为普通黄铜和特殊黄铜两类。普通黄铜是铜和锌组成的两元合金, 主要用于压力加工。在普通黄铜的基础上加入其他合金元素 (如硅、铝、锰、铅、铁和镍等), 便成为特殊黄铜。铸造黄铜大多是特殊黄铜。

### 1. 合金的配料及金属炉料要求

对于铜合金的化学成分, 由于主要成分变化范围较大, 因此在配料计算的过程中, 应根据其性能要求, 选择适当的配料成分。合金的化学成分应符合 GB1176—1987, 几种常用的黄铜熔炼配料化学成分按表 1 进行, 并要求炉料应干燥、清洁, 有污物锈蚀时应进行吹砂清理。

表 1 常用黄铜熔炼配料化学成分 (质量分数) (%)

元素 牌号	Cu	Pb	Al	Si	Zn
ZCuZn38	61	—	—	—	余量
ZCuZn40Pb2	59	1.3	—	—	余量
ZCuZn31Al2	66.5	—	2.4	—	余量
ZCuZn16Si4	79.5	—	—	3.5	余量

### 2. 炉料配比

按照一般的配料惯例, 新料成分占炉料的总重量应  $\geq 30\%$ , 回炉料  $\leq 70\%$ 。但在实际生产中, 我们考虑到铜合金的回炉料较多, 在炉料的配比时回炉料的质量分数  $\geq 90\%$  时, 熔化质量依然很好, 化学光谱分析证明铸

件的成分合格,但回炉料较多时需考虑合金中的杂质是否超标。

### 3. 熔炼前的准备

(1) 金属炉料的准备 ①回炉料是同牌号的废铸件、浇冒口及重熔铸锭,需要具有明确的化学成分。入炉前吹砂清除表面污物,经预热后装炉(首批冷炉熔化可随炉预热)。②纯铜经吹砂去除污物,在 500~550℃预热去除水分后才能装炉(首批冷炉熔化可随炉预热)。③纯金属元素入炉前可在炉边预热。金属炉料的最大块度不应超过坩埚直径的 1/3,长度不应超过坩埚深度的 4/5。

(2) 坩埚和熔炼设备及工具的准备 ①坩埚使用前应无裂纹和影响安全的其他损伤,新坩埚必须经过低温缓慢加热处理,以防产生裂纹;旧坩埚应将内表面的熔渣清理干净。②用新石墨坩埚及更换熔炼合金种类时,熔炼前坩埚应熔化同牌号系列合金进行洗炉。③用耐火材料及石墨做成的搅拌棒必须彻底清理掉残余涂料和锈迹,并涂敷一层耐火材料或刷涂料后烘干待用。④锭模在使用前必须彻底清理干净,敷涂料后预热至 100~150℃待用。

### 4. 覆盖剂及熔剂的准备

(1) 木炭应装入密封的烘箱内,在不低于 800℃烘烤 4h,待用时防止吸潮。

(2) 覆盖剂由 63%硼砂 + 37%碎玻璃组成,也可用干燥木炭作覆盖剂,但均要求干燥并去除其中的杂物。

### 5. 合金熔炼工艺过程

(1) 先将坩埚预热至暗红色,并在其底部加入 20~40cm 厚木炭。

(2) 加入纯铜并在迅速升温熔化后,按先熔点高后熔点低的顺序加入中间合金(如有配入时),最后再加回炉料,同时应补加木炭,以保证合金液面不暴露在空气中。

(3) 熔炼黄铜一般也需要进行脱氧,待铜全部熔化后,温度达 1150~1200℃时加入磷铜(以 P 占铜液重量的 0.04%~0.06%计算)进行脱氧。经脱氧与不脱氧的实践对比,脱氧后的铸件表面质量要优于不脱氧的铸件。

(4) 按各合金牌号成分要求分别补加合金元素:在 1100~1120℃加入铝铜中间合金;在 1100~1150℃停电分批加入纯锌、纯铝并搅拌。熔化硅黄铜时应先加硅,

再加锌;熔化铅黄铜时应先加锌再加铅。锌元素的加入温度应控制,加锌后若温度降低可以中间送电,当合金液温度高于 1200℃时,不允许加锌。

(5) 出炉扒渣,调整合金液至工艺要求温度后,迅速出炉浇注。合金液的浇注温度是影响铸件性能的重要因素。一般铜合金液的出炉温度见表 2。

表 2

铜合金	ZCuZn38	ZCuZn40Pb2	ZCuZn31Al2	ZCuZn16Si4
温度/℃	1100~1130	1080~1100	1120~1140	1100~1140

(6) 熔炼两种不同牌号的合金,其化学成分有影响时,中间应进行洗炉。例如,用熔炼过铝青铜的坩埚和工具再来熔化锡青铜,而坩埚和工具会含有铝元素,虽然铝在锡青铜里是合格的成分,但在锡青铜里却是最有害的元素。

一般的铜合金经过脱氧后,即可获得合格铸件。但对于铝青铜、铝黄铜、硅青铜等,易氧化生成高熔点氧化物  $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$ ,使铸件形成夹渣,需经过精炼才能去除,常用精炼剂有:60%的氯化钠 + 40%的冰晶石或 20%冰晶石 + 20%氟石 + 60%氟化钠(质量分数)。

## 三、青铜的熔炼

铸造青铜按成分可分为锡青铜和不含锡青铜。锡青铜是以锡为主要合金元素的铜基合金,具有良好的耐磨性、耐蚀性,较好的强度和塑性。不含锡青铜有铝青铜、铅青铜和硅青铜等,含有的主要元素不同,如铝青铜是以铝为主要合金元素的铜基合金。

### 1. 合金的配料及金属炉料要求

几种常用青铜合金熔炼配料成分按表 3 进行。

表 3 常用青铜合金熔炼配料成分(质量分数)(%)

牌 号	Sn	P	Pb	Al	Fe	Mn	Cu
ZCuSn10Pb1	10.5	1.12	—	—	—	—	余量
ZCuSn10Pb10	9	—	9	—	—	—	余量
ZCuAl10Fe3	—	—	—	9.5	3.5	—	余量
ZCuAl10Fe3Mn2	—	—	—	10.5	3.2	1.9	余量

注:在 ZCuAl10Fe3 合金内允许配入  $w_{Ni} = 0.7\% \sim 0.9\%$ ,  $w_{Mn} = 0.3\% \sim 0.4\%$ ,以提高铜合金力学性能。

### 2. 炉料配比

新料成分占炉料的总重量应  $\geq 30\%$ ,回炉料  $\leq 70\%$ 。

### 3. 熔炼前的准备

青铜熔炼前的准备工作与黄铜熔炼的准备工作相

同。木炭应装入密封的烘箱内，在不低于 800℃ 烘烤 4h，待用时防止吸潮。稻草灰应研碎成粉末状，除去水分，彻底烘干，待用时也要注意防潮。覆盖剂均要求干燥并去除其中的杂物。

对于合金熔炼工艺过程，因铸造青铜的种类较多，下面仅讨论几种典型的铜合金，同类其他铜合金可以参考使用。

#### 4. ZCuSn10Pb1 和 ZCuPb10Sn10 的熔炼工艺过程

(1) 先将坩埚预热至暗红色，并在其底部加入 20~40cm 厚木炭。

(2) 加入纯铜，迅速升温熔化后再加入回炉料，同时补加木炭，以保证合金液面不暴露在空气中。

(3) 回炉料熔化后，加入磷铜（一般加占炉料重 0.5%，熔化磷锡青铜时使用的磷铜可全部加入）。

(4) 依次加入锌、锡、铅（按配料成分），前一种炉料完全熔化后，再加入下一种，并不断搅拌合金液。

(5) 调整合金液温度在 1100~1150℃。

(6) 出炉打渣，再加磷铜（一般加炉料重的 0.1%）进行脱氧，均匀搅拌，并在合金液表面上撒一层稻草灰，调整合金液至工艺要求温度（一般为 1130~1180℃）后，迅速出炉浇注。

#### 5. ZCuAl10Fe3 和 ZCuAl10Fe3Mn2 的熔炼工艺过程

(1) 不能用熔化过其他牌号合金的坩埚熔化这两种合金。

(2) 把坩埚预热至暗红色，加入配制好的熔剂（熔剂成分：20% 冰晶石 + 60% 氟化钠 + 20% 氟化钙）。

(3) 将预热至 200℃ 左右的低碳薄钢片和回炉料同时加入，熔化后搅拌合金，升温至 1150~1180℃。

(4) 加入合金重量 0.3% 的磷铜脱氧，并补加熔剂。

(5) 将预热至 200℃ 的纯铝和纯锰（按配料成分）分批加入，每加入一批，即用搅拌棒将其压入，达到迅速熔融，并不断搅拌使成分均匀，最后调整合金液的温度在 1120~1220℃。

(6) 用稻草灰覆盖打渣，按工艺要求调整合金温度（一般为 1160~1200℃）后迅速出炉浇注。

### 四、安全事项

安全生产是铸造行业的基本要求，纯铜及铜合金的熔炼都必须做到以下几点：

(1) 操作者应穿戴好防护用品，工作场地保持整

洁，不允许有积水和杂物。

(2) 开炉前应检查所用设备是否完好，如有不安全因素应及时排除。

(3) 应仔细检查并确认炉料中无易爆及危险物后，方能进行预热。

(4) 熔炼浇注工具，如搅拌棒、铁勺、除渣工具等，未经预热不得与合金液接触。

(5) 浇注时剩余的合金液要倒入经过预热的锭模中，不允许直接浇在地面上或倒回炉中。

### 五、熔炼中应注意的几个问题

(1) 熔炼时间的控制 从加料开始至熔化结束（合金出炉）所用时间叫熔化时间，熔化时间的长短不仅会影响生产率，而且会明显地影响浇注的铸件质量。因为熔化时间延长，会使合金元素的熔炼损耗增加，吸气的机会增加，因此，应以最短的时间完成熔化工作，在允许的情况下，尽量提高炉料的预热温度，操作应紧凑，动作要迅速。

(2) 熔炼用搅拌棒 铜合金中的某些元素，如铁、铅等在熔化时是以机械混合物的形式存在的，还有些元素，由于密度不同，有产生密度偏析分层的趋势。实践证明，这些元素在熔炼和浇注的过程中，容易引起化学成分及力学性能不合格。要克服这种现象，必须借助搅拌的作用，这是熔化浇注不可或缺的环节。但在测温及降温期间，一般不需搅拌，而所用搅拌物的材料成分，一般宜用石墨，这是因为，如果使用其他的搅拌物如铁棒，则在搅拌的过程中铁棒熔化，会使合金的化学成分受到影响。同时，如果铁棒在炉内预热的温度较高或搅拌的时间较长，铁棒上的氧化物会进入合金液中成为杂质；如果铁棒预热的温度较低，合金在搅拌时要粘附在铁棒上，这在生产中是能观察到的。

(3) 熔炼时覆盖剂的使用 对于铜合金熔炼来讲，覆盖剂的用量一般为：用玻璃和硼砂时为炉料重量的 0.8%~1.2%，以保持覆盖层的厚度达到 10~15cm；用木炭时，用量约为炉料重量的 0.5%~0.7%，以保持覆盖层厚度达 25~35cm。覆盖剂的扒除一般在浇注前进行，太早会增加铜合金的氧化和吸气。如果是用木炭作覆盖剂，并且挡渣效果好时，也可以不扒除覆盖剂，使其在浇注的过程中起到挡渣作用，效果更为理想。

(20050906)