

团 体 标 准

T/CACE XXXX—XXXX

再生铜样品熔融铸造工艺技术规范

Technical specification for process of melting and casting of recycled copper sample

(征求意见稿)

(本草案完成时间: 2025.11.18)

在提交反馈意见时, 请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

中国循环经济协会 发布

目 次

前言	II
引言	III
1 范围	4
2 规范性引用文件	4
3 术语和定义	4
4 熔样工艺原理	5
4.1 控温缓冷法原理	5
4.2 吹气法原理	5
5 设施设备及用品	5
6 职业健康与环境保护	5
6.1 职业健康	5
6.2 环境保护	5
7 原辅料要求	6
7.1 原料要求	6
7.2 辅料要求	6
8 工艺流程及技术规范	6
8.1 工艺流程	6
8.2 取样、分样	7
8.3 熔融铸锭	8
8.4 注意事项	10
8.5 铜锭质量检测	10
8.6 铸锭铜回收率计算	10

前　　言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国循环经济协会提出并归口。

本文件起草单位：安徽友进冠华新材料科技股份有限公司、中绍宣科技集团有限公司、安徽省工业标准化协会

本文件主要起草人：方亮、周公裕、刘帅。

引言

我国是全球最大的铜消费国，但铜资源自给率不足20%，再生铜已经成为保障资源供给安全的关键补充。推动再生铜的循环利用，不仅有助于缓解资源短缺，也对减轻环境污染、降低能源消耗具有战略意义，是有色金属行业实现绿色低碳转型的重要路径。

再生铜作为铜资源循环利用的核心载体，其样品检测的准确性直接关系到原料定价、质量判定与工艺优化。然而，当前样品制备环节长期缺乏统一、高效的工艺规范，制约了行业整体质量控制的提升。为此，本标准致力于建立一套统一且高效的再生铜熔融铸锭样品制备工艺技术规范。

本工艺最大的优势在于其卓越的可靠性与一致性。依据本标准进行熔融铸锭，样品铸锭的成功率高达99%，远优于传统方法的制备效果。这一高成功率不仅确保了样品的代表性与数据准确性，也大幅降低了因制样失败导致的重复作业与资源浪费，为再生铜行业的质量控制与高效运营提供了坚实技术支撑。

再生铜样品熔融铸锭工艺技术规范

1 范围

本文件规定了再生铜样品熔融铸锭工艺的技术要求，包括工艺原理、设备设施及用品、职业健康与环境保护、原辅料要求、工艺流程及技术规范。

本文件适用于采用熔融铸锭方法将再生铜原料熔铸成样品铸锭的工艺控制。再生铜原料分类方法依据GB/T 38471，其他分类方法可参考使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GBZ 2.1 工作场所有害因素职业接触限值 第1部分：化学有害因素
- GBZ 2.2 工作场所有害因素职业接触限值 第2部分：物理因素
- GB/T 210 工业碳酸钠
- GB/T 537 工业十水合四硼酸二钠
- GB/T 5121.1 铜及铜合金化学分析方法 第1部分：铜含量的测定
- GB 5085.1 危险废物鉴别标准 腐蚀性鉴别
- GB 5085.2 危险废物鉴别标准 急性毒性初筛
- GB 5085.3 危险废物鉴别标准 浸出毒性鉴别
- GB 5085.4 危险废物鉴别标准 易燃性鉴别
- GB 5085.5 危险废物鉴别标准 反应性鉴别
- GB 5085.6 危险废物鉴别标准 毒性物质含量鉴别
- GB/T 9442 铸造用硅砂
- GB/T 14263 散装浮选铜精矿取样、制样方法
- GB 18597 危险废物贮存污染控制标准
- GB 18599 一般工业固体废物贮存和填埋污染控制标准
- GB/T 22667 氟硼酸钾
- GB/T 27804 氟化钙
- GB 31574 再生铜、铝、铅、锌工业污染物排放标准
- GB/T 38471 再生铜原料
- GB 39800.3 个体防护装备配备规范 第3部分：冶金、有色
- SN/T 0570 进口再生原料放射性污染检验规程
- YS/T 949 废旧有色金属术语定义

3 术语和定义

GB/T 38471、YS/T 949 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

再生铜样品熔融铸锭 *ingot of recycled copper sample*

将按照GB/T 38471 的要求分类的再生铜原料，经过预处理、熔融和冷却工序后，形成的样品铸锭。

3.2

再生铜原料 *recycling materials for copper*

回收铜原料经过分类和预处理加工后，满足可直接生产利用要求的铜原料。

[来源: GB/T 38471—2023, 3.2]

3.3

样品 representative sample

从整批原料中抽取，并能充分代表原料属性特征的一定量实物。

[来源: GB/T 38471—2023, 3.3]

3.4

再生铜熔融造渣剂 recycled copper melting slagging agent

简称造渣剂。是再生铜熔炼过程中，向炉中加入的可调整炉渣性能的熔剂，通过物理吸附与化学反应结合的方式进行除杂，进而形成熔渣，常见的如硼砂、二氧化硅等。

3.5

再生铜熔融还原剂 regenerated copper smelting reducing agent

简称还原剂。是再生铜熔炼过程中，向炉中加入的在氧化还原反应中对其他物质起还原作用而自身被氧化的物质，常见的如晶体硼、氟硼酸钠等。

3.6

铸锭铜回收率 ingot copper recovery rate

单位质量的样品，经预处理去除夹杂物和非铜金属，熔化去渣、凝固后，所得铸块质量占原样品质量的比值。以质量分数表示。

[来源: GB/T 38471—2023, 3.11, 有修改]

4 熔样工艺原理

4.1 控温缓冷法原理

按预定的程序对熔融铜液进行温度控制，实现缓慢均匀冷却的目的，减少因快速收缩而产生的裂纹并延长凝固时间，以减少杂质偏析、抑制晶粒粗化，从而提升铸锭组织均匀性。

4.2 吹气法原理

在铜液熔融充分但尚未凝固、表面渣层刚形成时，用惰性气体吹散浮渣并持续保持吹气，以促进熔体内部气体逸出、减少铜液氧化；促使熔渣中的微小铜珠沉降聚集，降低熔渣中铜含量；加速冷却、定向凝固，使熔渣与铜液充分分离。

5 设施设备及用品

5.1 取样、分样用品主要包括钢制铲子（宽度 10 cm~20 cm）、不锈钢二分器（槽宽不低于 10 mm）、电子天平（量程不低于 1 kg，精度不低于 0.1 g）。

5.2 熔样设备和用品主要包括中频感应炉（0 °C~2000 °C）、石墨坩埚（高纯石墨，容量不低于 200 mL）、搅拌棒（石墨棒或玻璃棒均可）。

5.3 冷却设施和用品主要包括惰性气体吹气冷却装置、脱模工具、水冷槽。

6 职业健康与环境保护

6.1 职业健康

6.1.1 应配备必要的个人防护设备如护目镜、耐高温阻燃手套、防尘口罩、安全帽等，符合 GB 39800.3 的要求。

6.1.2 工作场所的化学有害因素及物理因素的控制需符合 GBZ 2.1 和 GBZ 2.2 的规定。

6.2 环境保护

6.2.1 废水排放和大气污染物的监测和排放应符合 GB 31574 的规定。

6.2.2 一般固废的处理应符合 GB 18599 的要求。

6.2.3 危险废物应按 GB 5085.1~GB 5085.6 进行鉴别, 按 GB 18597 规范贮存, 转移时按照《危险废物转移管理办法》的要求, 交由有资质单位处置。

6.2.4 放射性污染应按照 SN/T 0570 进行检验, 结果应满足 GB/T 38471 的要求。一旦发现辐射水平异常, 应立即停止该批原料的作业, 划定隔离区域, 并按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》相关要求, 在 4 小时内向当地生态环境主管部门报告。

7 原辅料要求

7.1 原料要求

再生铜原料的分类与技术要求按GB/T 38471 的规定进行。

7.2 辅料要求

辅料主要为造渣剂和还原剂。造渣剂主要包括碳酸钠、二氧化硅、氟化钙、硼砂; 还原剂主要包括氟硼酸钾、氟铝酸钠、晶体硼。

8 工艺流程及技术规范

8.1 工艺流程

8.1.1 再生铜样品熔融铸锭工艺流程见图 1。

8.1.2 所有流程应做好记录和溯源工作。

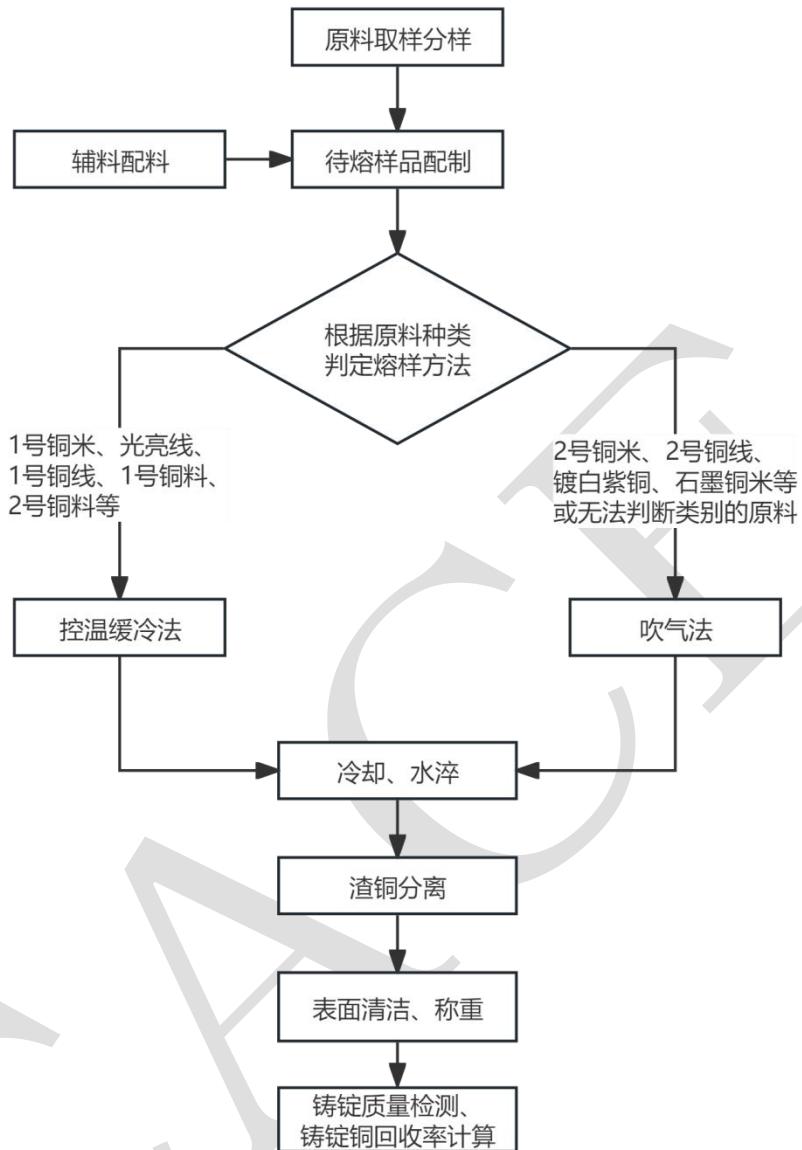


图 1 再生铜样品熔融铸锭工艺流程图

8.2 取样、分样

8.2.1 取样、分样前应清洁相关工具。

8.2.2 取样方法可参考 GB/T 14263, 样品重量为(10~15) kg。

8.2.3 铜米(含石墨铜米)取样后混合均匀、备用; 铜线宜剪切成(10±2) cm 长度; 混合铜料中的块(片)状货物宜剪切成(10±2) cm 长度、(3±1) cm 宽度的小块(片), 按照混合的比例保留。

8.2.4 取样得到的样品宜分为 4 份, 作为仲裁、监查、熔样、存留使用。仲裁及监察样品量宜(1-1.2) kg、待熔样品量宜(1.7-2.0) kg, 剩余样量存留使用。

8.2.5 分取后各类样品应标注样品编号、原料类别、取样日期、取样人, 在干燥、无腐蚀的环境下规范存放。

注1: 熔样操作人员对待熔样品有重量要求时应以其提出的要求为准。

注2: 仲裁样品应用密封袋打包, 批次标注时分样工作人员应签名。

注3: 客户要求带回时, 应从存留样品中另取, 不宜超过1 kg。

8.3 熔融铸锭

8.3.1 待熔样品制备

8.3.1.1 熔融铸锭宜采用平行作业方式，同时获得至少两份铸锭。

8.3.1.2 铜米（含石墨铜米）等质地均匀的待熔样品，用二分器分取两份；铜线、混合铜料等质地不均匀的待熔样品，用电子天平称取重量相近的两份。

8.3.1.3 造渣剂各组分规格、占比及参考标准见表1。可预先配制，多次使用，使用间隔较长时应妥善贮存，做好防火防潮措施。

8.3.1.4 铜米等能与造渣剂均匀混合的待熔样品，应混合均匀后倒入坩埚内，按压紧实，倒入过程中应确保无外溢，无法一次性倒入时应分次添加。

8.3.1.5 铜线、混合铜料等无法与造渣剂均匀混合的待熔样品，应将造渣剂预先倒入坩埚铺平，再加入待熔样品。

8.3.1.6 待熔样品与造渣剂的用量关系可参考表2。

表1 造渣剂组分及占比

组分名称	依据标准	规格要求	组分占比（%）
碳酸钠	GB/T 210	工业纯/≥98.00%	45.50
二氧化硅	GB/T 9442	工业纯/≥98.00%	27.00
氟化钙	GB/T 27804	工业纯/≥97.50%	13.50
硼砂	GB/T 537	工业纯/≥95.00%	13.50

表2 待熔样品与造渣剂的用量关系

类别	名称	表现特征	待熔样品/g	造渣剂/g
铜米	1号铜米	由洁净、无镀层、形状均一的颗粒状、短棒状或片状纯铜组成，无其他金属。	500~700	80~100
	2号铜米	由混有镀层、形状均一的颗粒状、短棒状或片状纯铜组成，表面允许有少量的氧化；允许有微量的其他金属颗粒。	700~1000	110~140
铜线	光亮线	由洁净、无涂层、无镀层、表面无氧化的纯铜线组成。	500~700	80~100
	1号铜线	由无涂层、无镀层、未经处理的纯铜线组成，允许带有电连接用的纯铜件；表面允许有氧化。		
	2号铜线	由使用过的或经处理的旧铜线组成，允许表面有镀层、含少量涂层。	700~1000	110~140
混合铜料	1号铜料	由洁净的纯铜管、带、板、棒、线及其他形状纯铜件混合组成。	500~700	80~100
	2号铜料	由纯铜管、带、板、棒、线及其他形状纯铜件混合或由混杂的各类纯铜制品，或处理后的纯铜碎料组成。表面允许有氧化和镀层。		
	镀白紫铜	由表面镀锡、镀镍或镀锌的纯铜零部件、加工余料、铜线（丝）等组成。	700~1000	110~140

注：石墨含量较多的样品，一次样品量宜为（500~600）g，造渣剂用量为（100~120）g。

8.3.2 熔样

8.3.2.1 还原剂组分及配比系数见表3。

表3 还原剂组分及占比

组分名称	依据标准	规格要求	组分占比(%)
氟硼酸钾	GB/T 22667	工业纯/≥97.00%	45.50
氟铝酸钠	-	工业纯/≥95.00%	45.50
晶体硼	-	高纯/≥97.00%	9.00

注：还原剂具体配比可根据原料杂质成分和熔炼时间进行优化调整。

8.3.2.2 1号铜米、光亮线、1号铜线、1号铜料、2号铜料等杂质较少的待熔样品，宜采用控温缓冷法熔样，具体操作为：

- 将装有待熔样品的坩埚放入温度约1200℃的中频炉加热、熔融；
 - 完全熔融后开始搅拌，直至无明显阻滞时，保温约10min，加入约2g还原剂继续保温；
 - 当坩埚内熔体表面光亮且搅拌无阻滞感时，进行控温缓冷。下调炉温并保温，控温步骤与温度、保温时长的具体关系见表4，完成后，关闭中频炉，让坩埚及熔体自然冷却；
- 注：降温过程中应关注坩埚内状态，熔体表面颜色应呈现“亮黄色—红色—暗红色—黑褐色”梯次变化，且无起包现象。
- 待熔体表面硬化，取出坩埚，整体浸入水冷槽水淬；
 - 降至室温后，使用脱模工具敲碎坩埚，取出含渣铜锭并分离铜锭与上层熔渣；
 - 清理铜锭表面至无明显杂质，称取铜锭重量并记录。

表4 控温步骤与温度、时长对应关系

控温步骤	中频炉温度	保温时间
熔融	约1200℃	约30min
首次降温	约1000℃	约8min
二次降温	约800℃	约8min
三次降温	约600℃	约5min
四次降温	约400℃	约5min
关闭中频炉	-	-

8.3.2.3 2号铜米、2号铜线、镀白紫铜等杂质较多的待熔样品，宜采用吹气法熔样，具体操作为：

- 将装有待熔样品的坩埚放入温度约1200℃的中频炉加热、熔融；
- 完全熔融后开始搅拌，直至无明显阻滞时，保温约10min，加入约2g还原剂继续保温；
- 当坩埚内熔体表面光亮且搅拌无阻滞感时，关闭中频炉电源，迅速将坩埚转移至惰性气体吹气口正下方，调节气体流量与流速，吹散熔体表面熔渣层，使铜液液面清晰暴露，保持液面可见区域直径为(25±2)mm；
- 持续吹气约5min，待周围渣色发黑时，关闭气源，将坩埚转移，让坩埚及熔体自然冷却；
- 待熔体表面硬化，取出坩埚，整体浸入水冷槽水淬；
- 降至室温后，使用脱模工具敲碎坩埚，取出含渣铜锭并分离铜锭与上层熔渣；
- 清理铜锭表面至无明显杂质，称取铜锭重量并记录。

8.4 注意事项

- 8.4.1 若无法判断熔样方法，宜采用吹气法。吹气过程中若发现熔体鼓包，应立即停止吹气，并向坩埚中加入约 10 g 造渣剂，继续熔融。
- 8.4.2 石墨含量较多的铜米、铜纸等样品，宜采用吹气法熔融，应注意以下事项：
- 熔融开始时，即用压缩空气吹气并持续搅拌。
 - 气口平行于坩埚上沿，调节气体流量与流速，保持坩埚内熔体不溅出。
 - 采用压缩空气吹气时，不得将气口对准坩埚内，操作人员须穿戴齐全防护装备，并保持安全距离。
 - 当坩埚内熔体表面光亮且搅拌无阻滞感时，按 8.3.2.3 c)继续操作。
- 8.4.3 若保温约 10 min 后坩埚内仍有大量气泡、残渣或坩埚内壁周边有闪烁等现象，可适当延长保温时间直至现象消失。
- 8.4.4 若使用玻璃棒搅拌，玻璃棒接触试样部分，应冷却后敲断，并投入坩埚。
- 8.4.5 若熔融过程中坩埚开裂，应立即关闭中频炉电源，将坩埚移出，妥善放置，待铜熔液冷却后清理。严禁用手接触坩埚。
- 8.4.6 若在吹气过程中出现熔液飞溅，立即关闭气源，用干燥的覆盖剂（如石墨粉、干燥砂）覆盖飞溅区域，待冷却后清理。严禁用水直接浇淋高温熔液。

8.5 铜锭质量检测

- 8.5.1 经处理后的铜锭，铜面光洁，不夹渣，不跑铜，熔渣中铜含量不高于 0.2%。
- 8.5.2 熔渣中铜含量和铸锭中铜含量应按 GB/T 5121.1 规定的方法进行测定。

8.6 铸锭铜回收率计算

- 8.6.1 铸锭铜回收率按照公式(1)计算。

$$W_1 = \frac{m_1}{m_0} \times 100\% \quad (1)$$

式中：

W_1 ——铸锭铜回收率，%；

m_1 ——铸锭重量，g；

m_0 ——熔前样品重量（不含造渣剂），g。

- 8.6.2 若要检测熔渣中铜重量，铸锭铜回收率按照公式(2)和(3)步骤计算。

$$m_3 = \frac{m_2 \times c_1}{c_2} \quad (2)$$

$$W_2 = \frac{m_1 + m_3}{m_0} \times 100\% \quad (3)$$

式中：

m_3 ——熔渣中铜重量，g；

m_2 ——熔渣重量，g；

c_1 ——熔渣中铜含量，%；

W_2 ——铸锭铜回收率，%；

c_2 ——铸锭中铜含量，%。