

T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXX—XXXX

核装置用大规格无氧铜件制备技术规范

Technical specification for preparation of large-scale oxygen-free copper parts for
nuclear devices

（征求意见稿）

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国西部开发促进会 发 布

目次

前言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 分类与牌号 1

 4.1 分类 2

 4.2 牌号 2

5 技术要求 2

 5.1 化学成分 2

 5.2 力学性能 2

 5.3 物理性能 2

 5.4 金相组织 3

 5.5 尺寸公差与表面质量 3

 5.6 无损检测 3

 5.7 洁净度要求 3

6 制备工艺控制 3

 6.1 一般要求 3

 6.2 原料准备 3

 6.3 熔炼 3

 6.4 铸造 4

 6.5 塑性加工 4

 6.6 热处理 4

 6.7 机械加工 4

 6.8 洁净处理 4

7 试验方法 5

 7.1 化学成分分析 5

 7.2 力学性能试验 5

 7.3 导电率测试 5

 7.4 氢脆试验 5

 7.5 尺寸与表面质量检验 5

 7.6 金相检验 5

 7.7 无损检测 5

 7.8 洁净度检测 5

8 检验规则 5

 8.1 检验分类 5

 8.2 出厂检验 5

 8.3 型式检验 6

 8.4 组批 6

9 标志、包装、运输和贮存 6

9.1 标志.....	6
9.2 包装.....	6
9.3 运输.....	6
9.4 贮存.....	6

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。

本文件由中国西部开发促进会提出。

本文件由中国西部开发促进会归口。

本文件起草单位： 。

本文件主要起草人： 。

核装置用大规格无氧铜件制备技术规范

1 范围

本文件规定了核装置用大规格无氧铜件的术语和定义、分类与标记、技术要求、制备工艺控制、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输和贮存等内容。
本文件适用于核装置用大规格无氧铜件。

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。

- GB/T 191 包装储运图示标志
- GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法
- GB/T 231.1 金属材料 布氏硬度试验 第 1 部分：试验方法
- GB/T 232 金属材料 弯曲试验方法
- GB/T 351 金属材料 电阻率测量方法
- GB/T 5121（所有部分）铜及铜合金化学分析方法
- GB/T 5231 加工铜及铜合金牌号和化学成分
- GB/T 3074 石墨电极
- GB/T 6394 金属平均晶粒度测定方法
- GB/T 32791 铜及铜合金导电率涡流测试方法
- YS/T 335 无氧铜含氧量金相检验方法
- YS/T 347 铜及铜合金 平均晶粒度测定方法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

大规格无氧铜件 large-scale oxygen-free copper part

单重不小于 50 kg 或最大截面尺寸不小于200mm，以高纯无氧铜为原料，经熔炼、铸造、塑性加工及热处理等工序制成的铜质构件。

3.2

氢脆敏感性 hydrogen embrittlement susceptibility

无氧铜在高温含氢环境中，因内部氧与氢反应生成水蒸气导致晶界开裂的倾向程度。

3.3

洁净度 cleanliness

无氧铜件表面及内部残留的杂质颗粒、油污、氧化层及放射性污染物的控制水平。

3.4

锻造比 forging ratio

锻件变形前后横截面积的比值，用于表征塑性变形程度。

4 分类与牌号

4.1 分类

4.1.1 按材料牌号分类

核装置用无氧铜件按材料纯度分为TU0级、TU1级、TU2级。：

4.1.2 按加工方式分类

按加工方式分为：

- a) 锻制件：经锻造工艺成形的构件；
- b) 轧制件：经轧制工艺成形的板、棒类构件；
- c) 机加工件：经精密机械加工的成品构件。

4.1.3 按供货状态分类

按供货状态分为：

- a) 退火态（O）：经完全再结晶退火处理；
- b) 去应力态（M）：经低温去应力退火处理；
- c) 加工态（Y）：经塑性加工后未进行最终退火。

4.2 牌号

4.2.1 产品牌号由标准编号、材料牌号、产品类型、供货状态及规格尺寸组成，应符合 GB/T 5231 的规定。

5 技术要求

5.1 化学成分

5.1.1 基体成分

无氧铜的化学成分应符合GB/T 5231或的规定，各牌号主要成分要求见表1。

表1 无氧铜化学成分要求（质量分数）

牌号	Cu+Ag, % ≥	O, % ≤	杂质总和, % ≤
TU0	99.99	0.0003	0.01
TU1	99.97	0.002	0.03
TU2	99.95	0.003	0.05

5.1.2 有害元素控制

核装置用无氧铜件应对铍、镉、砷、铅等低熔点有害元素进行严格控制，单项含量不大于 0.001%。

5.2 力学性能

不同供货状态的无氧铜件室温力学性能应符合表2规定。

表2 室温力学性能要求

牌号	供货状态	抗拉强度 R_m , MPa, ≥	规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$, MPa, ≥	断后伸长率 A , % , ≥	布氏硬度HBW
TU0	退火态	200	60	45	40~65
TU1	退火态	205	65	42	40~70
TU2	退火态	210	70	40	45~75
TU1	加工态	250	200	15	75~100

5.3 物理性能

5.3.1 导电率

退火态无氧铜件在20℃时的导电率应不小于 100% IACS。

5.3.2 氢脆试验

经氢气退火试验后，试样不得出现晶界裂纹，弯曲试验后表面不得产生肉眼可见裂纹。

5.4 金相组织

5.4.1 晶粒度

退火态产品的平均晶粒度应不粗于ASTM 00级，且晶粒度级差不大于3级。

5.4.2 内部缺陷

金相试样内部不得存在气孔、缩松、夹杂及裂纹等冶金缺陷。

5.5 尺寸公差与表面质量

5.5.1 尺寸公差

锻件尺寸公差应符合GB/T 26303.1、GB/T 26303.2、GB/T 26303.3的规定；机加工成品尺寸公差应满足图样要求。

5.5.2 表面质量

产品表面应光洁，无裂纹、折叠、划伤、氧化斑点及腐蚀痕迹。表面粗糙度应符合设计文件要求，非加工面粗糙度 R_a 不大于 $6.3\ \mu\text{m}$ 。

5.6 无损检测

5.6.1 超声波检测

所有大规格无氧铜件均应进行超声波检测，质量等级应不低于 NB/T 47013.3 规定的 II 级。

5.6.2 渗透检测

产品外表面及加工后暴露面应进行渗透检测，不得存在线性显示及大于 3 mm 的圆形显示。

5.7 洁净度要求

核装置用成品件表面油脂残留量不大于 $5\ \text{mg}/\text{m}^2$ ，微粒污染物 ($\geq 0.5\ \mu\text{m}$) 不大于 100 个/L。

6 制备工艺控制

6.1 一般要求

制备全过程应建立可追溯的质量控制体系，各关键工序应设置质量控制点，保留完整的工艺记录与检测数据。

6.2 原料准备

6.2.1 阴极铜

应采用符合GB/T 467规定的高纯阴极铜作为原料，阴极铜表面应清洁，无油污、夹渣及氧化层。

6.2.2 辅料

熔炼用木炭、石墨构件等辅料应符合GB/T 3074 及相关标准要求，使用前应经高温烘烤去除水分及挥发物。

6.3 熔炼

6.3.1 熔炼方式

应采用真空感应熔炼或保护气氛下的工频感应熔炼工艺。TU0 级产品必须采用真空熔炼，真空度不低于 1×10^{-2} Pa。

6.3.2 除氧控制

熔炼过程中应通过木炭覆盖、惰性气体保护及脱氧剂精准添加等方式控制氧含量。铜液出炉温度应控制在 $1150\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.3.3 成分均匀性

熔炼后期应进行充分的电磁搅拌，确保成分均匀。每炉次应在不同位置取样进行成分验证。

6.4 铸造

6.4.1 铸造方式

大规格铸锭宜采用上引连铸、真空浇铸或保护气氛下的铁模铸造工艺。

6.4.2 冷却控制

应控制冷却速度，避免铸锭产生裂纹、缩孔及偏析。铸锭脱模温度应低于 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.4.3 铸锭检验

铸锭应进行表面检查及低倍酸浸检验，内部不得存在大于 $\phi 2\text{ mm}$ 的缩孔、气孔及夹杂。

6.5 塑性加工

6.5.1 锻造工艺

锻造工艺应符合以下要求：

- a) 加热温度： $820\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 900\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，保温时间按每 100 mm 厚度 $60\text{ min} \sim 90\text{ min}$ 计算；
- b) 锻造比：主变形方向总锻造比不小于3；
- c) 终锻温度：不低于 $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
- d) 锻造过程应采用多火次成形，避免单次变形量过大产生开裂。

6.5.2 轧制工艺

热轧开坯温度 $800\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 880\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，道次变形量 $10\% \sim 25\%$ ，冷轧总变形量不大于 60% 。

6.6 热处理

6.6.1 退火工艺

完全再结晶退火：温度 $500\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，保温时间按厚度每 25 mm 30 min 计算，随炉冷却；
去应力退火：温度 $280\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，保温 $2\text{ h} \sim 4\text{ h}$ ，空冷。

6.6.2 气氛控制

退火过程应采用惰性气体或还原性气体保护，避免表面氧化及增氧。

6.7 机械加工

6.7.1 加工余量

锻件应留有足够的机加工余量，单边加工余量不小于 5 mm 。

6.7.2 加工过程

应采用合适的切削参数，避免加工应力过大导致变形。精密加工前应进行去应力处理。

6.8 洁净处理

成品件应进行严格的清洗与干燥处理，采用超声波清洗结合高纯氮气吹干工艺，最终清洗应在洁净环境中进行。

7 试验方法

7.1 化学成分分析

化学成分分析按 GB/T 5121或YS/T 482的规定执行，氧含量测定按YS/T 335的规定执行。

7.2 力学性能试验

拉伸试验按 GB/T 228.1 的规定执行，硬度试验按GB/T 231.1的规定执行。

7.3 导电率测试

导电率测试按 GB/T 32791的规定执行，测试环境温度为20℃±5℃。

7.4 氢脆试验

氢脆试验测试按GB/T 23606的规则执行。

7.5 尺寸与表面质量检验

尺寸采用卡尺、千分尺及三坐标测量仪检测，表面质量采用目视及表面粗糙度仪检测。

7.6 金相检验

晶粒度测定按 GB/T 6394 的规定执行，采用截线法测定平均晶粒度。

7.7 无损检测

超声波检测按NB/T 47013.3的规定执行，渗透检测按NB/T 47013.5的规定执行。

7.8 洁净度检测

表面油脂残留量采用重量法测定，微粒污染物采用激光粒子计数器测定。

8 检验规则

8.1 检验分类

检验分为出厂检验和型式检验。

8.2 出厂检验

8.2.1 每批产品应进行出厂检验，检验合格并附有产品合格证后方可出厂。

8.2.2 出厂检验项目见表 3。

8.2.3 出厂检验的抽样方案应满足以下要求：

- a) 化学成分：每炉取 1 个试样；
- b) 力学性能：每批取 2 件，每件取 1 个拉伸试样、1 个硬度试样；
- c) 无损检测：逐件进行；
- d) 尺寸与表面质量：逐件进行。

表3 出厂检验项目

序号	项目	技术要求	试验方法
1	化学成分	5.1	7.1
2	力学性能	5.2	7.2
3	尺寸偏差	5.5.1	7.5
4	表面质量	5.5.2	7.5

5	超声波检测	5.6.1	7.6
6	渗透检测	5.6.2	7.6

8.3 型式检验

8.3.1 有下列情况之一时，应进行型式检验：

- a) 新产品定型鉴定时；
- b) 产品设计、工艺、材料有重大改变，可能影响产品性能时；
- c) 停产一年以上恢复生产时；
- d) 正常生产每三年进行一次；
- e) 国家质量监督机构提出要求时。

8.3.2 型式检验项目包括本文件第 5 章的全部要求。

8.3.3 型式检验的样品应从出厂检验合格的产品中随机抽取，抽样数量不少于 3 台（套）。

8.3.4 型式检验中如有一项不合格，应加倍抽样对不合格项目进行复验；复验仍不合格，则该批产品判为不合格。。

8.4 组批

同一牌号、同一熔炼炉号、同一工艺制度、同一规格的产品为一批，每批重量不大于5000kg。

9 标志、包装、运输和贮存

9.1 标志

每件产品应在显著位置做出清晰、牢固的标志，内容包括：

- a) 产品名称、牌号（级别）、规格；
- b) 批号（熔炼炉号）、生产日期；
- c) 供方名称或商标；
- d) 质量检验合格标识。

9.2 包装

9.2.1 一般要求

产品应采用防潮、防锈包装，避免运输过程中磕碰损伤。

9.2.2 洁净件包装

核级洁净成品件应采用真空包装或充氮包装，内包装使用洁净聚乙烯膜，外包装使用木箱或纸箱。

9.3 运输

运输过程中应避免雨淋、受潮及剧烈碰撞，装卸时应轻吊轻放。

9.4 贮存

产品应贮存在干燥、通风、无腐蚀性气体的库房内，远离酸、碱等腐蚀性介质。