

# T/CWDPA

团 体 标 准

T/CWDPA XXX—2026

## 钒基固溶体储氢合金技术要求

Technical requirements for vanadium-based solid solution hydrogen storage alloys

2026 – XX – XX 发布

2026 – XX – XX 实施

中国西部开发促进会 发 布



目次

前言 ..... II

1 范围 ..... 1

2 规范性引用文件 ..... 1

3 术语和定义 ..... 1

4 缩略语 ..... 1

5 基本要求 ..... 1

6 原材料要求 ..... 1

    6.1 金属原料 ..... 1

    6.2 辅助材料 ..... 2

    6.3 原料验收 ..... 2

7 制备工艺 ..... 2

    7.1 工艺流程 ..... 2

    7.2 原料预处理 ..... 2

    7.3 真空系统 ..... 2

    7.4 熔炼工艺（真空感应熔炼） ..... 2

    7.5 真空电弧熔炼（VAR） ..... 2

    7.6 铸锭质量要求 ..... 2

8 后处理工艺 ..... 2

    8.1 热处理均匀化 ..... 2

    8.2 破碎与制粉 ..... 3

    8.3 表面改性（按需） ..... 3

    8.4 活化预处理（按需） ..... 3

9 安全要求 ..... 3

    9.1 关键控制点 ..... 3

    9.2 过程检测 ..... 3

    9.3 合格判定 ..... 3

10 安全与环保 ..... 3

    10.1 安全 ..... 3

    10.2 环保 ..... 4

## 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：。

# 钒基固溶体储氢合金制备工艺技术规范

## 1 范围

本文件规定了钒基固溶体储氢合金制备工艺的缩略语、基本要求、原材料要求、制备工艺、后处理工艺、安全要求、安全与环保等内容。

本文件适用于钒基固溶体储氢合金制备工艺。

## 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 3836（所有部分） 爆炸性环境  
GB 8978 污水综合排放标准  
GB 15577 粉尘防爆安全规程  
GB 16297 大气污染物综合排放标准  
GB 17919 可燃性粉尘除尘系统防爆安全规范  
GB 39176 稀土产品的包装、标志、运输和贮存  
GB 46770 可燃性粉尘隔爆安全规范

## 3 术语和定义

本文件没有需要界定的术语和定义。

## 4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

BCC：体心立方晶体结构（Body-Centered Cubic）

## 5 基本要求

- 制备工艺应保证合金成分为均匀单相 BCC 固溶体，无有害夹杂、无明显偏析、无宏观裂纹气孔。
- 生产过程应稳定可控、全程可追溯，工艺关键参数（如温度、压力、保温时间、真空度等）原始记录保存期限不少于 2 年。
- 生产设备应具备真空系统、测温系统、气氛控制系统，并定期校准。
- 生产车间环境应清洁、干燥、通风良好，空气中无悬浮粉尘、无腐蚀性气体。

## 6 原材料要求

### 6.1 金属原料

- 纯度：钒（V） $\geq 99.5$  wt. %，氧 $\leq 0.10$  wt. %，氮 $\leq 0.05$  wt. %，碳 $\leq 0.05$  wt. %。
- 纯度：钛（Ti）、铬（Cr）、锰（Mn）、铁（Fe）、镍（Ni）、锆（Zr）、钼（Mo） $\geq 99.0$  wt. %。
- 原料表面无氧化、无油污、无涂层、无吸附水分。

## 6.2 辅助材料

6.2.1 熔炼坩埚：钒基储氢合金熔炼温度 2000 ℃ 以上，宜采用氧化锆、氧化钇稳定氧化锆、氮化硼、水冷铜坩埚等耐高温材质；材质纯净、耐超高温、无杂质污染、无粉化开裂、不与合金熔体发生反应。

6.2.2 保护气体：氩气纯度 $\geq 99.999\%$ ，露点 $\leq -60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

6.2.3 真空用油、脱模剂：不引入碳、氧、氮污染。

## 6.3 原料验收

每批原料应有质量证明书，并按批次抽检成分与杂质。

## 7 制备工艺

### 7.1 工艺流程

原料预处理→配料→装料→抽真空→熔炼→精炼→浇铸→冷却→铸锭检验。

### 7.2 原料预处理

7.2.1 原料用酒精/丙酮清洗，烘干去除水分。

7.2.2 按设计成分精确配料，称量精度 $\pm 0.1\text{ g}$ 。

7.2.3 易挥发元素（如 Mn）最后加入，减少烧损。

### 7.3 真空系统

7.3.1 熔炼前真空度 $\leq 5 \times 10^{-3}\text{ Pa}$ 。

7.3.2 漏气率 $\leq 1 \times 10^{-2}\text{ Pa} \cdot \text{L/s}$ 。

### 7.4 熔炼工艺（真空感应熔炼）

7.4.1 预热脱气阶段：200 ℃~300 ℃，保温 10 min，完成原料及炉内脱气。

7.4.2 熔化阶段：升温至 1900 ℃~2100 ℃，直至炉料完全熔融。

7.4.3 精炼均匀化阶段：控温 1950 ℃~2050 ℃，保温 10 min~20 min。

7.4.4 浇铸温度控制在 1850 ℃~1950 ℃，单次浇铸时间 $\leq 30\text{ s}$ 。

### 7.5 真空电弧熔炼（VAR）

7.5.1 熔炼前炉内极限真空度 $\leq 1 \times 10^{-3}\text{ Pa}$ 。

7.5.2 熔炼电参数：电流宜 300 A~800 A，电压宜 20 V~40 V。

7.5.3 采用起弧、稳弧、熔透分段控制，物料应完全熔融，无未熔块、无偏析夹杂。

7.5.4 反复熔炼 2 次~4 次，每次熔炼后翻面倒装重熔，合金成分应均匀、BCC 相结构应稳定一致。

7.5.5 熔炼完成后随炉真空缓冷，铸锭不应产生裂纹、内应力及氧化。

### 7.6 铸锭质量要求

7.6.1 无裂纹、无缩孔、无夹渣、无气孔。

7.6.2 成分偏析 $\leq \pm 0.5\text{ wt. \%}$ 。

7.6.3 外观呈银灰色金属光泽。

## 8 后处理工艺

### 8.1 热处理均匀化

8.1.1 目的：消除成分偏析、稳定 BCC 相结构。

8.1.2 工艺：1200~1300 ℃，保温 10~24 h，氩气保护或真空。

8.1.3 冷却：随炉冷却或氩气淬冷。

## 8.2 破碎与制粉

8.2.1 机械破碎：铸锭→粗碎→中碎→细碎。

8.2.2 研磨筛分：将合金粉先后过 0.6 mm（28 目）和 0.075mm（200 目）试验筛，取适量 0.075 mm（200 目）筛上的合金粉备用。

8.2.3 全程氩气保护，防止氧化。

8.2.4 制备后 24 h 内封装或进入测试。

## 8.3 表面改性（按需）

8.3.1 可采用镀镍、包覆、微氧化等方法改善动力学。

8.3.2 改性后不降低储氢容量与循环稳定性。

## 8.4 活化预处理（按需）

8.4.1 真空： $\leq 1 \times 10^{-3}$  MPa。

8.4.2 温度：300~400 °C，保温 2~4 h。

8.4.3 冷却至室温，完成活化。

# 9 安全要求

## 9.1 关键控制点

9.1.1 真空度、熔炼温度、保温时间、浇铸温度。

9.1.2 热处理温度与时间。

9.1.3 粉末粒径、氧含量、氮含量。

## 9.2 过程检测

9.2.1 每炉取 1 个试样测化学成分。

9.2.2 每批次检测储氢性能、相结构、硬度。

9.2.3 氧 $\leq 0.10$  wt. %，氮 $\leq 0.05$  wt. %，碳 $\leq 0.05$  wt. %。

## 9.3 合格判定

成分、外观、相结构、储氢性能符合本文件要求为合格；否则，不合格，不合格产品应设置隔离标识。

# 10 安全与环保

## 10.1 安全

10.1.1 设备可靠接地，防静电、防电弧。

10.1.2 配备氢气泄漏检测仪、灭火器、防爆装置。

10.1.3 高温区防护，防止烫伤与触电。

10.1.4 粉尘作业密闭收尘，佩戴防护用品。

10.1.5 符合 GB 39176 储氢安全要求。

10.1.6 防尘防爆等级宜满足以下要求：

a) 同时存在氢气和金属粉尘的复合危险区域：同时满足气体防爆（II CT4）+粉尘防爆（Ex tD A21 IP65）的要求；

b) 熔炼/活化区（仅氢气风险）：执行 GB 50058、GB/T 3836、GB 39176 的要求；

T/CWDPA XXX—2026

c) 制粉/筛分/除尘区（仅金属粉尘风险）：执行 GB 15577、GB 17919、GB 46770 的要求。

## 10.2 环保

10.2.1 废水、废气、粉尘排放符合 GB 8978、GB 16297。

10.2.2 金属废料分类回收，不应随意丢弃。

---