



团 体 标 准

T/CEATEC XXX—XXXX

核工业用高纯金属钆技术规范

Technical specification for high-purity hafnium metal for the nuclear industry

(征求意见稿)

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

中国欧洲经济技术合作协会 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 1

 4.1 分类 1

5 技术要求 2

 5.1 化学成分 2

 5.2 组织结构 2

 5.3 力学性能 2

 5.4 物理性能 2

 5.5 耐蚀与辐照性能 3

 5.6 尺寸、外形与表面质量 3

6 试验方法 3

 6.1 化学成分 3

 6.2 组织结构 3

 6.3 力学性能 3

 6.4 物理性能 3

 6.5 耐蚀与辐照性能 3

 6.6 尺寸、外形与表面质量 4

7 检验规则 4

 7.1 组批 4

 7.2 取样 4

 7.3 检验项目与判定 4

8 标志、包装、运输、贮存 4

 8.1 标志 4

 每件产品应清晰标注以下内容： 4

 8.2 包装 4

8.3 运输	4
8.4 贮存	4
9 质量证明书	5

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。

本文件由提出。

本文件由中国欧洲经济技术合作协会归口。

本文件起草单位：。

本文件主要起草人：。

核工业用高纯金属钆技术规范

1 范围

本文件规定了核工业用高纯金属钆的分类、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输和贮存。
本文件适用于核反应堆控制棒、中子吸收体、堆内结构件及其他核工业用高纯金属钆材料。

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 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法
GB/T 228.2 金属材料 拉伸试验 第2部分：高温试验方法
GB/T 231.1 金属材料 布氏硬度试验 第1部分： 试验方法
GB/T 1423 贵金属及其合金密度的测试方法
GB/T 4164 金属粉末中可被氢还原氧含量的测定
GB/T 11261 钢铁 氧含量的测定 脉冲加热惰气熔融-红外线吸收法
GB/T 38524 钆棒和钆丝
YS/T 1239 高纯钆
ASTM E1268 Standard Practice for Assessing the Degree of Banding or Orientation of Microstructures
ASTM E112 Standard Test Methods for Determining Average Grain Size

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

核级高纯钆 nuclear-grade high-purity hafnium

用于核反应堆控制棒、中子吸收体等关键核安全相关部件，对热中子吸收截面较大的杂质元素（如B、Cd、Gd等）及气体杂质（O、N、H）实施严格限量控制的钆材料。

4 分类

4.1 分类

核工业用高纯金属钆按使用场景分为三个级别，见表1。

表1 分类

级别	代号	典型应用场景
核级高纯	Hf-N1	压水堆、快堆控制棒驱动机构用钆材
核级工业纯	Hf-N2	堆内支撑结构、耐腐蚀构件用钆材
工业级	Hf-C	非核关键部件、钆材加工母材

5 技术要求

5.1 化学成分

核级高纯铪的化学成分应符合表2的规定。

表 2 化学成分

元素	Hf-N1	Hf-N2
(Hf+Zr) $\geq$	99.95	99.90
Zr $\leq$	0.2	0.5
C $\leq$	0.005	0.010
H $\leq$	0.002	0.005
O $\leq$	0.010	0.010
N $\leq$	0.005	0.010
Fe $\leq$	0.02	0.05
Al $\leq$	0.005	0.015
B $\leq$	0.0005	0.001
Cd $\leq$	0.0001	0.0005
U $\leq$	0.0005	0.001
Th $\leq$	0.0005	0.001
其他单一杂质 $\leq$	0.005	0.010
杂质总量 $\leq$	0.03	0.08

5.2 组织结构

- 5.2.1 铸锭应无缩孔、疏松、夹杂物聚集及明显偏析。
- 5.2.2 加工材应进行再结晶退火，组织应均匀，无混晶。
- 5.2.3 加工材晶粒度级别不应低于 8 级。
- 5.2.4 棒材、板材显微组织中不应有连续网状第二相析出。

5.3 力学性能

- 5.3.1 室温力学性能（退火态）应符合表 3 的规定。

表 3 室温力学性能

性能指标	Hf-N1	Hf-N2
抗拉强度 R_m /MPa	390~450	380~440
屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa	170~200	160~190
断后伸长率 $A/\%$ $\geq$	25	20
布氏硬度 HBW	150~210	140~200

- 5.3.2 高温力学性能（350℃）应符合表 4 的规定，供堆内工况设计参考。

表 4 高温力学性能

性能指标	Hf-N1	Hf-N2
抗拉强度 R_m /MPa $\geq$	270	260
屈服强度 $R_{p0.2}$ /MPa $\geq$	110	100
断后伸长率 $A/\%$ $\geq$	35	30

5.4 物理性能

核级高纯铪的物理性能应符合表5的规定。

表 5 物理性能

性能项目	指标
密度/(g/cm ³)	13.31±0.05
熔点/℃	≈2227
热导率/[W/(m·K)] ≥	23
热膨胀系数/(×10 ⁻⁶ /K)	5.5~6.5 (20~400℃)
热中子吸收截面/barn	≥100

5.5 耐蚀与辐照性能

- 5.5.1 Hf-N1 级钎材在模拟压水堆一回路水质中的腐蚀增重应≤10 mg/dm²。
- 5.5.2 Hf-N1 级钎材经快中子辐照（注量≥1×10²¹ n/cm²，温度 300~350℃）后，应满足：
 - 辐照后室温延伸率下降率≤30%；
 - 体积变化率≤2%。

5.6 尺寸、外形与表面质量

- 5.6.1 尺寸公差应符合 GB/T 38524 的规定。
- 5.6.2 棒材直线度应≤1 mm/m，板材平面度应≤2 mm/m。
- 5.6.3 表面质量应满足：
 - 不应有裂纹、折叠、起皮、气泡及深度划伤；
 - 控制棒用棒材表面粗糙度 Ra 应≤3.2 μm，结构件用材应≤6.3 μm；
 - 酸洗表面应呈均匀的银灰色，无局部过腐蚀或氧化皮残留。

6 试验方法

6.1 化学成分

- 6.1.1 主量及金属杂质元素按 YS/T 1239 规定的方法进行检验。
- 6.1.2 气体杂质（C、H、O、N）按 GB/T 11261、GB/T 4164 规定的方法进行检验。
- 6.1.3 硼、镉等中子吸收截面敏感非金属/痕量杂质元素，可采用电感耦合等离子体质谱法（ICP-MS）进行测定；铀、钍放射性杂质采用 ICP-MS 或激光荧光法测定。
- 6.1.4 仲裁分析按供需双方协商确定的方法进行。

6.2 组织结构

- 6.2.1 金相组织按 ASTM E1268 规定的方法进行检验。
- 6.2.2 晶粒度按 ASTM E112 规定的方法进行评定。
- 6.2.3 夹杂物按供需双方协议的方法进行检验。

6.3 力学性能

- 6.3.1 室温拉伸试验按 GB/T 228.1 的规定执行。
- 6.3.2 高温拉伸试验（350℃）按 GB/T 228.2 的规定执行。
- 6.3.3 布氏硬度试验按 GB/T 231.1 的规定执行。

6.4 物理性能

- 6.4.1 密度按 GB/T 1423 规定的方法测定。
- 6.4.2 热导率按激光闪射法测定。
- 6.4.3 热膨胀系数按热膨胀仪法测定。

6.5 耐蚀与辐照性能

- 6.5.1 耐蚀性能按供需双方确认的模拟堆内水质试验方法进行。
- 6.5.2 辐照性能按双方约定的辐照试验大纲进行。

6.6 尺寸、外形与表面质量

- 6.6.1 尺寸用精度不低于 0.02 mm 的量具测量。
- 6.6.2 表面质量用目视或 5 倍放大镜检验。
- 6.6.3 表面粗糙度按轮廓法触针式表面粗糙度测量仪测定。

7 检验规则

7.1 组批

同一熔炼炉号、同一热处理制度、同一规格的产品组为一批，每批重量不超过 500 kg。

7.2 取样

- 7.2.1 化学成分：每批任取 1 个试样，从铸锭头部或加工材端部截取。
- 7.2.2 力学性能：每批任取 2 件产品，每件取 1 个拉伸试样，取样方向与加工方向一致。
- 7.2.3 金相组织：每批任取 1 件产品，取横截面试样。
- 7.2.4 尺寸与表面质量：逐件检验。

7.3 检验项目与判定

- 7.3.1 出厂检验项目：化学成分、尺寸、表面质量、室温力学性能。
- 7.3.2 型式检验项目：包括本文件第 5 章的全部要求，有下列情况之一时进行：
 - 新产品定型或老产品转产时；
 - 原材料、工艺有重大变更时；
 - 停产 6 个月以上恢复生产时；
 - 国家监管部门提出要求时。
- 7.3.3 复验与判定：
 - 化学成分不合格时，判该批不合格；
 - 力学性能不合格时，应加倍取样复验，复验仍不合格则判该批不合格；
 - 尺寸或表面质量不合格时，可对该批逐件检验，合格者准予出厂。

8 标志、包装、运输、贮存

8.1 标志

每件产品应清晰标注以下内容：

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

8.2 包装

包装应满足：

- 产品应采用真空密封包装，内衬防静电聚乙烯袋，充入纯度 $\geq 99.99\%$ 的氩气保护；
- 外包装采用防潮木箱，箱内填充缓冲材料，防止碰撞变形；
- 包装外应标注“防潮”“防撞击”“核级材料”等警示标识。

8.3 运输

运输过程中应避免雨淋、受潮、剧烈震动及与腐蚀性物质混装。

8.4 贮存

应存放于干燥、通风、无腐蚀性气体的库房内，贮存期超过 12 个月需重新检验合格后方可使用。

9 质量证明书

- 供方应随每批产品提供质量证明书，内容包括：
- 本文件编号、产品名称、牌号（级别）、规格、批号；
 - 生产日期、出厂日期、数量/重量；
 - 化学成分、力学性能、检验结果及检验员签章；
 - 供方名称、地址、联系方式。
-