

团 体 标 准

T/CNS 146—2025

Cr 涂层锆合金包壳腐蚀试验方法

Test method for corrosion of zirconium alloy cladding with Cr coating

2025-06-11 发布

2025-08-01 实施

中 国 核 学 会 发 布
中 国 标 准 出 版 社 出 版

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 原理	1
5 试验条件	1
6 试剂	2
7 仪器设备	2
8 试样	2
9 试验步骤	3
10 数据处理	4
11 试验报告	5
参考文献	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有可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国核学会提出。

本文件由核工业标准化研究所归口。

本文件起草单位：中国核动力研究设计院、中广核研究院有限公司、上海核工程研究设计院股份有限公司、重庆大学。

本文件主要起草人：韦天国、张瑞谦、陈寰、严俊、何梁、王昱、杨红艳、葛洪恩、薛佳祥、伍晓勇、廖业宏、徐祺、王浩、赵琬倩、崔严光、高士鑫、尹春雨、彭振驯、李思功、尹春雨、黄莫一杰、文青龙、王晨、曾奇锋、周欣。

Cr 涂层锆合金包壳腐蚀试验方法

1 范围

本文件描述了 Cr 涂层锆合金包壳腐蚀试验方法的试验原理、试验设备、试样、试验步骤和试验报告内容。

本文件适用于 Cr 涂层锆合金包壳管材、板材以及相关型材的耐腐蚀性能评价,也适用于产品的检验和验收。

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 13747.21 锆及锆合金化学分析方法 第21部分:氢量的测定 惰气熔融红外吸收法/热导法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

Cr 涂层锆合金包壳 zirconium alloy cladding with Cr coating

在锆合金包壳外表面采用物理气相沉积法制备 Cr 涂层的复合包壳管材。

3.2

腐蚀标样 standard specimens of corrosion test

工艺确定,性能经过验证的锆合金试样,用于监控腐蚀试验的有效性,一般采用 Zr-4 合金作为标样。

3.3

对比试样 contrast specimens

从涂层制备前的原材料锆合金包壳上取样。

4 原理

将 Cr 涂层锆合金包壳放置于高压釜中进行规定温度、压力及时间的腐蚀试验,根据试样的单位面积腐蚀增重、外观色泽、涂层状态等随时间变化的情况来评定耐腐蚀性能及涂层稳定性。

5 试验条件

5.1 一般要求

腐蚀试验中,温度和压力需在控制范围内,腐蚀时间可不连续累加。允许温度和压力短暂超出控制范围(通常出现在升温过程中),只要超出控制范围的时间不超过试验总时间的 10% 且腐蚀标样的腐蚀

增重在正常范围内,则试验结果有效。

5.2 短期腐蚀试验

短期腐蚀试验采用高温蒸汽为腐蚀介质,试验条件:温度为 $400\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$,压力为 $10.3\text{ MPa}\pm 0.7\text{ MPa}$,时间为 72_{-0}^{+8} h 。

5.3 长期腐蚀试验

长期腐蚀试验主要采用高温高压水或高温蒸汽为腐蚀介质。其中,高温高压水温度为 $360\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$,压力为 $18.6\text{ MPa}\pm 1.4\text{ MPa}$;高温蒸汽温度为 $400\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$,压力为 $10.3\text{ MPa}\pm 0.7\text{ MPa}$ 。腐蚀时间根据技术条件或合同具体要求执行。

5.4 其他条件腐蚀试验

其他温度压力条件下的腐蚀试验按照相关文件具体要求执行。对于 $360\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下(含)的腐蚀试验,压力采用对应温度下的饱和蒸汽压,温度偏差 $\leq \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$,压力偏差 $\leq 1.4\text{ MPa}$ 。

6 试剂

6.1 A级水。室温下电阻率不小于 $1.0\text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$,pH为5.0~8.0去离子水。

6.2 B级水。室温下电阻率不小于 $0.5\text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$ 的去离子水,可用A级水代替。

6.3 表面清洁剂。酒精或丙酮等有机溶剂。

6.4 腐蚀试剂。硼酸、氢氧化锂、氨水、氢氧化钾等化学试剂。

7 仪器设备

7.1 电子天平。精度至少为 0.1 mg 。

7.2 游标卡尺。精度至少为 0.01 mm 。

7.3 高压釜试验装置。由300系列不锈钢或镍基合金如Inconel 625制成,符合国家压力容器的相关规定。高压釜上配备温度和压力的测量、控制系统,防爆安全阀和高压排气阀。温度和压力的测量应满足计量器具使用规范要求。试样架和其他备件应采用300系列或400系列不锈钢或镍基合金如Inconel 600、Inconel 625或Inconel 690等。

注:上述要求同样适用动态高压釜装置。

8 试样

8.1 试样准备

8.1.1 试样的取样加工、表面处理等应符合相关技术条件要求。

8.1.2 试样的数量和尺寸应满足技术条件中相关规定,若无明确要求,单次腐蚀试验平行试样数量不应低于3个,单个试样的总表面积宜不低于 10 cm^2 。

8.1.3 每个腐蚀试样应有唯一性标识。

8.1.4 除了Cr涂层锆合金包壳试样外,宜以同种材料的锆合金基体作为对比试样。

8.2 试样清洁及烘干

采用分析纯丙酮或酒精等有机溶剂对试样进行清洗,以去除表面的杂物、油污等。再用去离子水进行清洗,推荐采用 50℃ 以上的去离子水超声清洗 5 min 以上。清洗后采用烘干机对试样进行烘干,温度不应超过 120℃。

清洁及烘干后试样不允许用手直接触摸,需采用干净的镊子或佩戴无绒手套拿放试样。与试样接触的测量器具必须进行清洗,存放时应保证试样处于良好的清洁状态。

8.3 试样检查

检查清洁后的 Cr 涂层表面改性钎合金包壳试样,应无涂层鼓泡、涂层开裂现象,检查钎合金基体部位及对比样有无异物夹杂等。

8.4 尺寸测量及称重

采用游标卡尺测量试样的尺寸,精确到 0.01 mm;面积单位用 dm^2 计量,计算后修约到 $1 \times 10^{-4} \text{ dm}^2$ 。
采用电子天平称重,精确至 0.1 mg。

9 试验步骤

9.1 高压釜的清洗

9.1.1 高压釜在试验前用 A 或 B 级水清洗至少 3 次,保证釜内和密封面、试样挂具及热电偶通道管外表面无污染。

9.1.2 新的或经检修的高压釜在做正式试验之前,首先应测定均温区的轴向温度偏差,当加热体进行调整或更新后必须进行均温区温度偏差测试,其温度偏差范围应在测试温度允许偏差范围($\pm 3^\circ\text{C}$)之内。

9.1.3 维修更换过的高压釜体部件和未使用过的挂具在做正式试验之前,需在相同试验条件下进行至少一次预氧化空白试验,以去除高压釜体部件和未使用过的试样架产生的氧化物和夹杂等异物,保证腐蚀试验结果的可靠性。

9.2 水化学控制

腐蚀试验过程中可根据技术条件要求或科研需求,采用 A 级水与 H_3BO_3 、 LiOH 或氨水等化学试剂配制成所需的腐蚀溶液。对于需要对氧含量或氢含量进行控制的动态高压釜腐蚀,通过水化学控制回路对氧含量或氢含量进行控制。

9.3 腐蚀标样使用

对于用于产品性能检验的短期腐蚀试验,应采用钎合金腐蚀标样验证试验有效性,腐蚀标样的使用要求应满足相关规定,如无规定,腐蚀标样的使用宜参照 EJ/T 1028 中关于控制样(control coupons)的相关规定执行。

9.4 装釜

将清洗后的试样悬挂在试样架或专用挂具上,用 A 级水冲洗试样和试样架或挂具后,放入高压釜内,试样应处于高压釜均温区范围内,避免试样与高压釜壁接触,并避免试样之间相互接触。

9.5 排气

9.5.1 高温高压水腐蚀

根据 360℃、18.6 MPa 水的密度计算腐蚀试验过程中需要添加的 A 级水量 V, 并多添加一部分水, 多添加的水量应不低于 10%V。高压釜密封后开始加热, 当温度达到 95℃后打开排气阀排放空气, 待无气泡冒出后关闭排气阀, 待温度达到 140℃后再打开排气阀, 收集多添加的水, 关闭排气阀, 直到试验温度和压力达到要求。温度低于 360℃的高温高压水腐蚀试验的排气和排水方法可参照 360℃、18.6 MPa 条件下的执行。

9.5.2 高温蒸汽腐蚀

根据 400℃、10.3 MPa 下水的密度计算腐蚀试验过程中需要添加的 A 级水量 V, 并多添加一部分水, 多添加的水量应不低于 150 mL。高压釜密封后开始加热, 当温度达到 110℃后打开排气阀, 同时排气和收集多添加的水, 关闭放气阀门, 直到试验温度和压力达到要求。操作时应注意控制排气速率, 保证在温度达到 150℃前排气时间不低于 10 min。

9.6 开釜取样

9.6.1 腐蚀试验达到预定时间后切断高压釜加热电源, 使高压釜自然冷却到 60℃以下后打开釜盖, 从试样架上取出试样。若为动态高压釜腐蚀, 温度降低到 60℃以下后通过背压阀卸压, 关闭给水高压泵和水化学控制回路与高压釜间的连接阀, 开釜取样。

9.6.2 取样过程中佩戴干净的手套或采用清洁后的镊子取样, 不应造成试样污染。

9.7 检验及测量

9.7.1 采用 A 或 B 级水冲洗试样, 通过热风机干燥或自然风干, 干燥温度不超过 120℃, 冷却到室温后进行检验及测量。

9.7.2 观察并记录腐蚀后试样的形貌及表面色泽。

9.7.3 观察涂层有无鼓泡、开裂、剥落等现象并进行记录。

9.7.4 测量腐蚀后试样的重量, 必要时进行尺寸测量。

9.7.5 对腐蚀后试样的氢含量进行测量, 氢含量的测定方法按照 GB/T 13747.21 执行。

9.8 故障处理

在腐蚀试验期间如因中途停电和设备故障而中止试验, 设备恢复正常后可继续进行试验, 腐蚀时间可相加累计。

10 数据处理

10.1 总体腐蚀增重计算

根据 7.2.1 和 7.2.2 测量得到的试样或标样的重量及尺寸, 采用公式(1)、公式(2)、公式(3)和公式(4)分别计算试样的内表面积、外表面积、端面表面积以及原始总表面积:

$$\begin{aligned} S_i &= \pi h D_i && \dots\dots\dots (1) \\ S_o &= \pi h D_o && \dots\dots\dots (2) \\ S_e &= \pi (D_o^2 - D_i^2) / 4 && \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

$$S=S_i+S_o+S_e \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

S_o ——试样的外表面面积,单位为平方分米(dm²);

S_i ——试样的内表面面积,单位为平方分米(dm²);

S_e ——试样的端面面积,单位为平方分米(dm²);

S ——试样的原始表面积,单位为平方分米(dm²);

D_i ——腐蚀前试样的内径,单位为分米(dm);

D_o ——腐蚀前试样的外径,单位为分米(dm);

h ——腐蚀前试样的长度,单位为分米(dm)。

采用公式(5)计算试样的增重:

$$\Delta W=(W_2-W_1)/S \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

ΔW ——试样或标样单位面积上的增重,单位为毫克每平方分米(mg/dm²);

W_2 ——腐蚀后试样或标样(W_{Zr2})的质量,单位为毫克(mg);

W_1 ——腐蚀前试样或标样(W_{Zr1})的质量,单位为毫克(mg)。

10.2 涂层腐蚀增重计算

对于只有外表面涂覆涂层的锆合金管材试样,为评估Cr涂层的腐蚀情况,可采用公式(6)计算Cr涂层对腐蚀增重的贡献:

$$\Delta W_{Cr}=[W_2-W_1-\Delta W_{Zr}(S_i+S_e)/S]/S \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

ΔW_{Zr} ——标样的单位面积腐蚀增重,单位为毫克每平方分米(mg/dm²),由公式(4)得出;

ΔW_{Cr} ——Cr涂层试样上涂层的单位面积腐蚀增重,单位为毫克每平方分米(mg/dm²)。

11 试验报告

试验报告应包含以下内容:

- a) 试验报告编号及名称;
- b) 试样信息:管材名称、牌号、标识、原始尺寸、管材状态、取样位置、表面处理方式等;
- c) 试验设备:高压釜型号和编号;
- d) 试验条件:温度、压力、水质和时间等;
- e) 测试结果:腐蚀增重、外观形貌等;
- f) 试验中发现的任何异常或其他有必要记录的信息;
- g) 试验日期。

参 考 文 献

- [1] GB/T 37623 金属和合金的腐蚀 核反应堆用锆合金水溶液腐蚀试验
 - [2] EJ/T 1028 锆及锆合金的高压釜腐蚀试验
-

中国核学会
团 体 标 准
Cr涂层锆合金包壳腐蚀试验方法
T/CNS 146—2025

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

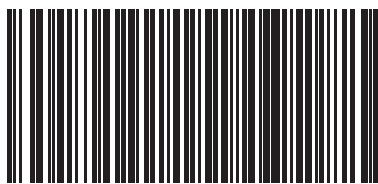
*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 13 千字
2025年7月第1版 2025年7月第1次印刷

*

书号:155066·5-15945 定价 31.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



T/CNS 146-2025