

团 体 标 准

T/CNS 147—2025

Cr 涂层锆合金包壳高温内压疲劳 试验方法

Test method for internal-pressure fatigue of zirconium alloy cladding with
Cr coating at high-temperature

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2

5 材料3

6 试验设备3

7 试样3

8 试验条件3

9 试验步骤3

10 断口检查.....5

11 试验数据处理.....5

12 试验报告.....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、重庆大学、国家电投集团科学技术研究院有限公司、深圳市万斯得自动化设备有限公司、上海核工程研究设计院股份有限公司。

本文件主要起草人：张瑞谦、钟运涛、何梁、李紫祎、伍晓勇、岳栋、郑罡、张华锋、刘洋、王昱、王占伟、薛佳祥、陈勇、王晓敏、文青龙、王浩、韦天国、黄莫一杰、彭振驯、廖业宏、徐祺、杜玉峰、毛清萍、张鑫涛、汪超翔、谢汉芳。

Cr 涂层锆合金包壳高温内压疲劳 试验方法

1 范围

本文件描述了 Cr 涂层锆合金包壳高温内压疲劳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。

本文件适用于金属薄壁管的高温内压疲劳试验。

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 228.2—2015 金属材料 拉伸试验 第2部分:高温试验方法

YS/T 1474 锆合金管材高温内压爆破试验方法

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

有效长度 effective length

L_0

室温下施力前,试样两个密封端面之间的长度。

3.3

原始参考外径 original reference outer diameter

D_0

室温下施力前,试样有效长度范围内的外径测量值。

3.4

原始参考壁厚 original reference wall thickness

δ_0

室温下施力前,试样的壁厚测量值。

3.5

原始参考管壁中径 original reference tube wall centre diameter

D_c

室温下施力前,管材侧壁中心线的直径。

3.6

形变参考外径 **deformation reference diameter**

D_d

试验期间任一时刻,试样有效长度范围内的外径测量值。

3.7

起始参考外径 **test start reference diameter**

D_s

试验升温加载到目标测试值后,试验计时前,试样有效长度范围内的外径测量值。

3.8

试验压强 **test pressure**

P

试验期间,施加于试样内的流体压强。

3.9

试验压强峰值 **peak test pressure**

$P_{\max}$

一次循环中,施加于试样内的最大流体压强。

3.10

试验压强谷值 **valley test pressure**

$P_{\min}$

一次循环中,施加于试样内的最小流体压强。

3.11

参考应力 **reference stress**

σ

在试样内部单位截面内,施加在管材内部的试验力与试样管壁横截面积之比。

注:规定单位横截面所对应的直径为原始参考管壁中径。

3.12

频率 **frequency**

f

试验期间,单位时间内完成循环的次数。

3.13

失效循环数 **number of failure cycles**

N_f

试验期间,试样失效断裂时的加载循环次数。

3.14

外径延伸 **diameter elongation**

ΔD

试验期间任意时刻,形变参考直径 D_d 相对于试验起始参考外径 D_s 的增量。

3.15

外径疲劳延伸率 **diameter percentage fatigue elongation**

$\Delta \epsilon$

试验期间,在试样长度方向中心位置,外径延伸 ΔD 与试验起始参考外径 D_s 之比的百分率。

4 原理

将密封好的试样一端与内压加载系统连接,在升温至试验温度后,对管材施加内压循环载荷,持续一

定循环周期或直至管材破裂,测定管材循环数等力学性能。

5 材料

内压介质:液体(硅油)或惰性气体,若测试温度 $\geq 400\text{ }^{\circ}\text{C}$,则宜采用惰性气体。

高压密封卡套:宜采用硬密封方式,密封压强应大于试验压强 P (密封压强宜大于 50 MPa)。

6 试验设备

6.1 载荷系统

6.1.1 试验机应能使试样施加至试验压强 P ,并且压强波动宜不大于 0.5 MPa 。

6.1.2 压强测量系统的准确度应为 0.5 级或优于 0.5 级。

6.1.3 加载频率范围宜为 $0.1\text{ Hz}\sim 10\text{ Hz}$ 。

6.2 形变测量系统

采用光学或激光测量系统,测量精度为 0.005 mm 或优于 0.005 mm 。

若仅测量试样的失效循环数,可不涉及本条外径形变测量系统。

6.3 加热系统

6.3.1 加热系统应能使试样加热至试验温度 T 。

6.3.2 试样有效长度 L_0 范围内表面上测量的温度为 T_1 ,该温度已进行系统误差修正,但未考虑温度测量系统的不确定度。

6.3.3 测量温度 T_1 和试验温度 T 的允许偏差及温度梯度应符合GB/T 228.2—2015中表2的规定。

6.4 真空系统

非室温下试样舱室能进行真空或惰性气体保护,真空保护时极限真空度宜优于 $5\times 10^{-3}\text{ Pa}$,工作真空度宜优于 $5\times 10^{-2}\text{ Pa}$ 。

7 试样

按照YS/T 1474试样规定进行试样准备。在试样有效长度 L_0 范围内,不少于3次测量试样的外径与壁厚,并以平均值计算原始参考外径 D_0 与原始参考壁厚 δ_0 。

8 试验条件

试验条件及参数依据需求确定。

9 试验步骤

9.1 密封性检测

使用金属密封卡套进行试样密封,随后将密封好的试样装于试验机上并施加检测载荷,检测载荷宜

为试验压强峰值 $P_{\max}$ 的 10%，通过压强值的稳定情况判定密封性，完毕后卸载。

9.2 加热

密封性检查完毕后，将试样舱抽真空或充惰性气体保护，若为真空状态，则真空度优于 10^{-2} Pa，升温至规定的试验温度范围。

9.3 施加载荷

9.3.1 参考应力与试验压强的计算

参考应力与试验压强按公式(1)计算。

$$P = \sigma \times 2\delta_0 / D_c \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

P —— 试验压强，单位为兆帕(MPa)，结果保留至 0.1 MPa；

σ —— 参考应力，单位为兆帕(MPa)，结果保留至 0.1 MPa；

δ_0 —— 原始参考壁厚，单位为毫米(mm)，结果保留至 0.005 mm；

D_c —— 原始参考管壁中径，单位为毫米(mm)，结果保留至 0.005 mm。

9.3.2 加载波形

除试验目的是测定波形的影响外，在整个试验过程中，载荷对时间波形应采用三角波。

9.3.3 载荷输入

升温至规定试验温度范围后，试样应至少保温 10 min，除非产品标准另有规定。按照规定的试验条件，输入试验压强峰值以及试验压强谷值，并输入循环频率和试验时间。

9.4 温度与外径的记录

9.4.1 当试验温度与压强达到规定范围，并保温不少于 10 min 后，外径形变测量系统应记录试验起始参考外径 D_s ，且开始记录试验时间。

9.4.2 试验过程中可持续测量试样形变参考外径 D_d ，直至试验结束。

9.4.3 在整个试验过程中应充分记录试样的温度，来证实满足试验条件。

9.4.4 在整个试验过程应连续记录或记录足够多的形变参考外径 D_d 数据来绘制形变参考外径-时间曲线。

9.4.5 当只测定失效循环数 N_f 时，可不用记录形变参考外径 D_d 。

9.5 有效性与试验中断

9.5.1 有效性

在满足温度、应力、载荷波形以及加载速率等试验条件要求下，疲劳试验后的管材或涂层断口若在夹持端或者近夹持端，则判定为试验无效。

9.5.2 试验中断

当试验不满足试验条件范围时，应中断试验并停止计时。

9.6 形变参考直径-时间曲线

依据所记录的形变参考直径和时间，绘制形变参考直径-时间曲线，示意图见图 1。

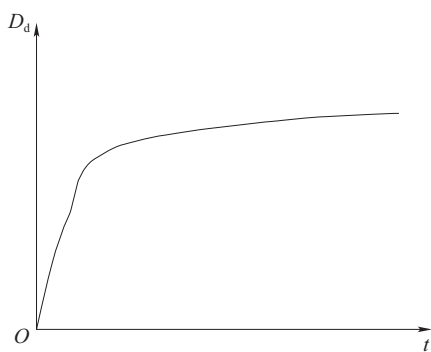


图1 形变参考直径-时间曲线示意图

10 断口检查

试验结束后,可采用目视或扫描电子显微镜进行断口以及涂层开裂情况观察。

11 试验数据处理

疲劳应变率计算按公式(2)进行。

$$\Delta\epsilon = \frac{D_d - D_s}{D_s} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$\Delta\epsilon$ ——疲劳应变率(%),结果保留至0.01%;

D_d ——试验在任一时刻的外径,单位为毫米(mm),结果保留至0.005 mm;

D_s ——试验升温加载后的外径,单位为毫米(mm),结果保留至0.005 mm。

12 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:试验设备型号和编号;
- d) 试验条件:试验温度、载荷等;
- e) 测试结果:应变率、频率、失效循环数、试样断口厚度等;
- 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。

中国核学会
团 体 标 准
**Cr涂层锆合金包壳高温内压疲劳
试验方法**

T/CNS 147—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

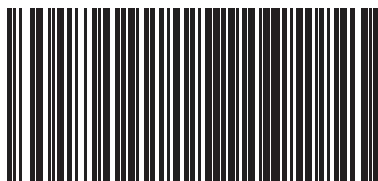
*

开本 880×1230 1/16 印张 0.75 字数 13 千字
2025年7月第1版 2025年7月第1次印刷

*

书号:155066·5-15942 定价 29.00 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 147-2025