YS

××××-××-××实施

××××-××-××发布

锆合金管材内压蠕变试验方法

Method for burst creep testing of zirconium alloy tubes

（征求意见稿）

YS/T XXX－XXXX

中华人民共和国有色金属行业标准

ICS 77.040.10

H 22

 DAITI

中华人民共和国工业和信息化部 发布

**前 言**

本标准是按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC 243）提出并归口。

本标准负责起草单位：西部新锆核材料科技有限公司、中国核动力研究设计院、苏州热工研究院有限公司、西安汉唐分析检测有限公司、深圳市万斯得自动化设备有限公司。

本标准主要起草人：

锆合金管材内压蠕变试验方法

1. 范围

本标准规定了锆合金管材内压蠕变试验方法。

本标准适用于锆合金管材内压蠕变试验。

1. 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 金属材料 拉伸试验 第2部分：高温试验方法

GB/T 2039 金属材料 单轴拉伸蠕变试验方法

GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

1. 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

有效长度 effective length

*L*0

样品两端装载密封卡套后，两个密封端面之间的距离，*L*0应不小于10*D*0。为避免样品因密封产生应力影响试验结果准确度，*L*0宜为不包含样品两端距离密封连接处各25mm的剩余长度。

原始参考外径 original reference diameter

*D*0

试验开始前在室温情况下，在有效长度范围内，测定的参考外径。

原始参考壁厚 original reference wall thickness

*δ*0

试验开始前在室温情况下，在样品两端，测定的参考壁厚。

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

*D*c

试验开始前在室温情况下，管材直径方向上两侧管壁中心点的间距。原始参考管壁中径*D*c是原始参考外径*D*0与原始参考壁厚*δ*0之差。

试验起始参考外径 test start reference diameter

*D*s

在规定的试验温度与试验压力，均达到规定值允许范围内，在有效长度范围内，开始记录试验时间时，测定的参考外径。

试验结束参考外径 test end reference diameter

*D*e

在规定的试验温度与试验压力，均达到规定值允许范围内，在有效长度范围内，到达规定试验时间时，测定的参考外径。

非弹性形变试验起始参考外径 inelastic deformation test start reference diameter

*D*si

在加载试验压力下，样品升温前，在有效长度上，测定的参考外径。

非弹性形变试验结束参考外径 inelastic deformation test end reference diameter

*D*ei

在试验结束后，样品恢复至室温，在有效长度上，测定的参考外径。

参考应力 reference stress

*σ*

在样品内部单位横截面内，施加在管材内部的试验力与样品管壁横截面积之比。规定单位横截面的周长为原始参考管壁中径的周长。

试验压力 test pressure

*P*

施加在管材样品内部以气体压强所表示的应力，计算方法为参考应力*σ*与原始参考壁厚（两侧管壁）2*δ*0的积，与原始参考管壁中径*D*c之比。

外径伸长 diameter elongation

Δ*D*

试验结束参考外径*D*e相对于试验起始参考外径*D*s的增量。

非弹性形变外径伸长 inelastic deformation diameter elongation

Δ*D*i

非弹性形变情况下，试验结束参考外径*D*ei相对于非弹性形变试验起始参考外径*D*si的增量。

外径蠕变伸长率 diameter percentage creep elongation

*A*fD

外径伸长Δ*D*与试验起始参考外径*D*s之比的百分率。

注1：关于外径伸长的术语，可用符号“ε”代替“*A*”。

注2：下标f为法文中蠕变的意思。

非弹性形变外径蠕变伸长率 inelastic deformation diameter percentage creep elongation

*A*fDi

非弹性形变外径伸长Δ*D*i与非弹性形变试验起始参考外径*D*si之比的百分率。

注1：关于外径伸长的术语，可用符号“ε”代替“*A*”。

注2：下标f为法文中蠕变的意思。

1. 原理

将密封好的样品装于试验装置中，一端宜为自由端，另一端与闭环控制的增压系统连接，排空管材内部空气，试验环境宜为真空或惰性气氛保护，使用氩气（或氦气）以气压方式对管材内部预先施加小负荷的预载压力，检查气密性等，完毕后升温至试验温度，继续施加气压直至对管材内部施加恒定的试验压力，并保持一定时间，获得外径蠕变伸长率。

1. 材料
	1. 氩气（或氦气）：体积分数不小于99.99%。
	2. 高压密封卡套：硬密封。
2. 试验设备
	1. 试验机：工作压力不小于50MPa，压力波动≤0.25MPa。测量外径蠕变伸长率时，试验机应具备自动升压、保压与泄压功能，自动计时、暂停与终止功能，数据记录与处理等功能。
	2. 加热炉：工作温度不小于500℃，最大温度偏差≤±3℃。加热炉内样品舱室建议采用抽真空保护或充惰性气体保护，抽真空保护的工作真空度宜不小于5×10-2Pa。
	3. 外径伸长测量装置：光学或激光测量装置，精度应优于或等于0.001mm。
	4. 热电偶：精度Ι级。
	5. 压力表：精度0.5级。
	6. 千分尺：精度0.001mm。
	7. 游标卡尺：精度0.02mm。

注：当采用第8.2.2.2章条的仅测量非弹性形变外径蠕变伸长率时，不涉及本标准第6.3章条的外径伸长测量装置。

1. 样品
	1. 取样

将锆合金管材样品使用车床或其他方式加工，确保有效长度*L*0≥10*D*0，长度宜为5mm的倍数。加工过程中应尽可能使样品表面缺陷或残余变形降到最低。

* 1. 原始参考管壁中径*D*c的测定

使用外径千分尺间隔约120°平行测量3次样品的外径，求平均值计算原始参考外径*D*0；使用壁厚千分尺间隔约120°平行测量3次样品的壁厚，求平均值计算原始参考壁厚*δ*0；根据本标准第3章给出的定义计算原始参考管壁中径*D*c。

1. 试验步骤
	1. 试验条件
		1. 短期蠕变试验条件：试验温度T=400℃±3℃，参考应力*σ*=130MPa±10MPa，试验时间t=240h±1h，升压时间建议为5min~10min。
		2. 其他试验条件依据产品标准规定。
	2. 样品的装载与加热
		1. 将样品使用密封卡套进行硬密封。
		2. 预载荷与气密性检查，可采用以下两种任意方式：
			1. 当测量外径蠕变伸长率或非弹性形变外径蠕变伸长率时，先将密封好的样品装于试验机上，再将样品内部空气排出，使用氩气（或氦气）以气压方式在样品内部施加预载压力（不大于试验压力），通过压力值是否恒定检查气密性，并保持样品同轴度，气密性检查完毕后应卸载部分或全部的预载压力。
			2. 当仅测量非弹性形变外径蠕变伸长率时，也可先将样品内部空气排出，使用氩气（或氦气）以气压方式在样品内部直接施加试验压力（按照第8.3.1章条计算）。通过压力值是否恒定检查气密性，并保持样品同轴度，气密性检查完毕后不卸载试验压力，再将密封好的样品装于试验机上。
		3. 检查完毕后建议将加热炉抽真空或冲氩气（或氦气）进行保护，抽真空保护的工作真空度宜不小于5×10-2Pa，开始升温至达到规定的试验温度范围。

注：当采用第8.2.2.2章条的仅测量非弹性形变外径蠕变伸长率时，不涉及本标准第8.3.3章条的加载试验压力，不涉及本标准第8.3.5与第8.5.1章条的读取外径实测值。

* 1. 施加试验压力
		1. 试验所需施加的试验压力*P*按式（1）计算：

*P*=*σ×2δ*0*/D*c····················································（1）

式中：

*P*$ $——试验压力，单位为兆帕（MPa），结果保留至0.01MPa；

*σ* ——参考应力，单位为兆帕（MPa），结果保留至0.01MPa；

*δ*0——原始参考壁厚，单位为毫米（mm），结果保留至0.001mm；

*D*c——原始参考管壁中径，单位为毫米（mm），结果保留至0.001mm。

* + 1. 按照规定的试验条件，设定试验压力，试验时间。
		2. 升温至规定试验温度范围后，开始加载试验压力。
		3. 在开始记录试验时间前，样品应至少保温与保压10min，除非产品标准另有规定。
		4. 当试验条件达到规定值范围并满足保温与保压时间后，系统自动开始计时，外径伸长测量装置应在1min内读取不少于5次的外径实测值，以平均值计算试验起始参考外径*D*s。
	1. 试验中断
		1. 当试验不满足试验条件范围时，应中断试验并停止计时。重新达到试验条件后，继续试验并继续计时。试验中断后，重新开始试验至达到试验条件的时间累计不应超过试验条件中试验时间的10%。
		2. 应确保不因样品收缩而导致样品上试验力超载，建议在中断期间保持样品上的试验压力。
		3. 对于每次试验意外中断的原因，应在试验条件恢复后，记录在试验报告中。例如：加热中断或停电。
		4. 当试验发生中断时，试验中断的数据可依据外径伸长率-时间曲线中有效数据的线性进行模拟修正。
	2. 温度和外径伸长的记录
		1. 当试验时间达到规定值时，系统自动停止计时，外径伸长测量装置应在1min内读取不少于5次的外径实测值，以平均值计算试验结束参考外径*D*e。
		2. 在整个试验过程中应充分记录样品的温度，来证实满足试验条件。
		3. 在整个试验过程中应连续记录或记录足够多的外径伸长数据来绘制外径伸长率-时间曲线。
		4. 当只测定规定时间的外径蠕变伸长率时，可不绘制外径伸长率-时间曲线，只测定试验起始参考外径*D*s和试验结束参考外径*D*e。
		5. 当只测定规定时间的非弹性形变外径蠕变伸长率时，可不绘制外径伸长率-时间曲线，至测定非弹性形变试验起始参考外径*D*si和非弹性形变试验结束参考外径*D*ei。
	3. 外径伸长率-时间曲线

依据所记录的外径伸长率和时间，绘制外径伸长率-时间曲线，示意图见图1。



图1 外径伸长率-时间曲线示意图

1. 试验结果
	1. 结果的表示

根据本标准第3章给出的定义计算相关试验结果，试验结果的表示应按以下规定和GB/T 8170进行修约：

——试验温度（*T*）：0.1℃；

——长度（*L*0）：0.1mm；

——外径（*D*0、*D*s、*D*e、*D*si、*D*ei）、外径伸长（Δ*D*、Δ*D*i）：0.001mm；

——外径蠕变伸长率（*A*fD、*A*fDi）：0.01%。

* 1. 不确定度

由于不确定度是依据试验材料本身特性以及试验条件得出，本标准附录给出N36锆合金Ф9.5mm×δ0.57mm规格包壳管的评估范例。

1. 试验报告
	1. 试验报告应包含下列内容：

——样品的基本信息（包括样品编号，材料名称等）；

——使用的标准（包括发布或出版年号）；

——试验条件（包括试验温度、试验压力、试验时间）；

——外径蠕变伸长率；

——与基本试验步骤的差异；

——试验中观察到的异常现象；

——试验日期。

* 1. 本标准定义的试验条件和限定不应受测量结果的不确定度和调整（见附录）。
	2. 不应将试验结果与估测的测量不确定度组合起来评定产品是否符合相关产品标准（见附录）。

附 录 A

（资料性附录）

管材内压蠕变试验测量结果不确定度的评定

A.1 总则

测量不确定度的分析对于识别测量结果的不一致性的主要来源是有用的。而不恰当的根据测量不确定度进行调整而判断产品不合格是很有风险的。因此根据以下步骤推导的不确定度仅供参考，除非客户有特别要求。

A.2 引言

本附录给出了利用已知蠕变性能的材料根据本标准评估测量不确定度的实例。应明确利用本方法是不能给出标准的不确定度值，因为不确定度的分量既有与材料相关的也有与材料不相关的。因此在进行测量不确定度的计算之前，建议对该种材料温度和应力的关系进行了解。

A.3 测量结果不确定度的评定范例

A.3.1 试验条件

短期蠕变试验条件：试验温度T=400℃±3℃，参考应力*σ*=130MPa±10MPa，试验时间t=240h±1h，升压时间建议为5min~10min。

A.3.2 试验结果

锆合金管材内压蠕变试验结果的测量不确定度的影响因素包含：试验结束参考外径、试验起始参考外径、重复性、试验条件波动对外径蠕变伸长率的影响（试验温度、试验压力）。

使用6个N36锆合金Ф9.5mm×δ0.57mm规格的包壳管样品得到测量列，测量结果见表A.1。结果的标准偏差按照贝塞尔公式计算：

$S\_{i}$=$\sqrt{\frac{\sum\_{i=0}^{n}\left(X\_{i}-\overbar{X}\right)^{2}}{n-1}} $················································（A.1）

式中：

$\overbar{X }$=$ \frac{1}{n}\sum\_{i=1}^{n}X\_{i}$

表A.1 重复性试验结果

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 试验起始参考外径$D\_{s}$ / mm | 试验结束参考外径$D\_{e}$ / mm | 试验温度*T* / ℃ | 试验压力*P* / MPa | 外径蠕变伸长率$ A\_{fD}$ / % |
| 1 | 9.554 | 9.600 | 402.5 | 16.97 | 0.48 |
| 2 | 9.561 | 9.603 | 399.0 | 16.95 | 0.44 |
| 3 | 9.555 | 9.602 | 400.5 | 17.66 | 0.49 |
| 4 | 9.562 | 9.602 | 401.0 | 15.55 | 0.42 |
| 5 | 9.556 | 9.600 | 399.5 | 15.93 | 0.46 |
| 6 | 9.562 | 9.601 | 397.5 | 16.11 | 0.41 |
| 平均值 | 9.558 | 9.601 | 400.0 | 16.53 | 0.45 |
| 标准偏差 | 0.0037 | 0.0012 | 1.7321 | 0.7939 | 0.0322 |
| 相对标准偏差 | 0.04% | 0.01% | 0.43% | 4.80% | 7.17% |

A.4 外径蠕变伸长率不确定度的评定

A.4.1 数学模型

外径蠕变伸长率不确定度的数学模型为：

$ A\_{fD}=\frac{D\_{e}-D\_{s}}{D\_{s}}$···················································（A.2）

$u\_{crel}$($A\_{fD}$)=$ \sqrt{u\_{rel}^{2}\left(D\_{e}\right)+u\_{rel}^{2}\left(D\_{s}\right)+u\_{rel}^{2}\left(rep\right)+u\_{rel}^{2}\left(A\_{fDC}\right)}$······················（A.3）

式中：

$ A\_{fD}$ ——外径蠕变伸长率；

$D\_{e}$——试验结束参考外径；

$D\_{s}$——试验起始参考外径；

$rep$——重复性；

$A\_{fDC}$ ——试验条件波动对外径蠕变伸长率的影响。

A.4.2 重复性$rep$的A类相对标准不确定度分项$u\_{rel}\left(rep\right)$的评定

本例评定6个样品测量平均值的不确定度，则：

$u\_{rel}\left(rep\right)=\frac{s}{\sqrt{n}}$ = $\frac{0.0322\%}{\sqrt{6}}$ = 0.0132%

A.4.3 试验结束参考外径$D\_{e}$的B类相对标准不确定度分项$u\_{rel}\left(D\_{e}\right)$的评定

（1）光学测量装置示值误差带来的相对标准不确定度$u\_{rel}\left(D\_{e1}\right)$

光学测量装置的示值误差为0.001mm，本试验的平均试验结束参考外径为9.601mm，按均匀分布考虑*k*=$\sqrt{3}$，则：

$u\_{rel}\left(D\_{e1}\right)=\frac{0.001}{\sqrt{3}·9.601}$ = 0.0061%

（2）管材外径不同位置重复性测量带来的相对标准不确定度$u\_{rel}\left(D\_{e2}\right)$

本例评定6个样品测量平均值的不确定度，则：

$u\_{rel}\left(D\_{e2}\right)=\frac{s}{\sqrt{n}} =\frac{0.0012\%}{\sqrt{6}}$ = 0.0005%

（3）试验结束参考外径的相对标准不确定度分项$u\_{rel}\left(D\_{e}\right)$

$u\_{rel}\left(D\_{e}\right)$=$\sqrt{u\_{rel}^{2}\left(D\_{e1}\right)+u\_{rel}^{2}\left(D\_{e2}\right)} $ = 0.0062%

A.4.4 试验起始参考外径$D\_{s}$的B类相对标准不确定度分项$u\_{rel}\left(D\_{s}\right)$的评定

（1）光学测量装置示值误差带来的相对标准不确定度$u\_{rel}\left(D\_{s1}\right)$

光学测量装置的示值误差为0.001mm，本试验的平均试验起始参考外径为9.558mm，按均匀分布考虑*k*=$\sqrt{3}$，则：

$u\_{rel}\left(D\_{s1}\right)=\frac{0.001}{\sqrt{3}·9.558}$ = 0.0061%

（2）管材外径不同位置重复性测量带来的相对标准不确定度$u\_{rel}\left(D\_{s2}\right)$

本例评定6个样品测量平均值的不确定度，则：

$u\_{rel}\left(D\_{s2}\right)=\frac{s}{\sqrt{n}} =\frac{0.0037\%}{\sqrt{6}}$ = 0.0016%

（3）试验结束参考外径的相对标准不确定度分项$u\_{rel}\left(D\_{e}\right)$

$u\_{rel}\left(D\_{s}\right)$=$\sqrt{u\_{rel}^{2}\left(D\_{s1}\right)+u\_{rel}^{2}\left(D\_{s2}\right)} $ = 0.0063%

A.4.5 试验条件波动*C*影响带来的相对标准不确定度分项$u\_{rel}\left(A\_{fDC}\right)$的评定

在试验温度、试验压力等试验条件允许的变化范围内，外径蠕变伸长率最大相差0.08%，所以试验条件波动对外径蠕变伸长率的影响为±0.04%，按均匀分布考虑*k*=$\sqrt{3}$，则：

$u\_{rel}\left(A\_{fDC}\right)=\frac{0.04}{\sqrt{3}·0.45}$ =5.1320%

A.4.6 外径蠕变伸长率的相对合成不确定度

$u\_{crel}$($A\_{fD}$)=$ \sqrt{u\_{rel}^{2}\left(D\_{e}\right)+u\_{rel}^{2}\left(D\_{s}\right)+u\_{rel}^{2}\left(rep\right)+u\_{rel}^{2}\left(A\_{fDC}\right)}$

= $\sqrt{0.0132\%^{2}+0.0062\%^{2}+0.0063\%^{2}+5.1320\%^{2}}$ = 5.1320%

A.4.7 外径蠕变伸长率的扩展不确定度

取包含概率*р*=95%，按*k*=$2$

$U\_{95,rel}$=*k·*$u\_{crel}$($A\_{fD}$)·$X$·········································（A.4）

$U\_{95,rel}$=2·5.1320%·0.45% = 0.047%