

团体标准

T/CCPMA 003-2023T/CSTM 01422—2023(IDT)

难熔金属及其合金的超高温拉伸蠕变试验 方法

Creep testing method for refractory metals and alloys at ultra-high temperature

2023-12-25 发布

2024-01-01 实施

粉末冶金产业技术创新战略联盟

中关村材料试验技术联盟

联合发布

前 言

本文件参照 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》，GB/T 20001.10《标准编写规则 第10部分：产品标准》的规定起草。

T/CCPMA 003—2023 与 T/CSTM 01422—2023 一致程度为等同 (IDT)。

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。

本文件由粉末冶金产业技术创新战略联盟和中国材料与试验标准化委员会粉末冶金标准化领域委员会 (CSTM/FC90) 共同提出。

本文件由粉末冶金产业技术创新战略联盟和中国材料与试验标准化委员会粉末冶金标准化领域委员会 (CSTM/FC90) 共同归口。

难熔金属及其合金的超高温拉伸蠕变试验方法

1 范围

本文件规定了钨、钼、铌、钽、铈、钨等难熔金属及其合金板材和棒材的超高温拉伸蠕变性能试验的设备、试样、试验环境、试验程序、试验数据处理、不确定度和试验报告等。

本文件适用于难熔金属材料及其合金的稳态蠕变速率、蠕变断裂时间和蠕变伸长时间等蠕变性能的测试，测试温度范围为 1 000 °C~2 200 °C，更高温度下或者小于 1 000 °C，可参考使用。钽、金、铈、铌等稀有金属材料及其合金的高温蠕变性能测试也可参考使用。

2 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 2039 金属材料 单轴拉伸蠕变试验方法

GB/T 10623 金属材料 力学性能试验术语

GB/T 12160 金属材料 单轴试验用引伸计系统的标定

JJG 276 高温蠕变、持久强度试验机检定规程

3 术语和定义

GB/T 10623和GB/T 2039界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

平行长度 parallel length

L_c

试样平行缩减部分的长度。

3.2

引伸计标距 extensometer gauge length

L_e

用引伸计测量试样延伸时，所使用引伸计的起始标距长度。

3.3

原始标距 original gauge length

L_0

加热和施力前的试样标距。

3.4

原始横截面积 original cross-section area

S_0

试样平行缩减部分的横截面面积。

3.5

初始应力 initial stress

σ_0

施加在试样上的试验力与原始横截面积 S_0 之比。

3.6

蠕变应变 creep strain

e

试验期间任一给定时刻引伸计标距的增量与其原始标距之比。

3.7

稳态蠕变速率 steady state creep rate

$\dot{\epsilon}$

稳态蠕变阶段应变速率。

3.8

蠕变断裂时间 creep rupture time

t_b

在规定温度和初始应力条件下，试样发生断裂前所持续的时间。

3.9

蠕变伸长率 percentage creep elongation

A_f

在规定温度下， t 时刻引伸计标距的增量和原始标距之比的百分率。

3.10

蠕变伸长时间 creep elongation time

t_x

在规定温度和初始应力条件下，试样应变变量达到规定蠕变伸长率所持续的时间。

3.11

试验温度 testing temperature

T

进行试验时的设定温度或规定温度。

3.12

保温时间 soaking time

t_s

施力前，保持试样试验温度稳定的时间。

4 试验设备

4.1 试验机

试验机的测力系统应符合 JJG 276 的要求，除另外规定外，试验机的准确度应为 1 级或优于 1 级。试验机应定期检定合格。

4.2 高温夹具

根据试验材料、试验温度和测试环境选用适当的高温夹具。使用的夹具材料应在相应的试验温度下具有良好的强度、硬度，且不与试样发生物理化学反应。推荐的夹具材料有钼合金或钨合金，1 000 °C~2 200 °C 范围内的推荐夹具材料见表 1。

表 1 1 000 °C~2 200 °C 范围内的推荐夹具材料

试验温度/°C	1 000~1 400	1 400~2 200
夹具材料	钼合金	钨合金

4.3 加热装置和温度测量装置

4.3.1 加热装置

加热装置应使试样在规定的时间内加热至规定温度，推荐的加热方式为电阻辐射式加热，也可采用感应加热或通电加热等方式，并满足保温时间等测试要求。除另有规定外，加热装置的均温区应不小于试样原始标距 L_0 的 2 倍。

4.3.2 温度测量装置

选择合适的热电偶测量温度，其允许偏差和温度梯度见表 2。测试温度高于 1 800 °C 时，可使用光学测温计。

蠕变试验温度 $\geq 1 800$ °C 时，蠕变时间达 50 h 时，或者蠕变试验温度 $< 1 800$ °C，蠕变时间达 500 h 时，应对热电偶进行温度校正。

表 2 温度测量装置的允许偏差和温度梯度

规定温度 T /°C	允许偏差/°C	温度梯度 a /°C	推荐测温方式
1 000~1 600	± 6	± 6	S 型、钨铼热电偶
1 600~1 800	± 8	± 8	钨铼热电偶
1 800~2 200			钨铼热电偶、光学测温计

4.4 伸长量测量装置

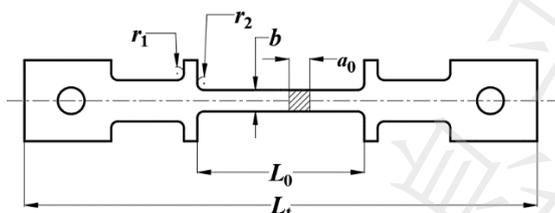
采用高温引伸计或差动变压器等装置测量伸长量，准确度应符合 GB/T 12160 的要求，并校验合格，也可使用非接触变形测量装置测试试样的变形。引伸计的标距 L_e 应不小于 10 mm，并置于试样平行长度的中间部位。如果测量试样双侧伸长量，应在报告中注明其平均值。

5 试样

5.1 试样形状与尺寸

5.1.1 含凸台矩形截面试样

含凸台矩形截面高温蠕变试样的形状如图 1 所示，其尺寸要求见表 3。凸台用于引伸杆传递变形至差动变压器，从而测量材料变形。在保证原始标距尺寸和凸台尺寸条件下，试样端部形状和尺寸可依测试设备情况而变化。



说明：

- a_0 ——试样厚度；
- L_0 ——原始标距长度；
- L_t ——试样总长度；
- b ——标距段原始宽度；
- r_1 、 r_2 ——圆弧半径。

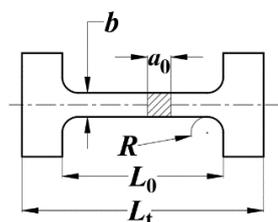
图 1 含凸台矩形截面试样形状

表 3 含凸台矩形截面试样尺寸

参数	a_0	L_0	L_t	b	r_1 、 r_2
尺寸/mm	1~3	25	77	3	1
尺寸最大允许偏差/mm	±0.2	±0.2	±0.2	±0.2	±0.2

5.1.2 工字形矩形截面试样

工字形矩形截面试样图 2 所示，其尺寸见表 4。在保证原始标距尺寸条件下，试样端部形状和尺寸可依测试设备情况而变化。



说明：

- a_0 ——试样厚度；
- L_0 ——原始标距长度；
- L_t ——试样总长度；
- b ——标距段原始宽度；
- R ——圆弧半径。

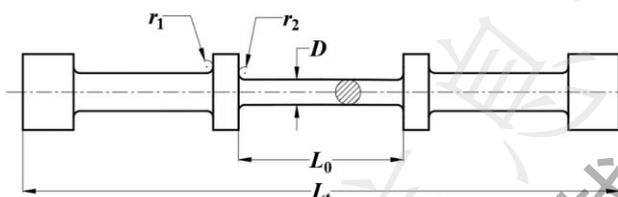
图 2 工字形矩形截面试样形状

表4 工字形矩形截面试样尺寸

参数	a_0	L_0	L_t	b	R
尺寸/mm	1~3	20	30	3	2
尺寸最大允许偏差/mm	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.02

5.1.3 圆截面试样

图3为含凸台圆截面试样，推荐的两种试样尺寸见表5，在保证标距长度和凸台尺寸条件下，端部形状和尺寸可依测试设备情况而变化。



说明：

L_0 ——原始标距长度；

L_t ——试样总长度；

D ——标距段直径；

r_1 、 r_2 ——圆弧半径。

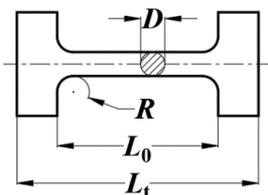
图3 含凸台圆截面试样形状

表5 含凸台圆截面试样尺寸

参数	L_0	L_t	D	r_1 、 r_2
尺寸 1/mm	26	94	4	1
尺寸 2/mm	20	77	2.5	1
尺寸最大允许偏差/mm	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.2

5.1.4 哑铃形圆截面试样

图4为哑铃形圆截面试样，其尺寸见表6。在保证原始标距尺寸条件下，试样端部形状和尺寸可依测试设备情况而变化。



说明：

D ——标距段直径；

L_0 ——原始标距长度；

L_t ——试样总长度；

R ——圆弧半径。

图4 哑铃形圆截面试样形状

表 6 哑铃形圆截面试样尺寸

参数	D	L_0	L_t	R
尺寸/mm	1~3	20	30	2
尺寸最大允许偏差/mm	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.02

5.2 试样制备

试样的取样区应避开孔、夹杂等明显缺陷区域，试样取样位置应在试验报告中注明。

试样加工中应避免加工损伤，试样标距段的表面粗糙度 R_a 不大于 $3.2 \mu\text{m}$ ，且无脏污。试样加工后应放置于单独的试样盒中，避免受力损伤。

6 试验环境

试验环境为真空、氢气或惰性气氛（如氩气、氮气等）。在真空中试验时，真空度 $\leq 5 \times 10^{-2} \text{ Pa}$ ；在氢气气氛或惰性气氛中试验时，气氛纯度应不低于 99.99%。

7 试验程序

7.1 原始标距与原始横截面积的测定

原始标距测量次数不少于 3 次，取其算术平均值。在原始标距的两端及中间处测量试样横截面积，取其算术平均值，计算原始横截面积。原始横截面积的测定应准确到 $\pm 2\%$ ，建议原始横截面积应准确至或优于 $\pm 1\%$ 。

7.2 安装试样

使用合适的夹具夹持试样，并在升温过程中保持试样对中。

7.3 安装伸长量测量装置

安装高温引伸计或差动变压器等伸长量测量装置。

7.4 抽真空或通气氛

根据试验要求，对试验设备抽真空或通气氛，真空度或气氛应满足本文件第 6 章节的规定。

7.5 加热

将试样加热至试验温度 T ，推荐升温速率不高于 $20 \text{ }^\circ\text{C}/\text{min}$ ，推荐保温时间为 1 h。升温过程中，任何时间试样温度不得超过试验温度 T 所允许的偏差。如果超出，应在报告中注明。

7.6 测试

设置试验模式、加载速率和时间。对试样施加单调载荷至设定值，保持载荷大小，并记录变形-时间曲线，即蠕变曲线。

7.7 试验中断

试验中断后的处理方式按照 GB/T 2039 规定执行。

8 试验数据处理

8.1 蠕变应变

根据给定的引伸计标距的增量按公式 (1) 计算材料的蠕变应变。

$$e = \Delta L / L_0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

ΔL ——引伸计标距的增量。

8.2 蠕变伸长率

根据 t 时刻引伸计标距的增量按公式 (2) 计算材料的蠕变伸长率。

$$A_t = \Delta L_t / L_0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

ΔL_t —— t 时刻引伸计标距的增量。

8.3 稳态蠕变速率

根据获得的如图 5 所示的蠕变曲线, 对蠕变曲线的第二阶段 (稳态蠕变阶段) 对应的线性段求导数, 即公式 (3), 得到材料的稳态蠕变速率。

$$\dot{\epsilon} = de/dt \quad \dots\dots\dots (3)$$

8.4 蠕变断裂时间

在恒定温度和应力条件下, 试样发生断裂的时间即为蠕变断裂时间。

8.5 蠕变伸长时间

根据获得的如图5所示的蠕变曲线, 蠕变应变达到规定蠕变伸长率的时间即为蠕变伸长时间。

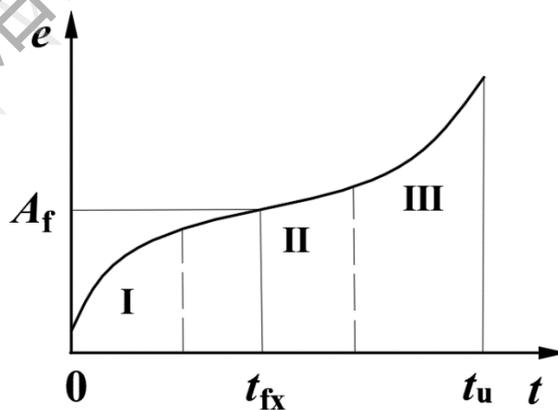


图 5 典型蠕变应变-时间曲线图

9 不确定度

按照 GB/T 2039—2012 中 11.2 的规定执行。

10 试验报告

试验报告一般包括以下内容：

- a) 本标准编号；
- b) 试验材料：材料类型、来源和批次；
- c) 试验条件：气氛、真空度、温度、保温时间等；
- d) 试验设备：试验机名称、伸长量测量装置；
- e) 试样信息：样品编号、试样形状和尺寸；
- f) 试验结果：蠕变曲线、稳态蠕变速率、蠕变断裂时间、蠕变伸长时间等；
- g) 试验人员及日期；
- h) 其他：以上未包括的信息。

北京粉末冶金产业技术创新战略联盟

附录 A

(资料性)

起草单位和主要起草人

本文件起草单位：西北工业大学、安泰天龙钨钼科技有限公司、安泰科技股份有限公司、北京控制工程研究所、西北有色金属研究院、上海航天动力技术研究所、北京粉末冶金产业技术创新战略联盟、中国钢结构协会粉末冶金分会。

本文件主要起草人：张程煜、董帝、王铁军、杨承昊、应雯清、王承阳、陈福鸽、王广达、任树贵、杨亚杰、魏福智、张文、王涛、徐晓卫。