

团体标准

T/CCPMA 002-2023T/CSTM 01421—2023 (IDT)

难熔金属及其合金的超高温拉伸试验方法

Tensile 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 002—2023 与 T/CSTM 01421—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。

北京粉末冶金产业技术创新战略联盟

难熔金属及其合金的超高温拉伸试验方法

1 范围

本文件规定了钨、钼、铌、钽、铪、钨等难熔金属及其合金板材和棒材的超高温拉伸性能试验的设备、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高温拉伸性能测试，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、铑、铱等稀有贵金属及其合金的高温拉伸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 228.1 金属材料 拉伸试验 第一部分：室温试验方法

GB/T 228.2 金属材料 拉伸试验 第二部分：高温试验方法

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

GB/T 16825.1 静力单轴试验机的检验与校准 第1部分：拉力和（或）压力试验机测力系统的检验与校准

3 术语和定义

GB/T 10623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

最大力 maximum force

F_m

试验过程中，试样所能抵抗的最大力。

3.6

应力 stress

R

试验期间，任一给定时刻的力与横截面积 S_0 的比值。

3.7

应变 strain

e

试验期间，任一给定时刻引伸计标距的增量与原始标距 L_0 之比。

3.8

弹性模量 modulus of elasticity

E

在弹性范围内，应力变化和相应的应变变化的商乘以 100%。

3.9

抗拉强度 tensile strength

R_m

相应最大力 F_m 对应的应力，即最大力 F_m 与横截面积 S_0 的比值。

3.10

规定非比例延伸强度 proof strength, non-proportional extension

R_p

等于规定非比例延伸率的应力，所使用的符号应附以下脚标说明所规定的非比例延伸率，例如， $R_{p0.2}$ 表示规定非比例延伸率为 0.2%时的应力。

3.11

断后伸长率 percentage elongation after fracture

A

断后标距的残余伸长量与原始标距之比的百分率。

3.12

断面收缩率 percentage reduction of area

Z

断裂后试样横截面积的最大缩减量与原始横截面积之比的百分率。

3.13

试验温度 testing temperature

T

进行试验时的设定温度或规定温度。

3.14

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 GB/T 16825.1 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℃~2 200℃范围内的推荐夹具材料见表 1。

表 1 1 000℃~2 200℃范围内的推荐夹具材料

试验温度/℃	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，电阻辐射式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℃时，可使用光学测温计。

表 2 温度测量装置的允许偏差和温度梯度

规定温度 $T/^{\circ}\text{C}$	允许偏差/ $^{\circ}\text{C}$	温度梯度 $a/^{\circ}\text{C}$	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

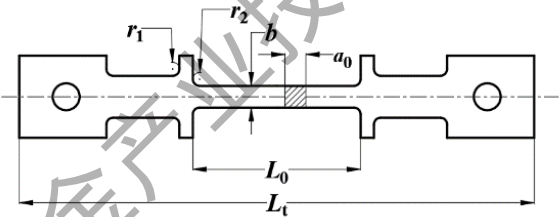
采用高温引伸计或差动变压器等装置测量伸长量，准确度应符合 GB/T 12160 的要求，并校验合格，也可使用非接触变形测量装置测试试样的变形。引伸计的标距 L_e 应不小于 10 mm，并置于试样平行长度的中间部位。如果测量试样双侧伸长量，应在报告中注明其平均值。

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拉伸试样的形状如图 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，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。

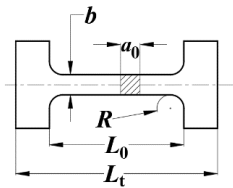
图 1 含凸台矩形截面试样形状

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如图 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。

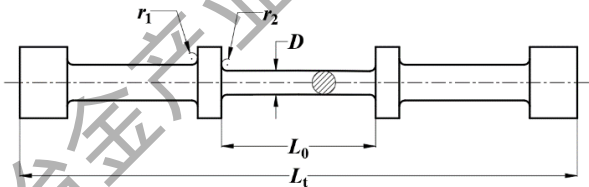
图 2 工字形矩形截面试样形状

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。

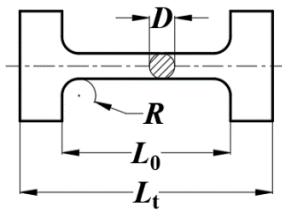
图 3 含凸台圆截面试样形状

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、氦气等）。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量

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 安装伸长量或变形测量装置

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 ，推荐保温时间不少于 10 min。采用电阻辐射式加热方式，推荐升温速率不高于 20 °C/min。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。

使用非接触变形测量系统测试应变时，应同时调试相应设备。

7.6 测试

设置试验加载速率和试验控制模式，对试样施加单调载荷，直到试样破坏，记录载荷-变形曲线或应力-应变曲线。

根据 GB/T228.1 规定的应变速率要求确定加载速率，推荐的应变速率为 0.0014 s^{-1} (0.084 min^{-1})。若高温下材料发生蠕变变形，应提高加载速率。

建议采用横梁位移控制，通过试样平行长度乘应变速率得到横梁位移速率。

7.7 应力-应变曲线

根据载荷-变形曲线计算或直接得到应力-应变曲线，典型应力-应变曲线如图 5 所示。

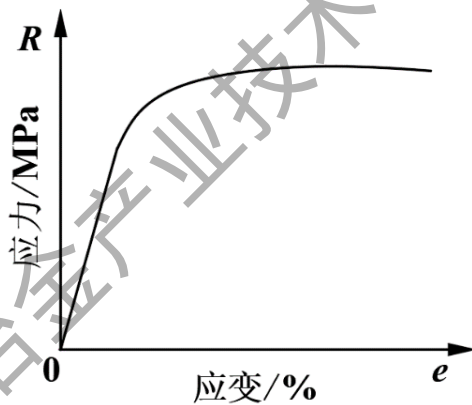


图 5 典型应力-应变曲线示意图

8 试验数据处理

8.1 抗拉强度

根据图 5 所示的应力-应变曲线，按公式（1）计算材料的抗拉强度：

$$R_m = F_m / S_0 \dots\dots\dots (1)$$

8.2 弹性模量

根据图 5 所示的应力-应变曲线，按公式（2）计算材料的弹性模量：

$$E = \Delta R / \Delta e \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$\Delta R / \Delta e$ —— R - e 曲线的弹性直线段的斜率。

8.3 规定非比例延伸强度

根据应力-应变曲线图测定规定非比例延伸强度 R_p ，在曲线图上，作一条与曲线的弹性直线段部分平行，且在延伸轴上与此直线段的距离等效于规定非比例延伸率 e_p （例如 0.2%）的直线。此平行线与曲线的交点对应的应力为规定非比例延伸强度，如图 6 所示。

8.4 断后伸长率

将试样断裂的部分仔细地接配在一起使其轴线处于同一直线上，确保试样断裂部分适当接触后测量试样断后标距，按公式（3）计算断后伸长率。

$$A = (L_u - L_0) / L_0 \times 100 \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：

L_u ——断后标距；

L_0 ——原始标距。

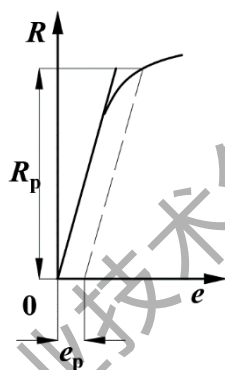


图 6 规定非比例延伸强度的确定

8.5 断面收缩率

将试样断裂的部分仔细地接配在一起使其轴线处于同一直线上，测量断裂后的最小横截面积。按公式（4）计算断面收缩率。

$$Z = (S_0 - S_u) / S_0 \times 100 \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

S_0 ——试样原始横截面积；

S_u ——断后最小横截面积。

9 不确定度

按照 GB/T 228.1 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、加载速率等；

- 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：抗拉强度、弹性模量、规定非比例延伸强度、断后伸长率和断面收缩率等；
- 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：安泰天龙钨钼科技有限公司、西北工业大学、安泰科技股份有限公司、西北有色金属研究院、中国运载火箭技术研究院、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：董帝、张程煜、熊宁、王铁军、王承阳、弓艳飞、黄鑫、应雯清、杨承昊、张保红、林冰涛、李明、高选乔、谷胜民、朱琳。

北京粉末冶金产业技术创新战略联盟