

团体标准

T/CPMA XXXXX-2023T/CSTM XXXXX—2023

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

202X-XX-XX 发布

202X-XX-XX 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》给出的规则起草。

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。

本文件由北京粉末冶金产业技术创新战略联盟和中关村材料试验技术联盟中国材料与试验团体标准委员会粉末冶金领域委员会（CSTM/FC90）提出。

本文件由北京粉末冶金产业技术创新战略联盟和中关村材料试验技术联盟中国材料与试验团体标准委员会粉末冶金领域委员会（CSTM/FC90）归口。

本文件为首次发布。

难熔金属及其合金的超高温拉伸试验方法

1 范围

本标准规定了钨、钼、铌、钽、铪、钿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、试验数据处理和试验报告等。

本标准适用于难熔金属材料及其合金的高温拉伸性能测试，最高测试温度为 2000℃，更高温度下，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 228.2 金属材料 拉伸试验 第二部分：高温试验方法

GB/T 4990 热电偶用补偿导线合金丝

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 金属材料 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 L_c

试样两端部或两夹持部分之间平行部分的长度。

3.2 引伸计标距 L_e

用引伸计测量试样平行部分延伸时所使用引伸计的起始标距长度。

3.3 原始标距 L_0

室温下加热前和施力前的试样标距，对于凸台试样，为凸台内侧距离。

3.4 横截面积 S_0

试样原始标距内横截面面积。

3.5 最大力 F_m

试验期间试样所能抵抗的最大力。

3.6 试验应力 R

试验期间任一给定时刻的力与试样施力前标距或引伸计标距内的横截面积的比值。

3.7 应变 ε

试验期间任一始定时刻引伸计标距的增量与原始标距之比。

3.8 弹性模量 E

应力与应变曲线直线段的斜率。

3.9 抗拉强度 R_m

相应最大力 (F_m)的应力。

3.10 规定塑性延伸强度 R_p

等于规定的引伸计标距百分率时的应力，所使用的符号应附以下脚标说明所规定的塑性延伸率，例如， $R_{p0.2}$ 表示规定塑性延伸率为0.2%时的应力。

3.11 断后伸长率 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 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。

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

推荐的夹具材料有镍基高温合金、钼合金、钨合金或超高温陶瓷，其推荐使用温度见表 1：

表 1 高温拉伸夹具材料推荐使用温度

夹具材料	镍基高温合金	钼合金	钨合金或超高温陶瓷
使用温度/°C	≤1000	1000~1400	1400~2000

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，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

根据热电偶测量温度范围和工作环境，选择合适的热电偶测量温度，其最低分辨率、允许偏差和温度梯度见表 2。测试温度高于 1600°C 时，可使用光学测温计，并在报告中说明温度校验方法。

表 2 温度测量装置的最低分辨率、允许偏差和温度梯度

规定温度 T °C	最低分辨率 °C	温度允许偏差 °C	温度梯度 ^a °C	推荐测温方式
≤1200	1	±3	±3	K 型、N 型热电偶
>1200~1600	2	±10	±1%×测试温度	S 型、钨铼热电偶
>1600~2000	4	±20		钨铼热电偶、光学测温计

^a 温度梯度是指由加热装置等产生的沿试样轴向存在的温度差值。

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 10mm,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。

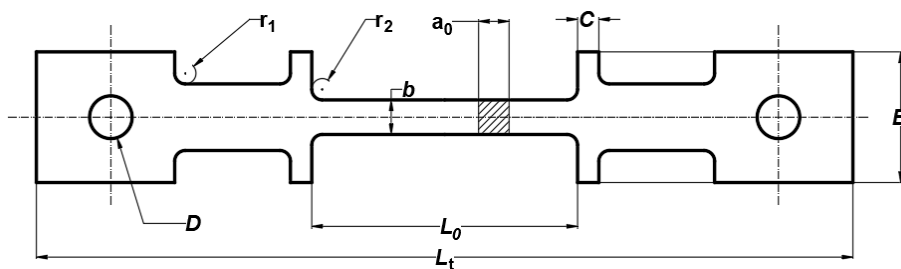
引伸杆等变形传递机构要伸出加热装置,使引伸计的传感器所处的环境温度为 $(20\pm 5)^\circ\text{C}$,若所处环境温度远高于室温,应在相应的温度下进行校正,避免环境温度带来的干扰。

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,从而测量材料变形。在保证原始标距长度和凸台尺寸条件下,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
- D ——孔直径
- C ——凸台宽度
- B ——端部宽度
- b ——标距段原始宽度
- r_1 、 r_2 ——圆弧半径

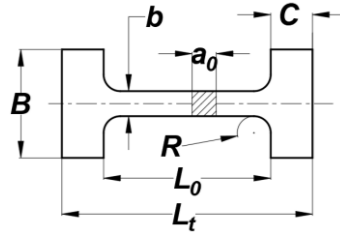
图 1 含凸台矩形截面试样形状

表 3 含凸台矩形截面尺寸

参数	a_0	L_0	L_t	D	C	B	b	r_1, r_2
尺寸/mm	2	25	77	4	2	12	3	1
尺寸公差/mm	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.2

5.1.2 工字形矩形截面试样

特殊情况下，可采取图 2 所示的工字形矩形截面试样进行拉伸试验，其尺寸见表 4。



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

C ——端部长度

B ——端部宽度

R ——圆弧半径

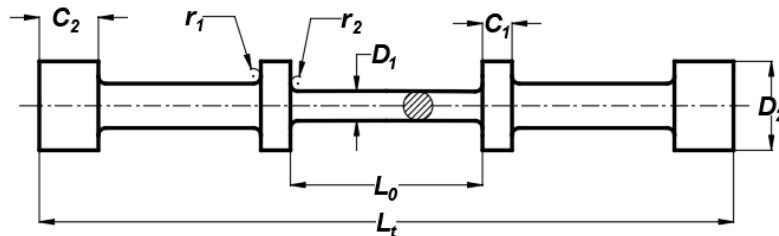
图 2 工字形矩形截面试样形状

表 4 工字形矩形截面试样尺寸

参数	a_0	L_0	L_t	b	C	B	R
尺寸/mm	2	20	30	3	5	10-13	2
尺寸公差/mm	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.2	± 0.05

5.1.3 圆形截面试样

图 3 为含凸台圆形截面试样，其尺寸见表 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

C_1 ——凸台宽度

C_2 ——端部宽度
 D_1 ——标距段直径
 D_2 ——端部直径
 r_1 、 r_2 ——圆弧半径

图 3 含凸台圆形截面试样形状

表 5 含凸台圆形截面试样尺寸

参数	L_0	L_t	C_1	C_2	D_1	D_2	r_1 、 r_2
尺寸 1/mm	26	94	4	8	4	12	1
尺寸 2/mm	26	77	2	6	2.5	6	1
尺寸公差/mm	±0.2	±0.2	±0.2	±0.2	±0.2	±0.2	±0.2

5.2 试样制备

试样加工中应避免加工损伤，试样标距段不应有加工刀痕，表面粗糙度 Ra 小于 0.4 μ m。试样的取样区应避免开孔，夹杂等明显缺陷区域，试样取样位置应在试验报告中注明。

5.3 试样数量

相同测试条件下，有效试样数量应不少于 3 个。

6 试验环境

试验环境为真空或氩气等惰性气氛。在真空中试验时，真空度应低于 5 $\times 10^{-2}$ Pa；在惰性气氛中试验时，气氛纯度不低于 99.99%。

7 试验程序

7.1 原始标距和截面的测量

7.1.1 测量原始标距：对于凸台试样，测量凸台之间距离；对于工字形试样，测量端部之间距离，并取其算术平均值。

7.1.2 测量原始横截面积：在原始标距的两端及中间处测量试样横截面积。对于矩形截面试样，在试样两端和中间位置分别测量其宽度和厚度，取其算术平均值计算原始横截面积。对于圆形截面试样，应在标距范围内相互垂直方向测量试样直径，取其算术平均值计算原始横截面积。

7.2 安装试样

使用合适的夹具夹持试样。可施加不超过规定塑性延伸强度的 5%的预拉力，保证试样对中。

7.3 安装伸长量测量装置

在室温下安装伸长量测量装置，也可使用高温引伸计、非接触变形测量系统等测试变形。

7.4 抽真空或通氩气

7.4.1 真空环境检测时，抽炉膛真空度低于 5 $\times 10^{-2}$ Pa。

7.4.2 氩气环境检测时，推荐氩气纯度不低于 99.99%。

7.5 加热

将试样加热至规定温度 T ，推荐升温速率不高于 $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$ ，保温时间至少 10min。

7.6 测试

设置试验模式和加载速率，对试样施加单调载荷，直到试样破坏，并记录载荷—变形曲线。推荐的应变速率为 $0.00025\text{s}^{-1}(0.015\text{min}^{-1})$ ，测定 R_m 、 A 和 Z 时，推荐的应变速率为 $0.01\text{s}^{-1}(0.6\text{min}^{-1})$ 。采用横梁位移速率时，通过试样平行长度估算位移速率。若高温下材料发生蠕变变形，应提高加载速率。

8 试验数据处理

8.1 应力

根据给定的载荷按公式（1）计算材料的试验应力。

$$R=F/S_0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中：

F ——任何时刻给定的载荷

8.2 应变

根据给定的引伸计标距的增量按公式（2）计算材料的应变。

$$\varepsilon=\Delta L/L_0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

ΔL ——引伸计标距的增量

8.3 应力—应变曲线

根据获得的载荷—变形曲线，绘制出如图 4 所示的应力—应变曲线。

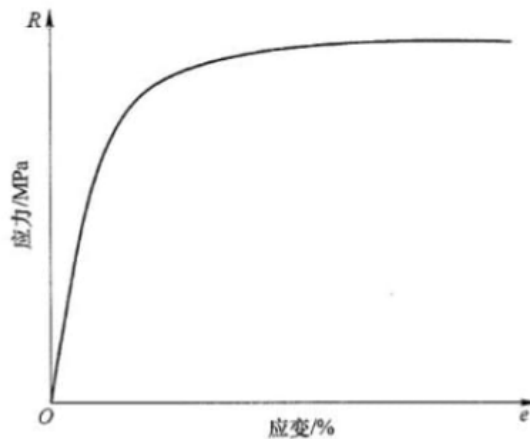


图 4 典型应力—应变曲线示意图

8.4 抗拉强度

根据图 4 所示的应力—应变曲线，按公式（3）计算材料的抗拉强度：

$$R_m = F_m / S_0 \quad \dots\dots\dots (3)$$

8.5 弹性模量

根据图 4 所示的应力—应变曲线，按公式（4）计算材料的弹性模量：

$$E = \Delta R / \Delta \varepsilon \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：

$\Delta R / \Delta \varepsilon$ —— R - ε 曲线直线段的斜率。

8.6 规定塑性延伸强度

根据应力—应变曲线图测定规定塑性延伸强度 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塑性 e_p （例如 0.2%）延伸率的直线。此平行线与曲线的交点给出相应于所求规定塑性延伸强度的力，此力除以试样原始横截面积得到规定塑性延伸强度，如图 5 所示。

8.7 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（5）计算断后伸长率。

$$A = (L_u - L_0) / L_0 \times 100 \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- L_u ——断后标距
- L_0 ——原始标距

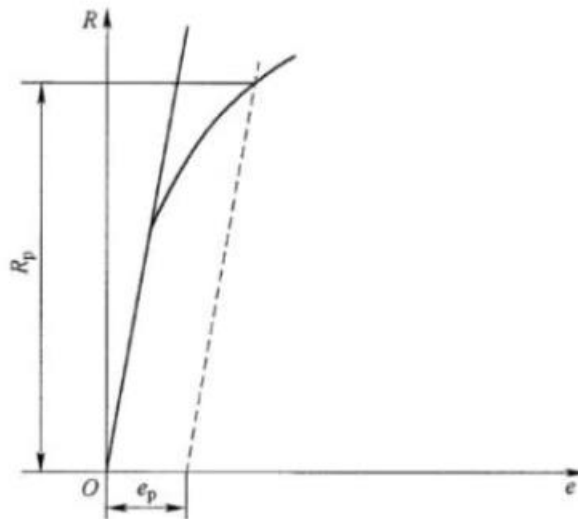


图 5 规定塑形延伸强度的确定

8.8 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（6）计算断面收缩率。

$$Z = (S_0 - S_u) / S_0 \times 100 \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中：

S_0 ——试样原始横截面积

S_u ——断后最小横截面积

9 试验报告

试验报告一般包括以下内容：

- a) 试验材料：材料类型、来源和批次；
- b) 试验环境：气氛、真空度、温度、保温时间等；
- c) 试验设备：试验机名称、伸长量测量装置；
- d) 试样信息：试样形状和尺寸；
- e) 加载速率；
- f) 试验结果：应力-应变曲线、拉伸强度、弹性模量、规定塑性延伸强度、断后伸长率和断面收缩率等；
- g) 试验人员及日期；
- h) 其他。

附录 A
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。

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、高选乔、谷胜民、朱琳。