

ICS 77.120

CCS H 65

YB

# 中华人民共和国黑色冶金行业标准

YB/T XXXX-XXXX

## 热喷涂高温合金涂层热膨胀系数测定方法

Test method for coefficient of linear thermal expansion of thermal spray

superalloy coating

(报批稿)

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

工业和信息化部标准报批公示

工业和信息化部标准报批公示

工业和信息化部标准报批公示

工业和信息化部标准报批公示

工业和信息化部标准报批公示

工业和信息化部标准报批公示

## 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。

本文件由中国钢铁工业协会提出。

本文件由全国钢标准化技术委员会（SAC/TC 183）归口。

本文件起草单位：国合通用测试评价认证股份公司、冶金工业信息标准研究院。

本文件主要起草人：张恒磊、杨中元、张飞飞、王心禾、向雪梅、徐乾坤。

工业和信息化部标准报批公示

工业和信息化部标准报批公示

工业和信息化部标准报批公示

工业和信息化部标准报批公示

工业和信息化部标准报批公示

工业和信息化部标准报批公示

## 热喷涂高温合金涂层热膨胀系数测定方法

### 1 范围

本文件规定了热喷涂高温合金涂层材料线性热膨胀系数的测定方法，包括术语和定义、原理、设备仪器、试样制备及要求、测试、计算、精度和偏差、试验报告。

本文件主要适用于用推杆式膨胀仪测定热喷涂高温合金涂层(如镍基合金涂层)的线性热膨胀系数。

### 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 4339 金属材料热膨胀特征参数的测定

GB/T 18719 热喷涂术语、分类

### 3 术语和定义

GB/T 4339、GB/T 18719 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1

**热喷涂** thermal spray

在喷涂枪内或外将喷涂材料加热到塑性或熔化状态，然后喷射到经预处理的基体表面，基体表面保持未熔状态形成涂层的方法。

#### 3.2

**高温合金涂层** superalloy coating

采用特定热喷涂材料和工艺在基体表面制备的具有一定厚度且耐 600℃ 以上温度的合金涂层。

#### 3.3

**高温合金涂层线性热膨胀系数** coefficient of linear thermal expansion of superalloy coating

高温合金涂层温度每升高 1℃ 时相应的涂层试样长度的相对变化。

### 4 原理

采用缓慢恒速变温方式对温度进行控制，在室温~1000℃ 温度范围内，利用推杆式高纯氧化铝膨胀仪检测作为随温度变化的高温合金涂层试样相对于其载体的长度变化。平均热膨胀系数按式(1)计算：

$$\alpha_m = \frac{L_2 - L_1}{L_0 (T_2 - T_1)} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\alpha_m$ ——涂层试样从  $T_1$  到  $T_2$  的平均热膨胀系数；

$T_1$ ——测试过程中选取的较低温度，单位为摄氏度（℃）；

$T_2$ ——测试过程中选取的较高温度，单位为摄氏度（℃）；

$L_1$ ——在  $T_1$  温度时的涂层试样长度，单位为毫米（mm）；

$L_2$ ——在  $T_2$  温度时的涂层试样长度，单位为毫米（mm）；

$L_0$ ——环境温度  $T_0$  下的涂层试样的原始长度，单位为毫米（mm）。

## 5 设备仪器

热膨胀系数的测定应采用线性热膨胀测试仪，且满足下列要求：

- a) 测试温度范围：室温至 1000℃；
- b) 推杆：直径为 2mm~5mm，材料为高纯氧化铝；
- c) 加热炉：温度能达到 1000℃；
- d) 尺寸测量工具：精度达到 0.01mm；
- e) 测试时仪器处于完备的正常状态，在测试温度范围内不允许推杆在所测涂层试样上产生压痕。

## 6 试样制备及要求

### 6.1 试样制备

#### 6.1.1 基体准备

采用致密的石墨块体做基体，在基体上加工制备出有一定深度的方槽，对方槽进行除油和喷砂处理。

#### 6.1.2 喷涂初样

根据所要测试的高温合金涂层，选用相应的高温合金喷涂材料，并根据相应高温合金喷涂材料的形态如丝材、粉末等，采用合适的热喷涂工艺方法，在石墨块体的方槽部位进行间歇式喷涂，直至符合测定（含加工）需要的尺寸。

注：常用热喷涂工艺方法有普通火焰粉末喷涂、火焰丝材喷涂、电弧喷涂、等离子喷涂、超音速火焰喷涂（HVOF）、爆炸喷涂、冷喷涂等。

#### 6.1.3 涂层试样样坯加工

将喷涂初样在石墨槽内的涂层试样样坯与石墨基体分离出来，确保涂层试样样坯有足够尺寸且不应有裂纹。

### 6.2 涂层试样

6.2.1 涂层试样尺寸：4mm×4mm×25mm 或  $\phi 6\text{ mm}\times 25\text{ mm}$ ，尺寸偏差控制在 $\pm 0.1\text{ mm}$ 。

6.2.2 涂层试样的状态与相关产品标准或协议要求一致。

6.2.3 涂层试样不应做封孔处理。

6.2.4 涂层试样允许做机械加工，但机加工后应经超声清洗，试样端面粗糙度  $R_a$  应不大于 10 $\mu\text{m}$ ，端面间不平行度应不大于 25 $\mu\text{m}$ 。

## 7 测定方法

7.1 测定涂层试样在环境温度  $T_0$  下的原始长度  $L_0$  和试验开始时  $T_1$  时的长度  $L_1$ 。

7.2 将涂层试样按要求放入线性热膨胀测定仪，并确保其稳定。

7.3 将温度传感器置于涂层试样中部位置,尽可能接近涂层试样但不影响涂层试样因加热引起的移动。

7.4 按设备操作要求安装好其他相关设施并开始加热、测试。

7.5 在整个温度测定范围内,采用线性热膨胀测定仪自动测量涂层试样的长度值,直至测定设定的最高温度  $T_2$  时的长度值  $L_2$ ,且应满足下列条件:

- 温度变动不大于  $\pm 2^\circ\text{C}$ ;
- 采用的加热速度不大于  $5^\circ\text{C}/\text{min}$ ,且保持一致。

## 8 计算

根据第 7 章测出的试样原始长度  $L_0$ ,和  $T_1$  至  $T_2$  整个温度测试范围内线性热膨胀测定仪自动测量的试样长度伸长值  $(L_2-L_1)$ ,依据式 (1) 计算出平均线性热膨胀系数  $\alpha_m$ 。计算结果保留小数点后两位数字。

## 9 精度和偏差

9.1 本文件规定的方法用于线性热膨胀系数在  $0.5 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$  及以上的高温合金涂层材料检测,如所用传感器精度和装置的稳定性符合要求,也可用本文件方法测试低膨胀涂层材料。

9.2 平均线性热膨胀系数的测量精度和偏差,与温度和长度相对应的测量同时性有关。

9.3 本文件中的测量不确定度由长度和温度重复测量中的精度和偏差构成,但也可能受诸如涂层试样位置重现性变化、传感器电压不稳引起的波动等因素的影响。

9.4 对于测定系统要求被测温度示值的不确定度应不大于整个温度测试范围的  $\pm 1\%$ ,涂层试样长度测试的不确定度不超过  $\pm 25\mu\text{m}$ 。

9.5 系统偏差的影响因素较多,包括长度与温度测量的准确度、涂层试样平均温度与温度传感器指示温度间的偏差、涂层试样与推杆间的温差、涂层试样与推杆间的表面接触影响等。对于由这些因素引起的系统偏差,只能通过各独立因素的控制及对整个系统的校正来消除或减小。

9.6 标准偏差按式 (2) 计算:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=0}^n (\bar{x} - x_i)^2} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$\sigma$ ——标准偏差;

$\bar{x}$ ——测量的  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_i$  的平均值;

$x_i$ ——第  $i$  次测量值。

平均线性热膨胀系数检测精度按式 (3) 估算:

$$\frac{\delta_{\alpha_m}}{\alpha_m} = \left( \frac{\delta(\frac{\Delta L}{L_0})}{\frac{\Delta L}{L_0}} + \frac{\delta_t}{\Delta t} \right) \times 100 \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中:

$\frac{\delta_{\alpha_m}}{\alpha_m}$  ——测量温度范围内平均线性热膨胀系数检测精度，%；

$\delta\left(\frac{\Delta L}{L_0}\right)$  ——热膨胀值测量不确定度；

$\Delta L/L_0$  ——热膨胀值；

$\delta t$  ——温度传感器检测不确定度，单位为摄氏度（℃）；

$\Delta t$  ——测量温度范围，单位为摄氏度（℃）。

## 10 试验报告

试验报告应包括（但不限于）下列内容：

- a) 本文件编号；
- b) 鉴定测定样品所需的所有细节（成分、制备工艺、涂层状态、尺寸等）；
- c) 仪器类型、试验者、测试日期；
- d) 测定温度；
- e) 测定精度；
- f) 测定结果；
- g) 影响测定结果的因素（温度、涂层试样处理状态、加热速度等）。