



中华人民共和国国家标准

GB/T 39828—2021

陶瓷厚涂层的高温弹性模量试验方法

Test method for determining elastic modulus of thick ceramic coating at
elevated temperature

2021-03-09 发布

2021-10-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国建筑材料联合会提出。

本标准由全国工业陶瓷标准化技术委员会(SAC/TC 194)归口。

本标准起草单位:中国建材检验认证集团股份有限公司、深圳市八六三新材料技术有限责任公司、安徽菱湖漆股份有限公司、郑州中本耐火科技股份有限公司、中国建筑材料科学研究总院有限公司、中国建材检验认证集团(陕西)有限公司、山东工业陶瓷研究设计院有限公司。

本标准主要起草人:包亦望、万德田、田远、陈寿、王鑫、龙毛明、韩明军、陈媛媛、刘小根、马德隆、邱岩、王艳萍、潘瑞娜、孙与康、吴萍、陈常祝。

陶瓷厚涂层的高温弹性模量试验方法

1 范围

本标准规定了在高温下采用脉冲激励法测试陶瓷厚涂层的弹性模量的术语和定义、原理、仪器设备、样品、试验、结果与计算和试验报告。

本标准适用于 1 500 ℃ 以下的金属基体或陶瓷基体的陶瓷厚涂层弹性模量的试验。

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。

JC/T 2172 精细陶瓷弹性模量、剪切模量和泊松比试验方法 脉冲激励法

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

厚涂层 thick coating

厚度大于 30 μm 的涂层。

3.2

厚度比 thickness ratio

涂层厚度与基体厚度的比值。

3.3

复合体 composites

涂层和基体形成的整体。

4 原理

对于界面连续且与基体紧密结合的陶瓷厚涂层,其弹性模量可以通过脉冲激励法和相关公式算出。涂层的弹性模量通过三个参数得到,即基体样品的弹性模量(E_s),复合体样品的弹性模量(E_q),涂层和基体的厚度比($R=h/H$)。 E_q 和 E_s 的值均用高温脉冲激励法测得。

5 仪器设备

5.1 弹性模量测试仪

应符合 JC/T 2172 规定,且能在高温环境下使用的脉冲激励测试系统。

5.2 加热设备

5.2.1 加热炉

加热炉应能对夹具和样品均匀加热,并保持恒温,加热速率为 $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min} \sim 15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 。测试时炉腔工作区域温度应保持均匀恒温,偏差不大于 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。炉腔内为空气环境或惰性气体环境。

5.2.2 热电偶

热电偶的分辨率应小于等于 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,测试误差应小于 1% 。热电偶的一端要接近或贴近测试样品。如果使用光学测温设备,分辨率应小于或等于 $1\text{ }^{\circ}\text{C}$,误差应小于 2% 。

5.3 量具

用分辨率为 0.02 mm 或更高的量具测量样品尺寸。用具有 200 倍以上放大倍率的显微镜来测量涂层厚度,分辨率应小于或等于 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 。

5.4 夹具

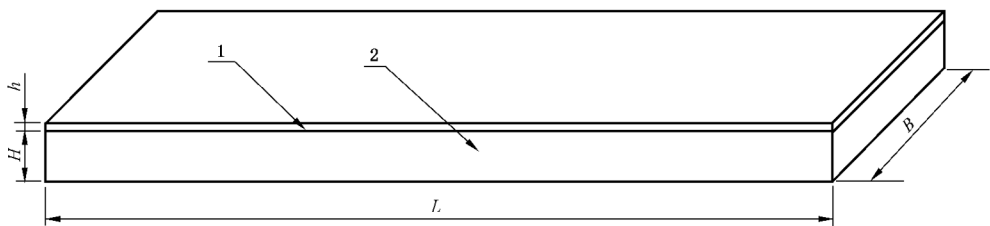
夹具包含支架和耐高温金属丝支撑系统,应保证样品在测试过程中不发生明显移动,并方便脉冲激励信号采集。

6 样品

6.1 样品为矩形截面梁样品,涂层应在基体上表面或下表面,如图 1 所示。

注:对于含多层涂层的样品,将第一层涂层作为涂层材料,剩余部分作为基体材料进行计算。每一层依次进行。

6.2 样品应符合 JC/T 2172 规定,样品宽度和基体厚度的比值(B/H)应在 $3\sim 10$ 之间,涂层与基体的厚度比 $R=h/H$ 应大于 $1/100$ 。推荐的样品尺寸如表 1 所示。



说明:

1——涂层;

2——基体。

图 1 样品示意图

表 1 样品的推荐尺寸

单位为毫米

符号	尺寸	公差
L	>40	± 0.5
B	$6\sim 15$	± 0.1
h	>0.03	± 0.001
$H+h$	$2\sim 5$	± 0.05

注：陶瓷厚涂层弹性模量测试推荐尺寸比例为 $L : B : (H+h) = 20 : 5 : 1$ 。

- 6.3 样品要轻拿轻放,以免损伤样品。存放样品时应相互隔离,避免彼此碰撞。
- 6.4 样品数量不少于 3 个。

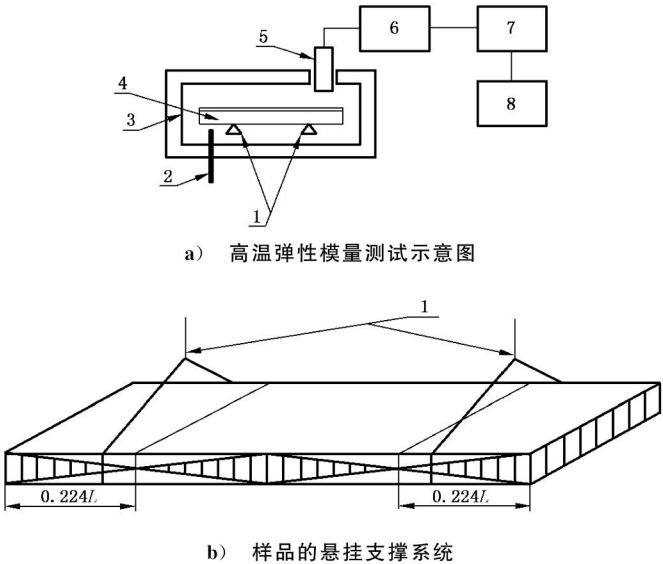
7 试验

7.1 质量和尺寸的测量

- 7.1.1 干燥样品直到质量恒定后,测量样品质量,精确至 1 mg。
- 7.1.2 用量具分别测量样品 3 个不同位置的长度、宽度、厚度以及涂层的厚度,计算平均值。涂层的厚度偏差应小于 0.5 μm 。

7.2 弹性模量的测试

- 7.2.1 在高温环境下用两根耐高温金属丝支撑样品,应允许样品自由振动,如图 2 所示。



- 说明：
- | | |
|----------|-----------|
| 1——支撑系统； | 5——传感器； |
| 2——激励器； | 6——信号放大器； |
| 3——高温炉； | 7——频率分析仪； |
| 4——样品； | 8——结果输出。 |

图 2 高温弹性模量测试示意图和样品的悬挂支撑系统

7.2.2 测试高温下的弹性模量。加热样品到设定温度。当达到设定温度时,应保持温度足够的时间(建议 15 min)使得样品温度达到均匀。

7.2.3 测试过程中炉内温度变化应小于 2 ℃。

7.2.4 在设定的温度下,按 JC/T 2172 分别测试复合体样品和基体样品的弹性模量。

注:如果只有复合体样品,可以测试完后研磨掉涂层,剩余部分作为基体样品进行弹性模量测试。

7.2.5 测试含多层涂层样品中每层涂层的弹性模量按附录 A 进行。

8 结果与计算

8.1 弹性模量的计算

涂层的弹性模量按公式(1)计算:

$$E_c = \frac{-U + \sqrt{U^2 + V}}{2R^3} \cdot E_s \quad \dots\dots\dots (1)$$

其中:

$$R = h/H \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$F = (1 + R)^3 \cdot (E_q/E_s) \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$U = 4R^2 + 6R + 4 - F \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$V = 4R^2 \cdot (F - 1) \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

h ——陶瓷涂层厚度,单位为毫米(mm);

H ——基体厚度,单位为毫米(mm);

E_q ——复合体样品的弹性模量,单位为吉帕(GPa);

E_s ——样品基体的弹性模量,单位为吉帕(GPa);

F ——基体和复合体的刚度比。

8.2 弹性模量的平均值和标准偏差

弹性模量的平均值 \bar{E} 和标准偏差 s 按公式(6)和公式(7)计算:

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$s = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{n - 1} \right]^{1/2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

E_i ——第 i 个样品的弹性模量,单位为吉帕(GPa);

n ——样品的数量。

9 试验报告

试验报告应至少包含以下信息:

a) 测试机构的名称和报告编号;

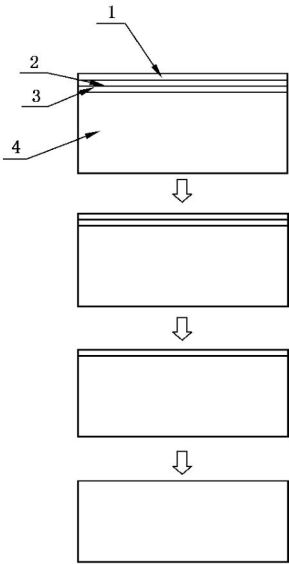
- b) 试验项目名称和依据标准；
- c) 样品的形状、尺寸、质量、数量和编号；
- d) 样品说明(基体和涂层的材料类型,规格型号,样品批号)；
- e) 测试温度,加热炉型号和温度测量装置；
- f) 炉腔环境:空气或者惰性气体；
- g) 加热速率和保温时间；
- h) 试验次数和有效结果、平均值和标准差；
- i) 测试日期、试验人员和其他。

附 录 A
(规范性附录)

测试含多层涂层样品中每层涂层的弹性模量

将涂层样品的第一层看作单层单独涂层,如图 A.1 所示,测试样品弹性模量,然后磨掉第一层涂层。剩余部分当作基体并测量其弹性模量。计算得到第一层涂层的弹性模量。重复此步骤可得到每一层涂层的弹性模量。如图 A.1 所示,复合涂层样品有 3 层涂层。测试步骤如下:

- a) 首先测出样品最初的宽度、厚度和长度。得到样品的弹性模量 E_{q1} 。
- b) 磨掉第一层涂层。测试剩余部分(剩余的涂层和基体)的厚度。计算第一层涂层的厚度(原始的厚度减去剩余厚度)。用脉冲激励法测试剩余部分的弹性模量 E_{s1} 。
- c) 用公式(1)计算第一层涂层的弹性模量 E_{c1} 。
- d) 重复步骤 b)和步骤 c),得到 E_{q2} 和 E_{s2} 的值。计算出第二次涂层的弹性模量 E_{c2} 。
- e) 根据上述方法,得到每一层涂层的弹性模量。



说明:

- 1——第一层涂层;
- 2——第二层涂层;
- 3——第三层涂层;
- 4——基体。

图 A.1 多层涂层样品横截面示意图

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
陶瓷厚涂层的高温弹性模量试验方法
GB/T 39828—2021

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址: www.spc.org.cn

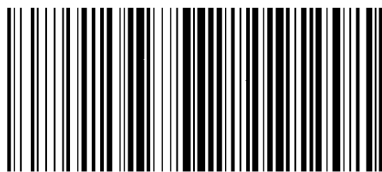
服务热线: 400-168-0010

2021年3月第一版

*

书号: 155066 · 1-66857

版权专有 侵权必究



GB/T 39828—2021