



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 39682—2020

---

## 精细陶瓷 高温和超高温弹性模量的测定 缺口环相对法

Fine ceramics—Determination of elastic modulus at high temperature or ultra-high temperature—Split ring relative method

2020-12-14 发布

2021-07-01 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、佛山市质量和标准化研究院、山东国瓷功能材料股份有限公司、国装新材料技术(江苏)有限公司、中国建材检验认证集团枣庄有限公司、中国建筑材料科学研究总院有限公司、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、杨柳慧、宋锡滨、马小民、刘小根、王海超、马德隆、李海燕、王艳萍、孙与康、吕奎霖、张磊、吴萍、陈常祝。

精细陶瓷 高温和超高温弹性模量的测定  
缺口环相对法

1 范围

本标准规定了精细陶瓷在高温(1 500 ℃以下)和超高温(1 500 ℃及以上)环境下弹性模量试验方法——缺口环相对法的术语和定义、试验原理、仪器设备、样品、试验步骤、结果与计算和试验报告。  
本标准适用于精细陶瓷高温和超高温弹性模量的测定。其他耐高温材料可参照使用。

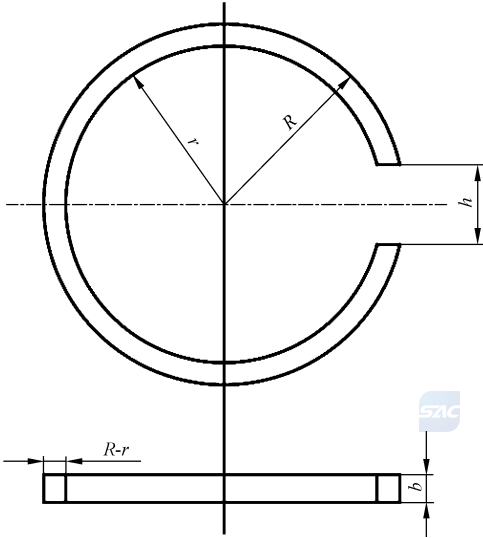
2 规范性引用文件

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 16491 电子式万能试验机  
GB/T 16839.1 热电偶 第1部分:电动势规范和允差  
GB/T 21389 游标、带表和数显卡尺

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。  
3.1

缺口环 split ring  
在圆环样品上切一个缺口得到的样品,如图 1 所示。



说明:  
 $R$  —— 缺口环样品外半径;  
 $r$  —— 缺口环样品内半径;  
 $b$  —— 缺口环样品宽度;  
 $h$  —— 缺口环样品的直通缺口高度。

图 1 缺口环样品示意图

## 3.2

**刚性圆盘 rigid disk**

外直径和厚度与缺口环样品均相同且刚性远大于缺口环的圆盘。

## 3.3

**缺口环相对法 split ring relative method**

在同样的测试条件下,利用缺口环样品和刚性圆盘测试中试验机的横梁位移量相对差值得到缺口环样品变形量的一种测试方法。

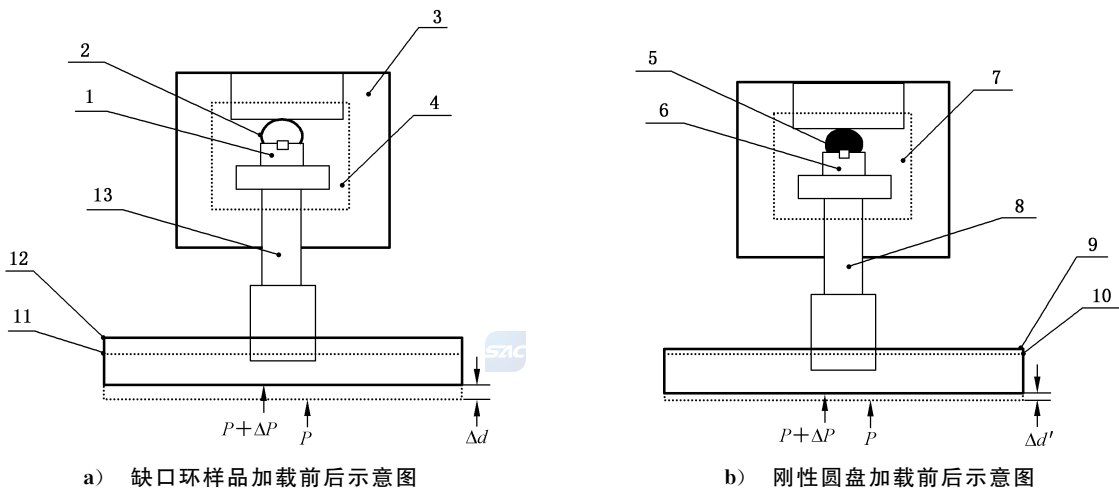
**4 试验原理**

室温下,在夹具上安装缺口环样品,保持缺口中线与缺口环样品中心在同一水平面上。

在高温和超高温环境下,分别测试缺口环样品和与其具有同样尺寸的刚性圆盘,通过比较两者的横梁位移量,获得缺口环的真实形变。

如图 2a)所示,缺口环样品受载时的横梁位移由两部分组成:缺口环样品的实际形变和加载装置的系统形变。如图 2b)所示,刚性圆盘受载时的横梁位移对应加载系统的系统形变。如图 3 所示,在同样的压缩载荷下,缺口环样品和刚性圆盘的相对位移差值为缺口环样品的真实形变。

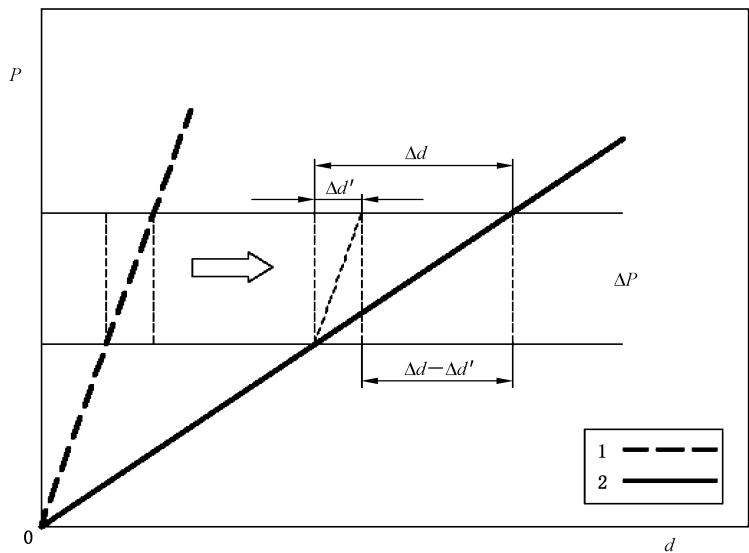
结合修正的载荷-横梁位移曲线的斜率及样品尺寸,计算出高温和超高温环境下样品的弹性模量。



说明:

- 1,6 —— 夹具;
- 2 —— 样品;
- 3 —— 炉体;
- 4,7 —— 加热区;
- 5 —— 刚性圆盘;
- 8,13 —— 支撑杆;
- 9,12 —— 加载结束位置;
- 10,11 —— 加载起始位置。

图 2 在加热炉中加载前后的示意图



说明：  
1 —— 刚性圆盘曲线；  
2 —— 缺口环样品曲线；  
 $d$  —— 横梁位移；  
 $P$  —— 载荷。

图 3 刚性圆盘和缺口环样品的载荷-横梁位移示意图

5 仪器设备

5.1 试验机

应符合 GB/T 16491 的规定,精度为 1 级或优于 1 级,自动记录载荷与位移的关系曲线。

5.2 夹具

夹具应能保证样品在测试过程中无滚动,测试过程中不出现软化或明显变形。夹具形状及选材见附录 A。

5.3 加热炉

5.3.1 温度稳定性

加热速率可控,测试时工作区保持温度稳定,偏差不大于试验温度的 1%。

5.3.2 温度均匀性

保持工作区温度均匀,偏差不大于 10℃。

5.4 测温装置

使用热电偶时,应符合 GB/T 16839.1 的规定。热电偶应具有足够的长度伸入炉腔内,测温热电偶的一端要在距测试样品 20 mm 范围内。使用红外测温仪时,分度值不大于 1℃,精度优于 10℃。

## 5.5 真空泵

利用机械泵达到低真空度(小于 10 Pa),利用分子泵达到高真空度(小于 0.1 Pa)。

## 5.6 数据采集

自动记录载荷与位移的关系曲线。

## 5.7 量具

使用符合 GB/T 21389 规定的分度值为 0.02 mm 的游标卡尺、分度值为 1 μm 的千分表或精度更高的其他量具。

# 6 样品

## 6.1 样品尺寸及制备

样品应取自同一管材,尺寸应满足  $\frac{9}{11} < \frac{r}{R} < 1$ 。缺口环样品的缺口高度  $h$  应为  $0.4r \leq h \leq 0.6r$ ,保持测试过程中缺口环样品缺口不闭合,如图 1 所示。缺口环样品宽度  $b$  应同时满足  $0.2 \leq b/R \leq 1.0$  和  $1.0 \leq b/(R-r) \leq 5.0$ 。

本标准提供了两种样品的半径和表面的处理方法:

- 既有管材:如果  $r$  和  $R$  均满足以上要求,在管材上切取环型样品。打磨并抛光横截面,平行度不低于 0.02 mm。用酒精或者纯净水等清洗测试样品后,用切割机在环上切一个  $h$  约为  $0.5r$  的缺口。
- 其他形状的材料:制造一个  $R$  为  $15 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ ,  $r$  为  $12.5 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$ ,  $b$  为  $8 \text{ mm} \pm 1 \text{ mm}$  的圆环。打磨并抛光横截面,平行度不低于 0.02 mm。用酒精或者纯净水等清洗测试样品后,用切割机在环上切一个  $h$  约为  $0.5r$  的缺口。

样品表面应抛光处理,表面无肉眼可见的划痕。

## 6.2 刚性圆盘制备

刚性圆盘的载荷软化温度应高于缺口环样品。有氧环境下,刚性圆盘材料宜采用耐高温抗氧化陶瓷材料,在真空环境或惰性气氛保护环境下,刚性圆盘材料可采用高强石墨材料。刚性圆盘的直径和宽度应分别与缺口环样品的外直径和宽度一致。

## 6.3 样品保存

样品应轻拿轻放,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

相同测试条件下,有效样品不少于 3 个。

# 7 试验步骤

## 7.1 试验机横梁位移校准

使用千分表校准试验机横梁位移,误差小于 1%。

7.2 样品尺寸测量

分别测量缺口环样品的  $b$ ,  $R$  和  $r$  值, 计算 3 个不同位置的平均值。测量时应避免样品受力。

7.3 样品安装

安装好夹具。将样品按图 2 装好, 尽量保持样品缺口的中心与环的中心在同一水平面。

7.4 环境调节

7.4.1 空气环境下, 直接加热。

7.4.2 真空环境或惰性气氛环境调节。室温下对加热炉抽真空至 0.1 Pa 以下, 保持真空或充入惰性气体, 保持低于 1 个大气压; 流通气氛下, 应确保流通气流对样品位置无影响。

7.5 加热及测温

7.5.1 推荐升温速率为 10 °C/min, 达到设定的试验温度后保温不少于 15 min。

7.5.2 1 500 °C 以下可采用热电偶测温。

7.5.3 1 500 °C 以上应采用红外测温仪测量样品温度。

7.6 测试

7.6.1 采用位移控制加载模式, 加载速率为 0.1 mm/min。施加的最大载荷应低于断裂载荷的 50%。

7.6.2 在弹性范围内, 记录样品的载荷增量  $\Delta P$  和对应的横梁位移增量  $\Delta d$ 。

7.6.3 同样条件下, 对刚性圆盘施加载荷, 记录在同样的载荷增量  $\Delta P$  对应的横梁位移增量  $\Delta d'$ 。

7.6.4 停止加热, 降至室温, 取出样品。

8 结果与计算

8.1 弹性模量

按式(1)计算。

$$E = \frac{3\pi}{4\,000} \times \frac{\Delta P}{b(\Delta d - \Delta d')} \times \left( \frac{R+r}{R-r} \right)^3 \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- $E$  ——样品弹性模量, 单位为吉帕(GPa), 保留 3 位有效数字;
- $\Delta P$  ——样品在弹性范围内的载荷增量, 单位为牛(N);
- $\Delta d$  ——与  $\Delta P$  所对应的缺口环样品的横梁位移, 单位为毫米(mm);
- $\Delta d'$  ——与  $\Delta P$  所对应的刚性圆盘的横梁位移, 单位为毫米(mm);
- $R$  ——缺口环样品外半径, 单位为毫米(mm);
- $r$  ——缺口环样品内半径, 单位为毫米(mm);
- $b$  ——缺口环样品宽度, 单位为毫米(mm)。

8.2 弹性模量的算术平均值、标准偏差

平均弹性模量  $\bar{E}$ 、标准偏差  $S$  分别按式(2)和式(3)计算。

$$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{n} \dots\dots\dots (2)$$

$$S = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{n-1} \right]^{1/2} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$S$  ——标准偏差,单位为吉帕(GPa)；

$\bar{E}$  ——平均弹性模量,单位为吉帕(GPa)；

$E_i$  ——第  $i$  样品的弹性模量,单位为吉帕(GPa)；

$n$  ——样品数量。

## 9 试验报告

试验报告应至少包含以下内容：

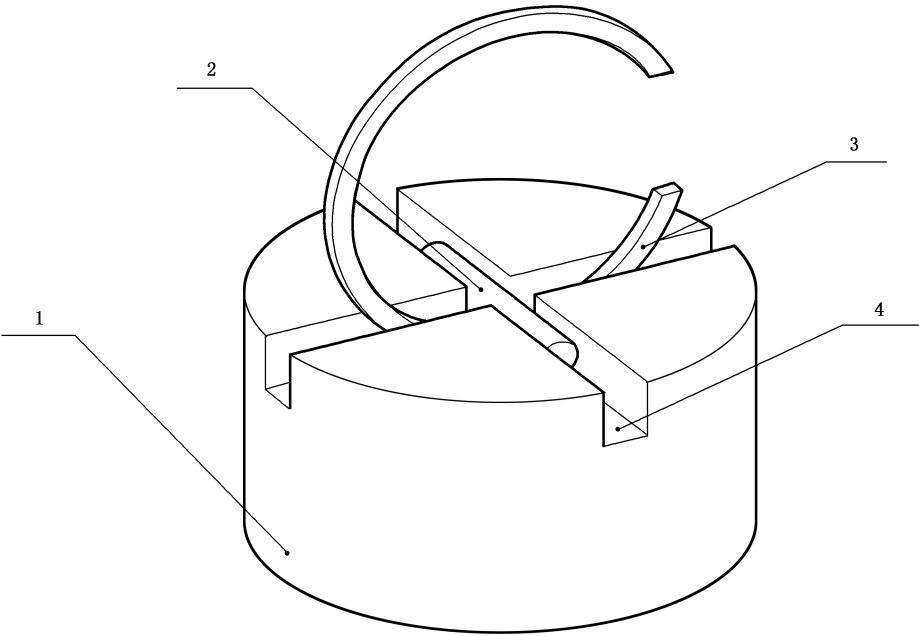
- a) 试验项目名称和执行标准号；
- b) 测试机构的名称、报告编号；
- c) 样品材料类型和批次；
- d) 样品名称、型式、尺寸、数量和编号；
- e) 试验设备及仪器仪表型号、量程及使用情况；
- f) 加载速率、试验温度、加热方式、升温速率、保温时间；
- g) 弹性模量的算术平均值、标准偏差；
- h) 试验人员、试验日期及其他。



附录 A  
(规范性附录)  
夹 具

夹具的示意图如图 A.1 所示,目的是使样品能稳定放置,不发生滚动、转动和倾斜等,并且能使样品缺口中心与样品圆心在同一水平面上。夹具的十字槽底面应平整光滑,侧面与样品无接触。

真空环境或惰性气氛保护环境下,夹具宜采用高强石墨材料。氧化气氛环境下,夹具宜采用耐高温抗氧化陶瓷材料。



说明:  
1——夹具底座;  
2——固定辊棒;  
3——样品;  
4——十字槽。

图 A.1 夹具和缺口环样品安置示意图

### 参 考 文 献

- [1] BSI EN 843-7:2010 Advanced technical ceramics-mechanical properties of monolithic ceramics at room temperature—Part 7:C-ring tests.
- [2] ASTM C 1323-16:2010 Standard Test Method for Ultimate Strength of Advanced Ceramics with Diametrically Compressed C-Ring Specimens at Ambient Temperature.
- [3] ISO/IEC 17025:2017 General requirements for the competence of testing and calibration laboratories.
- [4] WAN D.T.,BAO Y.W.,LIU X.G.,ZHAO H.,TIAN L.,Evaluation of elastic modulus and strength of glass and brittle ceramics by compressing a notched ring specimen,Key Engineering Materials,2011,177,pp.114-117.
- [5] Wereszczak, A., Caspe, R. J., Swab, J. J., Duffy, S. F., Baker, E. H., C-ring strength of advanced monolithic ceramics,Ceramic Engineering and Science Proceedings,2003,24(4),pp.483-490.
- [6] Z.Liu,Y.W.Bao,D.T.Wan,Y.Tian,C.L.Hu,C.G.Wei,A novel method to evaluate Young's modulus of ceramics at high temperature up to 2 100 °C , Ceramics International, 2015, 41, pp. 12835-12840.
-