



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 39685—2020

---

## 陶瓷覆层结合强度试验方法

Test method for determining bonding strength of ceramic coatings

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：上海应用技术大学、中国建材检验认证集团股份有限公司、山东工业陶瓷研究设计院有限公司、深圳华材新材料技术有限公司、重庆文理学院、佛山市陶瓷研究所检测有限公司、焦作众成新材料有限责任公司、江苏武进液压启闭机有限公司、北京矿冶科技集团有限公司、东方电气集团东方汽轮机有限公司、中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司、中国建材检验认证集团淄博有限公司。

本标准主要起草人：张骋、包亦望、万德田、吴萍、陈常祝、林珊、王锦标、孙涛、李四横、蒋经纬、冀晓鹃、巩秀芳、王璐。



# 陶瓷覆层结合强度试验方法

## 1 范围

本标准规定了一种常温下通过在十字粘合试样上加载以检测陶瓷覆层结合强度的试验方法,并对试样的制备、试验模式、加载速率、数据采集、试验报告等进行了规范。

本标准适用于涂覆于各种材料表面的陶瓷覆层。其他各种功能性、防护性、标志性、装饰性等的覆层材料也可参考使用。

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

GB/T 21388 游标、带表和数显深度卡尺

GB/T 27668.1 显微术术语 第1部分:光学显微术

## 3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**陶瓷覆层 ceramic coating**

利用物理或化学工艺涂覆在各种基体材料表面的陶瓷涂覆层。

### 3.2

**最大拉伸载荷 maximum tensile load**

覆层拉伸结合强度试验中,垂直施加于覆层-基体界面至覆层与基体剥离所达到的最大载荷。

### 3.3

**覆层拉伸结合强度 tensile bonding strength**

最大拉伸载荷与覆层从基体上剥离面积之比。



### 3.4

**最大剪切载荷 maximum shear load**

覆层剪切结合强度试验中,平行施加于覆层-基体界面至覆层与基体剥离所达到的最大载荷。

### 3.5

**覆层剪切结合强度 shear bonding strength**

最大剪切载荷与覆层从基体上剥离面积之比。

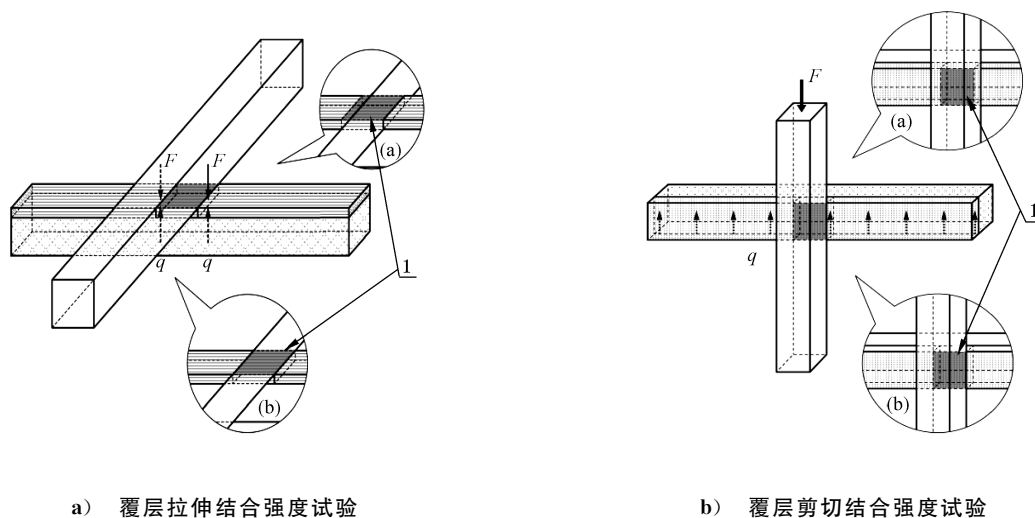
## 4 试验原理

将十字粘合试样以两种不同的方式放置在特制的夹具中并对其施加载荷,使覆层试条与对接棒之

间粘合处的陶瓷覆层处于拉伸或剪切状态；随着载荷不断增大，最终陶瓷覆层与基体剥离，从而得到覆层结合强度数值。如图 1 a) 所示，在测定覆层拉伸结合强度时，十字粘合试样水平放置于夹具中，载荷作用于覆层上产生均匀的拉伸应力（垂直于覆层-基体界面）；如图 1 b) 所示，在测定覆层剪切结合强度时，十字粘合试样垂直放置于夹具中，载荷平行作用于覆层-基体界面，对覆层产生剪切作用。

在进行覆层拉伸和剪切试验时，覆层与基体存在 4 种可能的剥离模式：

- a) 界面失效：覆层完全从覆层-基体界面处剥离；
- b) 覆层断裂：覆层发生自身破坏；
- c) 粘合失效：覆层试条与对接棒之间的粘合发生脱离；
- d) 多重失效：十字粘合试样的破坏包括上述 2 种或 2 种以上模式。



说明：

$F$  —— 载荷；

$q$  —— 支撑；

1 —— 覆层试条与对接棒之间粘合（涂黑部分）；

(a) —— 凹槽对接棒；

(b) —— 平面对接棒。

图 1 覆层拉伸和剪切试验中十字粘合试样受力示意图

## 5 仪器设备

### 5.1 材料试验机

符合 GB/T 16825.1 的规定。

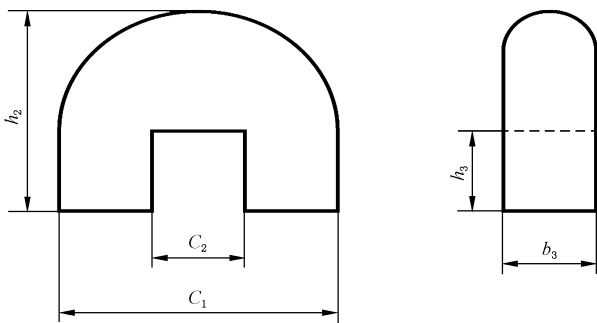
### 5.2 量具

符合 GB/T 21388 规定的游标卡尺。

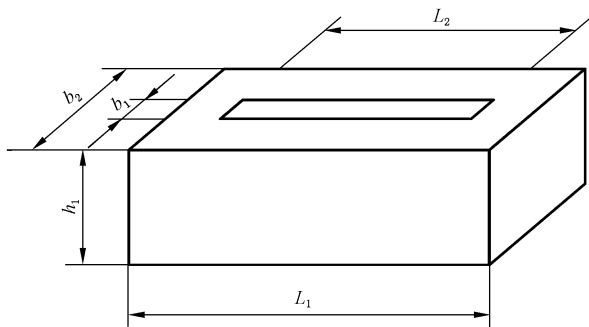
### 5.3 夹具

加载压头顶端应加工成双向圆弧状，使加载过程中压头顶端与十字粘合试样保持点接触；加载压头应与覆层试条宽度（参见图 5、图 6、表 1）相同，即  $b_3 = b$ ；加载压头开槽宽度和深度均略大于十字粘合试样，即： $C_2 > b$ ， $h_3 > b$ ；如图 2 a) 所示。试样支架的开孔长度和宽度均略大于十字粘合试样，即： $L_2 > l$ ，

$b_1 > b$ ，如图 2 b)所示。夹具应具有足够的刚度，应采用弹性模量大于 200 GPa 的材料制作。试样支架上下平面的平行度偏差不大于 0.01 mm，表面应平整光滑。



a) 覆层拉伸结合强度试验用加载压头



b) 覆层拉伸和剪切结合强度试验用试样支架

说明：

- $C_1$ ——压头宽度,  $C_1 < L_2$ ;

$C_2$ ——压头槽距,  $C_2 > b$ ;

$h_1$ ——试样架高度;

$h_2$ ——压头高度;

$h_3$ ——压头槽深,  $h_3 > b$ ;
- $b_1$ ——试样支架开孔宽度,  $b_1 > b$ ;

$b_2$ ——试样支架宽度;

$b_3$ ——压头宽度,  $b_3 = b$ ;

$L_1$ ——试样支架长度;

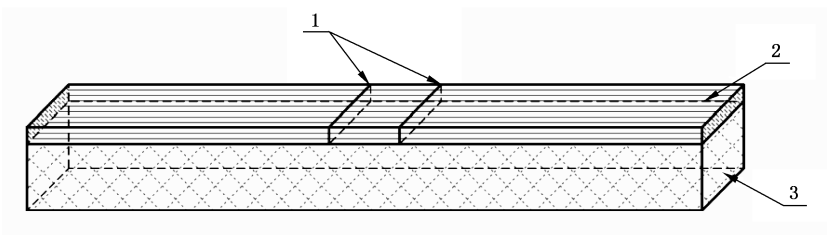
$L_2$ ——试样支架开孔长度,  $L_2 > l$ 。

图 2 试验夹具示意图

6 制样

6.1 试验试条的制备

涂覆有陶瓷覆层的长方体杆。在陶瓷覆层中间切割出两条切口直至基体以分隔出待测区域，如图 3 所示。待测区域的间距与对接棒的宽度相等(见图 3 和表 1)。

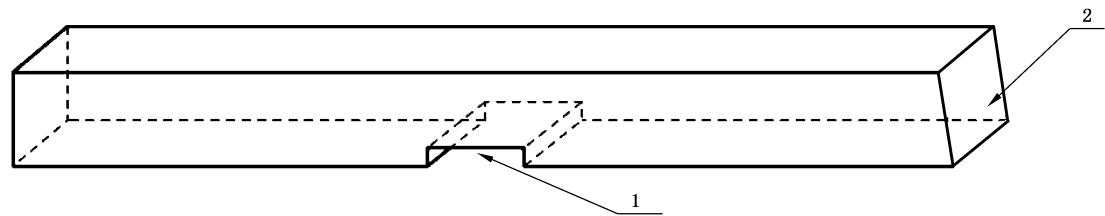


说明：  
1——切口；  
2——覆层；  
3——基体。

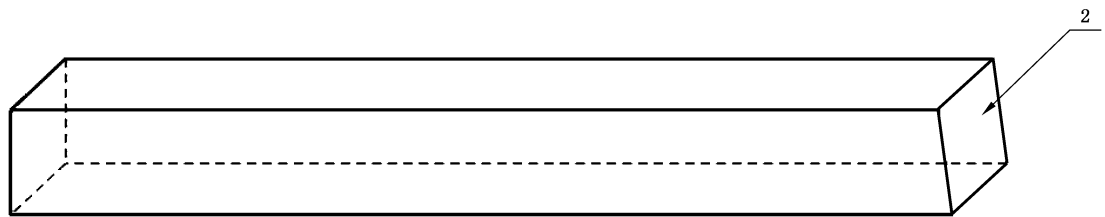
图 3 覆层试条示意图

6.2 对接棒的制备

与覆层试条尺寸相同的不锈钢或其他材质的长方体杆。在对接棒的中部加工出深度略小于覆层厚度的凹槽；如图 4 a)所示。对于超薄覆层试条，也可以使用无凹槽的平面对接棒，如图 4 b)所示。对接棒的一侧顶端应加工出小斜面，以保证在覆层剪切结合强度测试过程中(7.2)载荷直接作用于粘合面，避免由于载荷偏离粘合面而产生力矩作用。



a) 带凹槽的对接棒



b) 不带凹槽的对接棒

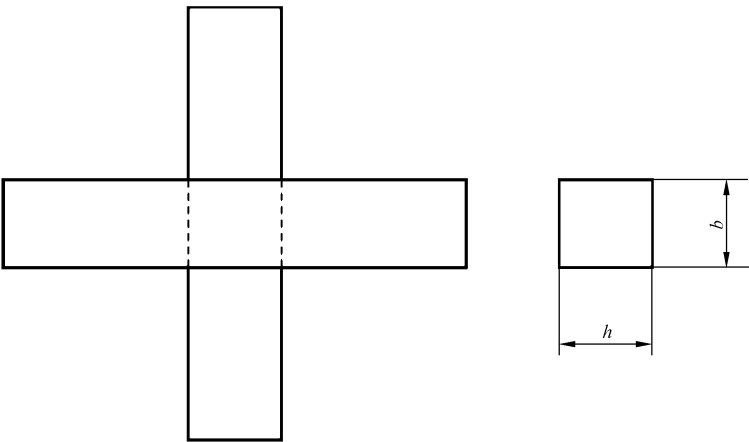
说明：  
1——凹槽；  
2——斜面端。

图 4 对接棒示意图

6.3 十字粘合试样的制备

覆层试条和对接棒应在粘合前进行清洗，表面应无明显的油污、水气和污渍。

将覆层试条的中间待测部位与对接棒的中间部位(凹槽)对接，选择具有尽可能高强度的粘结剂将两者牢固粘合成十字粘合试样，如图 5 所示。应保证所选用的粘结剂不损伤覆层、且不与覆层发生任何反应。

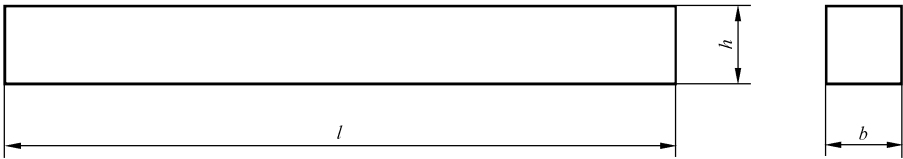


说明：  
 $h$  —— 试样厚度；  
 $b$  —— 试样宽度。

图 5 十字粘合试样的示意图

6.4 试样尺寸

覆层试条和对接棒推荐采用如图 6 和表 1 所示的尺寸和公差。各平行面之间的平行度偏差不超过 0.015 mm，而各相交面的夹角应控制在  $90^{\circ} \pm 1^{\circ}$  以内，不能倒角。



说明：  
 $l$  —— 覆层试条和对接棒长度；  
 $h$  —— 覆层试条和对接棒高度；  
 $b$  —— 覆层试条和对接棒宽度。

图 6 试样示意图

表 1 试样推荐尺寸 单位为毫米

符号	尺寸	公差
$l$	20	$\pm 0.5$
$b$	4	$\pm 0.1$
$h$	4	$\pm 0.1$

## 6.5 十字粘合试样保存

制备完成的十字粘合试样应分隔放置,避免彼此碰擦、划伤。

## 6.6 试样数量

需重复 10 次试验以完成对覆层拉伸结合强度或剪切结合强度的总体评估。

## 7 试验步骤

### 7.1 覆层拉伸结合强度试验

将十字粘合试样的覆层试条水平放置在试样支架的开孔中,对接棒在覆层试条的上方并被试验支架上端支撑,如图 7 所示。先在加载压头的底部粘结一片软胶带,再将其放置在覆层试条上,以保证加载压头表面和试样之间的均匀接触。启动材料试验机以 0.5 mm/min 加载速度在加载压头上均匀施加载荷,直至十字粘合试样发生剥离,记录剥离时的最大载荷值。

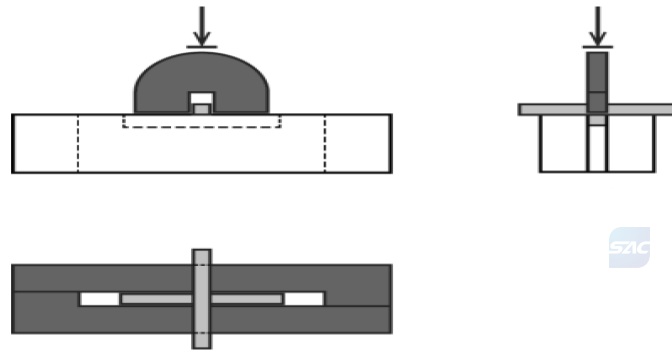


图 7 覆层拉伸结合强度试验十字粘合试样放置示意图

### 7.2 覆层剪切结合强度试验

将十字粘合试样的对接棒无斜面的一端垂直放入试样支架的开孔中(有斜面的一端在上),覆层试条整体水平放置在试样支架上,如图 8 所示。在对接棒的上端贴上软胶带以保证加载均匀。启动材料试验机以 0.5 mm/min 加载速度均匀增加载荷,直至十字粘合试样发生剥离,记录剥离时的最大载荷值。

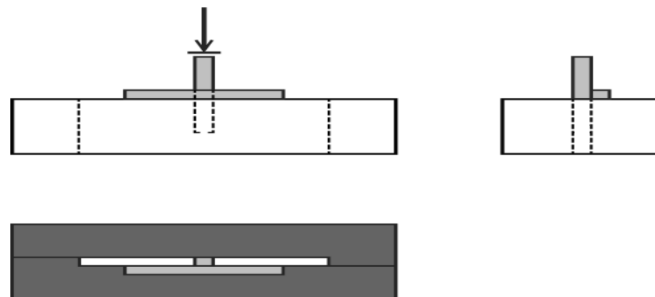


图 8 覆层剪切结合强度试验十字粘合试样放置示意图



7.3 真实覆层剥离面积的评估

试验完成后,按 GB/T 27668.1 规范使用光学显微镜观察覆层试条上测试区域覆层从基体上剥离的情况,评估实际覆层剥离面积( $A_c$ )与覆层试条和对接棒之间粘合面积( $A_0$ )的比值。在显微镜观察的同时拍摄覆层剥离情况照片并进行评估,以供剥离模式的确定及试验报告使用。

7.4 试验环境的记录

测量并记录开展试验所处环境的温度和相对湿度。

8 试验结果

8.1 覆层拉伸结合强度

加载压头仅用于覆层拉伸结合强度试验,在计算覆层拉伸结合强度时最大断裂载荷( $P_c$ )是实际载荷(试验机载荷读数)与加载压头的重量之和。

覆层拉伸结合强度按公式(1)计算。

$$\sigma_t = \frac{P_c}{A_0} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

- $\sigma_t$  ——覆层表观拉伸结合强度,单位为兆帕(MPa);
- $P_c$  ——最大断裂载荷,单位为牛顿(N);
- $A_0$  ——拉伸试验中试样粘合面积, $A_0=b^2$ ,单位为平方毫米(mm<sup>2</sup>)。

本标准将 50% 定义为临界值。如果实际覆层剥离面积  $A_c$  与粘合面积  $A_0$  的比值大于 50%,则规定覆层拉伸结合强度  $\sigma_{ct}$  与覆层表观拉伸结合强度  $\sigma_t$  相等,即  $\sigma_{ct}=\sigma_t$ 。否则,就定性地认为覆层拉伸结合强度大于覆层表观拉伸结合强度,即  $\sigma_{ct}>\sigma_t$ 。

8.2 覆层剪切结合强度

覆层剪切结合强度试验不需要加载压头,试验机压头直接作用在对接棒上端。在计算覆层剪切结合强度时最大断裂载荷( $P_c$ )即为实际试验机载荷读数。

覆层剪切结合强度按公式(2)计算。

$$\tau = \frac{P_c}{A_0} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

- $\tau$  ——覆层表观剪切结合强度,单位为兆帕(MPa);
- $P_c$  ——最大断裂载荷,单位为牛顿(N);
- $A_0$  ——剪切试验中试样粘合面积, $A_0=b^2$ ,单位为平方毫米(mm<sup>2</sup>)。

本标准将 50% 定义为临界值。如果实际覆层剥离面积  $A_c$  与粘合面积  $A_0$  的比值大于 50%,则规定覆层剪切结合强度  $\tau_c$  与覆层表观剪切结合强度相等,即  $\tau_c=\tau$ 。否则,就定性地认为覆层剪切结合强度大于覆层表观剪切拉伸结合强度,即  $\tau_c>\tau$ 。

## 9 试验报告

试验报告应包含以下信息和内容：

- a) 试验室名称及地址；
  - b) 试验日期、试验报告编号、送检单位名称地址、试验人签名等；
  - c) 试验所采用的标准(本标准编号)；
  - d) 试样图纸或说明；
  - e) 覆层情况(覆层材质、基体材料、制备工艺、产品序号等)；
  - f) 对接棒材质及粘结剂；
  - g) 试样总数；
  - h) 试验结果。
-