



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 31567—XXXX  
代替 GB/T 31567—2015

## 用于空气-烟气、烟气-烟气再生式热交换 器的搪瓷换热元件

Regenerative, enamelled and packed panels for air-gas and gas-gas heat exchangers

(ISO 28763:2019, Vitreous and porcelain enamels—Regenerative, enamelled and packed panels for air-gas and gas-gas heat exchangers—Specifications, MOD)

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

## 前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化部分的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替GB/T 31567—2015《用于空气-烟气、烟气-烟气再生式热交换器的搪瓷换热元件》，与GB/T 31567—2015相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- a) 增加了规范性引用文件GB/T 7410.1、GB/T 38094、GB/T 38166（见第2章）；
- b) 删除了气泡、焦斑、爆瓷、铜头、开裂、裂纹、鱼鳞爆、脱瓷、撕裂的术语和定义（见2015版的3.1~3.6、3.8~3.10）；
- c) 更改了针对钢材氢渗透性的要求（见4.1.3，2015版的4.1.3）；
- d) 更改了瓷层基本缺陷的目测距离为1.5 m至2.5 m处（见4.3.4，2015版的4.3.4）；
- e) 更改了集装压力的建议上限值（见4.4.1，2015版的4.4.1）；
- f) 更改了集装后的目测检查数量的要求（见4.4.2，2015版的4.4.2）
- g) 删除了附录D、附录G（见2015版附录D、附录G）；

本文件修改采用ISO 28763:2019《搪瓷制品和瓷釉 用于空气-烟气、烟气-烟气再生式热交换器的搪瓷板 规范》。

本文件与ISO 28763:2019的技术差异及其原因如下：

- a) 用规范性引用的GB/T 4956替换了ISO 2178（见4.3.2），以适应我国的技术条件，增加可操作性；
- b) 用规范性引用的GB/T 7410.1替换了ISO 19496-1（见第3章、4.3.4），以适应我国的技术条件，增加可操作性；
- c) 用规范性引用的GB/T 8424.3替换了ISO 105-J03（见4.3.4），以适应我国的技术条件，增加可操作性；
- d) 用规范性引用的GB/T 16920替换了ISO 7991（见4.2.2），以适应我国的技术条件，增加可操作性；
- e) 用规范性引用的GB/T 9989.2替换了ISO 28706（见4.2.4、4.2.5、4.3.7），以适应我国的技术条件，增加可操作性；
- f) 用规范性引用的GB/T 31565替换了ISO 28723（见4.3.6、4.4.3），以适应我国的技术条件，增加可操作性；
- g) 用规范性引用的GB/T 38094替换了ISO 8289（见4.3.5），以适应我国的技术条件，增加可操作性；
- h) 用规范性引用的GB/T 38166替换了ISO 28764（见4.2.6、4.2.7、4.3.1、4.3.3、4.3.7），以适应我国的技术条件，增加可操作性。

本文件做了下列编辑性改动：

——调整了文本结构，与ISO 28763:2019的结构对应表见附录A。

本标准由中国机械工业联合会提出。

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。

本标准由全国金属与非金属覆盖层标准化技术委员会（SAC/TC 57）归口。

本标准起草单位：浙江开尔新材料股份有限公司、湖南信诺技术股份有限公司、豪顿华工程有限公司、上海锅炉厂有限公司、东华大学

本标准主要起草人：吴嘉许、曹益亭、刘津、罗晖、罗理达、王炳炜、叶佳意、付倍、周向华

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

——2015年首次发布为GB/T 31567—2015；

——本次为第一次修订。

# 用于空气-烟气、烟气-烟气再生式热交换器的搪瓷换热元件

## 1 范围

本文件规定了再生式热交换器用搪瓷换热元件在集装前后的最低要求。

本文件适用于采用湿法浸涂、湿法流动涂搪、湿法喷涂、湿法静电喷涂、湿法电泳涂搪和干粉静电喷涂等各种涂搪工艺的搪瓷换热元件。

## 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 4956 磁性基体上非磁性覆盖 覆盖层厚度测量 磁性法（GB/T 4956—2025，ISO 2178:2016，MOD）

GB/T 7410.1 搪瓷制品和瓷釉 术语 第1部分：术语和定义（GB/T 7410.1—2025，ISO 19496-1:2017，MOD）

GB/T 8424.3 纺织品 色牢度试验 色差计算（GB/T 8424.3—2001，ISO 105-J03:1995，EQV）

GB/T 13790 搪瓷用冷轧低碳钢板及钢带

GB/T 16920 玻璃 平均线热膨胀系数的测定（GB/T 16920—2015，ISO 7991:1987，NEQ）

GB/T 23460.1 陶瓷釉料性能测试方法 第1部分：高温流动性测试 熔流法（GB/T 23460.1—2009，ISO 4534:1980，MOD）

GB/T 9989.2 搪瓷耐化学侵蚀的测定 第2部分：耐沸腾酸、沸腾中性液体及其蒸气化学侵蚀的测定（GB/T 9989.2—2025，ISO 28706-2:2017，MOD）

GB/T 31565 热交换器用钢板搪瓷边缘覆盖率的测定（GB/T 31565—2015，ISO 28723:2008，IDT）

GB/T 38094 搪瓷制品和瓷釉 缺陷检测及定位的低电压试验（GB/T 38094—2019，ISO 8289:2000，IDT）

GB/T 38166 钢板搪瓷、铝搪瓷和铸铁搪瓷的样板制备（GB/T 38166—2019，ISO 28764:2015，MOD）

## 3 术语和定义

GB/T 7410.1界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**搪烧工具痕** fire tool marks

烧印，小凹点，类似于浅的针孔。

### 3.2

**空气-烟气热交换器** air-gas heater

采用燃烧后的烟气作为热流加热燃烧用空气的热交换器。

注1：进入该热交换器的热烟气温度最高为 450 °C，正常工作温度为 320 °C~380 °C。

注2：在本标准中，由脱硝装置（DeNO<sub>x</sub>）使用的空气-烟气热交换器，按烟气-烟气热交换器的技术要求执行。

### 3.3

**烟气-烟气热交换器** gas-gas heater

脱硫装置中，用于再加热由吸收塔处理的烟气，使烟囱排放的烟气温度符合要求的热交换器。

脱硝装置（DeNO<sub>x</sub>）中，用于预加热进入脱硝装置的烟气，减少额外的燃料消耗的热交换器。

注1：应用于脱硫装置的热交换器的热烟气是进入吸收塔前未经处理的烟气，温度最高为 200 °C，正常工作温度为 120 °C~160 °C。

注2：应用于脱硝装置的热交换器的热烟气是经过脱硝处理后的烟气，温度最高为 350 °C，正常工作温度为 200 °C~280 °C。

## 4 要求

### 4.1 钢板基板

#### 4.1.1 交货

搪瓷用钢板应满足GB/T 13790的要求或双方协商的方案，交货时应有质量证明书。

#### 4.1.2 化学分析

化学成分应通过熔炼分析，满足GB/T 13790的要求或双方协商的方案。

#### 4.1.3 氢渗透性

氢渗透性（TH）应符合下列要求之一：

- a) 按附录B中公式（B.1）计算，钢板的氢渗透性（TH）应不小于120；
- b) 按附录B中公式（B.2）计算，给出至少8 min的测试结果。

钢板供应商若未能提供最低氢渗透性及客户协议，则应按4.1.4的要求进行鱼鳞爆试验。

#### 4.1.4 鱼鳞爆试验

按附录B中B.2进行钢板鱼鳞爆试验。试验钢板（150 mm×钢卷宽度）应进行预处理，但不披镍。应根据供应商提供的试验用磨加物配方正反两面涂搪，烘干后，试验搪瓷涂层应在820 °C下烧成5 min，烧成后瓷层的厚度为100 μm~130 μm。烧成后的搪瓷试样应在60 °C~80 °C下热处理24 h，检查试样，如果没有鱼鳞爆则通过试验。

#### 4.1.5 酸洗速度

如果搪瓷厂要求，还应按附录C进行酸洗速度试验，与钢板供应商达成可以接收的水平。

### 4.2 搪瓷瓷釉

#### 4.2.1 交货

搪瓷瓷釉供应商供应瓷釉时应提供至少包含4.2.5和4.2.7试验项目的质量证明书。

无论瓷釉是否变化或磨加物配方是否变化，都应进行4.2.4和4.2.6试验。

当采用预磨搪瓷釉、搪瓷釉浆或粉末搪瓷时，搪瓷厂还可能要求其提供涂搪性能的额外指标。

任何其他要求和试验配方均由供需双方协商决定。

#### 4.2.2 膨胀系数

如果搪瓷厂要求，应提供膨胀系数试验报告。膨胀系数应与搪瓷瓷釉（即：预磨搪瓷釉、搪瓷釉浆和粉末搪瓷的基础釉料）制造企业的试验方法一致，或与GB/T 16920的试验方法一致。

#### 4.2.3 熔流性

如果搪瓷厂要求，应提供熔流性试验报告。熔流性应与搪瓷瓷釉（即：预磨搪瓷釉、搪瓷釉浆和粉末搪瓷的基础釉料）制造企业的试验方法一致，或与GB/T 23460.1的试验方法一致。

#### 4.2.4 耐沸腾水蒸汽

如果搪瓷厂要求，应提供耐沸腾水蒸汽试验报告。耐沸腾水蒸汽应按GB/T 9989.2—2025第14章进行试验。

当按这种方法试验时，搪瓷涂层的最大质量损失应符合表1。

表 1 最大质量损失

热交换器类型	最大质量损失
空气—烟气	20 g/(m <sup>2</sup> ·48 h)
烟气—烟气	6 g/(m <sup>2</sup> ·48 h)

#### 4.2.5 耐酸

耐沸腾硫酸应按GB/T 9989.2—2025第12章进行试验。

#### 4.2.6 热震试验

如果搪瓷厂要求，应按GB/T 38166进行制备至少3个试样，热震试验应按附录D进行试验，试验温度为350℃。

在试验温度下进行5个热循环，试样不应出现任何损伤。

#### 4.2.7 密着强度

应按附录E进行搪瓷密着强度试验，按GB/T 38166进行制样，试样数量至少3个。

### 4.3 瓷层特性

#### 4.3.1 密着强度

对每批已预处理的搪瓷板应进行试验。

用于搪瓷密着强度试验的试样应按照GB/T 38166进行制备，并且采用与换热元件相同生产条件的预处理和涂搪工艺。

当按附录E进行试验时，搪瓷的密着强度应不低于2级。

#### 4.3.2 厚度

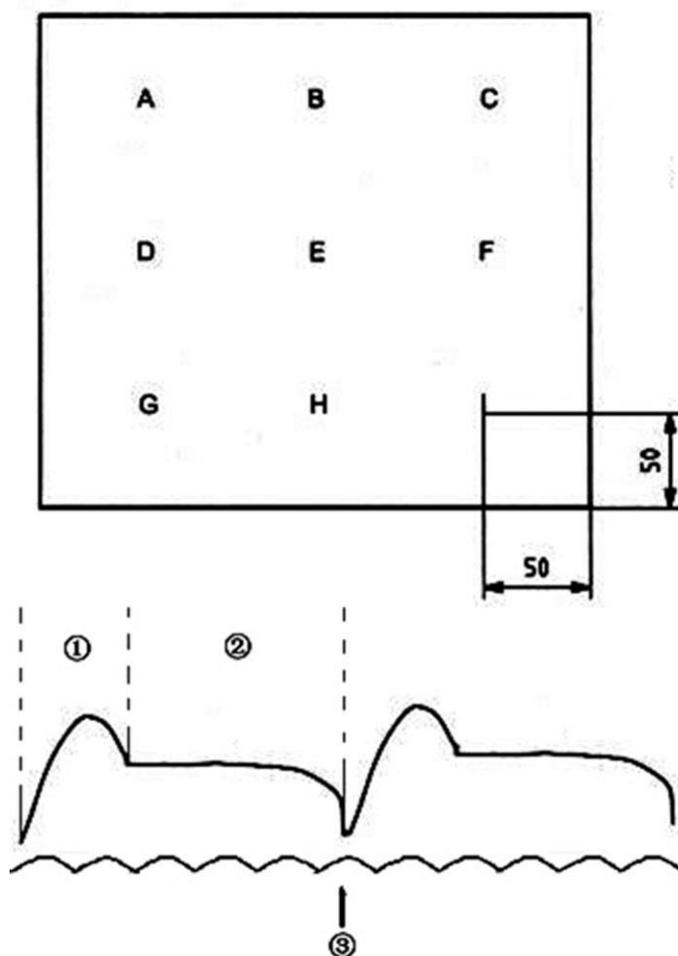
瓷层厚度应按GB/T 4956进行试验，根据横截面形状调节检测设备。先分别确定一对搪瓷板（包括一个定位板和一个波纹板，定位板标为①和②，波纹板示为③）测量区域中的测量点A~I（见图1），测量点离边缘应至少50 mm，然后对测量点的正反面厚度进行测量。每对搪瓷板应有54个测量数据，36个数据来自定位板（①和②各18个数据），18个数据来自波纹板。

54个厚度测量数据的平均值，应在150 μm±30 μm范围内。供应商与客户在订货时另有约定的情况除外。

搪瓷板边缘厚度等于瓷层总厚度加上基板厚度，其中瓷层总厚度的测量值应不大于600 μm（如两面各300 μm）。除了边缘区域和悬挂孔以外，在各测量点附近（如定位板的波谷两侧）的瓷层厚度都不应低于80 μm。

除了这些测量点以外的试验应用显微镜进行。

每2 h为周期进行一次厚度试验。



注:

①, ②:定位板

③:波纹板

图1 厚度测量点

#### 4.3.3 热震试验

搪瓷热震试验用的试样应按GB/T 38166进行制备, 并采用与热交换器用搪瓷板生产相同预处理和涂搪条件, 试样的瓷层厚度应在 $150\ \mu\text{m} \pm 20\ \mu\text{m}$ 之间。

热震试验至少需要3个试样, 应按附录D进行试验, 试验温度为 $350\ ^\circ\text{C}$ 。

在试验温度下进行5个热循环, 试样不应出现任何损伤。

每5 000 kg搪瓷瓷釉, 以及每次调整瓷釉成分, 或基板原材料批号发生变化时, 均应进行1次热震试验。

#### 4.3.4 基本缺陷

应使用目测法, 对搪瓷表面的基本缺陷进行全方位检测, 搪瓷表面不得有如下基本缺陷: 气泡、焦斑、爆瓷、铜头、开裂、裂纹、鱼鳞爆、脱瓷、撕裂等(见GB/T 7410.1)。目测应在距离搪瓷表面1.5 m至2.5 m处、并在自然光或在符合GB/T 8424.3要求的D65人造光源下进行。

注: 搪烧工具痕不算基本缺陷。

#### 4.3.5 针孔率

应按GB/T 38094对穿透到基体金属的针孔率进行试验。

从10 000对搪瓷板中随机抽取10对搪瓷板进行试验，其平均针孔率数应符合表2的要求。若试验的结果在规定的范围内，则抽样比例已经能够充分代表被抽样的全部产品，如果试验的结果不在规定的范围内，则抽样的比例就要放大到0.2%~0.5%。

表 2 最大针孔率

热交换器类型	最大针孔率
空气—烟气	50/m <sup>2</sup>
烟气—烟气	15/m <sup>2</sup>

如果生产过程要求，搪瓷板的缺陷数也可以采用如下方法进行：以每2 h为一个周期，随机抽取1%的产品进行试验。

#### 4.3.6 烟气—烟气热交换器搪瓷板边缘覆盖率

如果客户要求，烟气—烟气热交换器搪瓷板边缘覆盖率应按GB/T 31565进行检测，其平均值应符合供应商与客户订货时的约定。

#### 4.3.7 耐沸腾硫酸

耐沸腾硫酸试验的试样应按GB/T 38166进行制备，其预处理和涂搪工艺条件应与换热器搪瓷板生产时的条件相一致，试样的搪瓷瓷层厚度应为150 μm±20 μm之间。

按GB/T 9989.2—2025第12章进行试验，搪瓷瓷层最大的质量损失应该控制在表3的范围内。

每5 000 kg搪瓷瓷釉，应进行1次耐沸腾硫酸试验。

表 3 最大质量损失

热交换器类型	最大质量损失
空气—烟气	10.0 g/(m <sup>2</sup> ·18 h)
烟气—烟气	2.0 g/(m <sup>2</sup> ·18 h)

#### 4.3.8 返工

搪瓷板的返工率应≤5%。

### 4.4 集装后的特性

#### 4.4.1 集装压力

集装压力偏差应控制在±1 000 kg/m<sup>2</sup>，建议上限4 000~8 000 kg/m<sup>2</sup>。每个装满的换热元件盒的表面积(以平方米为单位)，可以通过其装载的位于中间位置的一对定位板和波纹板的长度和宽度来计算。

#### 4.4.2 目测检查

对于烟气—烟气热交换器，应目测类似爆瓷、开裂和脱瓷等缺陷(见GB/T 7410.1)，尤其应注意定位板和波纹板之间的接触点(在换热元件盒中的第二对、中间对和倒数第二对)。接触点上每平方米允许的最大缺陷数应符合供应商与客户之间的约定。

目测检查应在换热元件盒已承压，完成各个部件排列，但还没有集装焊接时进行。

应对2%元件进行检查，并且每一个转子至少应试验一盒换热元件。

#### 4.4.3 烟气—烟气热交换器搪瓷板边缘覆盖率

如果客户要求，烟气—烟气热交换器搪瓷板的边缘覆盖率应按GB/T 31565进行检测，或目测迎烟气方向的边部。

边缘覆盖率试验应在换热元件盒加压，完成各个部件排列，但还没有集装焊接时进行。

### 5 试验结果的表述

如果客户要求，搪瓷厂应提供表4所列试验的试验结果，以及详细的工艺参数。

表 4 试验结果的汇总

试验	章条	烟气—烟气热交换器	空气—烟气热交换器
钢板基板（第4.1条）			
质量证明书	4.1.1	要求	要求
化学分析	4.1.2	要求	要求
氢渗透性或 鱼鳞爆试验	4.1.3	要求	要求
	4.1.4		
酸洗速度	4.1.5	如果要求	如果要求
搪瓷瓷釉（第4.2条）			
质量证明书	4.2.1	要求	要求
膨胀系数	4.2.2	如果要求	如果要求
熔流性	4.2.3	如果要求	如果要求
耐沸腾水蒸汽	4.2.4	如果要求	如果要求
耐酸	4.2.5	要求	要求
热震试验	4.2.6	如果要求	如果要求
密着强度	4.2.7	要求	要求
瓷层特性（第4.3条）			
密着强度	4.3.1	要求	要求
厚度	4.3.2	要求	要求
热震试验	4.3.3	要求	要求
基本缺陷	4.3.4	要求	要求
针孔率	4.3.5	要求	要求
边缘覆盖率	4.3.6	如果要求	不适用
耐沸腾硫酸	4.3.7	要求	要求
返工	4.3.8	要求	要求
集装后的特性（第4.4条）			
集装压力	4.4.1	要求	要求
目测检查	4.4.2	要求	不适用
边缘覆盖率	4.4.3	如果要求	不适用

## 附录 A

(资料性附录)

本标准与 ISO 28763:2019 文本结构对应表

本标准	ISO 28763:2019	主要内容	变化情况
前言	前言	前言	根据 GB/T 1.1 规定编写
1.范围	1.范围	范围	技术内容无变化
2.规范性引用文件	2.规范性引用文件	规范性引用文件	对于 ISO 28763:2019 规范性引用的国际文件,用适用的我国文件代替。(为使用方便,凡没有适用的我国文件,直接将技术内容引入本标准的规范性附录)
3.术语和定义	3.名词术语和定义	术语和定义	技术内容无变化
4.要求 4.1 钢板基板 4.1.1 交货 4.1.2 化学分析 4.1.3 氢渗透性 4.1.4 鱼鳞爆试验 4.1.5 酸洗速度	4.钢板基板 4.1 交货 4.2 分析 4.3 氢渗透 4.4 鱼鳞爆试验 4.5 酸洗速度	对搪瓷钢板基板的技术要求	技术内容无变化
4.2 搪瓷瓷釉 4.2.1 交货 4.2.2 膨胀系数 4.2.3 熔流性 4.2.4 耐沸腾水蒸气 4.2.5 耐酸 4.2.6 热震试验 4.2.7 密着强度	5.搪瓷瓷釉 5.1 交货 5.2 膨胀系数 5.3 熔流性 5.4 耐沸腾水蒸气 5.5 耐酸 5.6 热震试验 5.7 密着强度	对搪瓷瓷釉的技术要求	用 GB/T 16920 替代 ISO 28763:2019 规范性引用文件 ISO 7991 规定的方法测定膨胀系数(见 4.2.2);用 GB/T 23460.1 替代 ISO 28763:2019 规范性引用文件 ISO 4534 规定的方法测定熔流性(见 4.2.3)。其余技术内容无变化
4.3 瓷层特性 4.3.1 密着强度	6.搪瓷涂层特性 6.1 密着强度	对搪瓷涂层特性的技术要求	技术内容无变化

4.3.2 厚度 4.3.3 热震试验 4.3.4 基本缺陷 4.3.5 针孔率 4.3.6 烟气—烟气热交换器搪瓷板边缘覆盖率 4.3.7 耐沸腾硫酸 4.3.8 返工	6.2 厚度 6.3 热震试验 6.4 基本缺陷 6.5 开口缺陷 6.6 烟气—烟气加热器边部包裹率 6.7 耐沸腾硫酸 6.8 返工		
4.4 集装后的特性 4.4.1 集装压力 4.4.2 目测检查 4.4.3 烟气—烟气热交换器搪瓷板边缘覆盖率	7. 集装后的特性 7.1 集装压力 7.2 目测检查 7.3 烟气—烟气加热器边部包裹率	对换热元件集装后的技术要求	技术内容无变化
5. 试验结果的表述	8. 文件结果的计算和表达	汇总上述要求	根据实际章节编号汇总
附件 A (资料性附录) 本标准与 ISO28763:2019 文本结构对应表			
附件 B (规范性附录) 未涂搪薄钢板抗鱼鳞爆性能的试验方法		ISO28763:2019 的引用标准 EN 10209: 2013 附录 A	技术内容无变化
附件 C (规范性附录) 一次搪钢板酸洗质量损失(铁损)的试验方法		ISO28763:2019 的引用标准 EN 10209: 2013 附录 B	技术内容无变化
附件 D (规范性附录) 搪瓷涂层热震试验的试验方法	附件 A (规范性) 搪瓷涂层热震试验性能的测试方法	搪瓷涂层热震试验的试验方法	技术内容无变化
附件 E (规范性附录) 薄钢板搪瓷密着强度的试验方法		ISO28763:2019 的引用标准 EN 10209: 2013 附录 C	技术内容无变化

## 附录 B

## (规范性附录)

## 未涂搪薄钢板抗鱼鳞爆性能的试验方法

## B.1 氢渗透试验

## B.1.1 适用范围

试验用的薄钢板厚度应为0.5 mm~3 mm。

## B.1.2 原理

在脱脂钢板的一面通过电解产生氢气。从电解开始到氢气穿过钢板到达另一面并被测定的时间被定义为氢渗透时间。渗透时间越长，说明抗鱼鳞爆性能越好。

## B.1.3 仪器和试剂

——钢板氢渗透试验装置；

——电解液：由浓度为6%的 $H_2SO_4$ （60 mL  $H_2SO_4$ ，940 mL蒸馏水）、0.25 g/L的 $HgCl_2$ 和0.5 g/L的 $As_2O_3$ 配制而成。要求每一次试验用的电解液均应采用分析纯试剂重新配制；

——含有硅酸盐的高碱性脱脂剂，适用于薄钢板；

——去离子水；

——浓度为10%~15%盐酸。

## B.1.4 试样

每一批交付的货品中最少要取4个试样（宽70 mm~90 mm，长度不小于100 mm）。应当指出，最易产生鱼鳞爆的部位是钢卷的边部。

## B.1.5 准备

试验槽1：脱脂

每升去离子水溶液中含有 $30 g \pm 5 g$ 脱脂剂，

试验槽必须每天更换试验溶液，使用玻璃钩固定试样，试验槽温度控制在70 °C~75 °C之间，时间为5 min，用磁性搅拌器进行搅拌。

试验槽2：冷水洗

用自来水进行喷淋或浸洗，时间为30 s。

试验槽3：脱脂

步骤与试验槽1相同，浓度为每升去离子水溶液中含有 $20 g \pm 5 g$ 脱脂剂。

试验槽4：热水洗

用自来水进行喷淋或浸洗，温度为65 °C，时间为30 s。

试验槽5：冷水洗

用流动水冲洗，时间为2 min。

## B.1.6 脱脂质量检查

经试验槽5处理后，取一个试样作为控制试样，并按下列方法进行处理（该试样不能用作测定氢渗透时间的试样）。

将该控制试样浸在浓度10%~15%的盐酸溶液(100 g/L~150 g/L HCl)中, 温度为室温, 时间为15 s。

将试样完全浸没在去离子水中, 然后用自来水冲洗。

将试样垂直放置15~20 s, 观测在试样表面流过的水膜状态, 水应该在试样表面均匀地流过, 水膜不应该有破损。

如果水膜试验不理想, 可以增加脱脂时间。如果总的脱脂时间超过30 min, 该试样则不能使用。

### B.1.7 渗透试验步骤

准备步骤如下:

将试样固定在一个电解装置上, 该装置呈漏斗状, 由有机玻璃制成, 分为上下两个部件, 在放置试样的水平面上各有一个直径为40 mm的圆孔(分别对应试样的上表面和下表面)

下部件与毛细管(内直径为 $1 \pm 0.1$  mm)相连接(见图B.2)

将下部件与毛细管充满有色水溶液。

将上部件充满上述所提到的电解溶液, 试样作为阴极, 而开孔的铂圆片作为阳极。

电解电流(6 V直流电, 电流密度 $0.125$  A/cm<sup>2</sup>)由一个整流器提供。

将带有恒温器电路的玻璃圈浸入电解溶液中, 控制温度在 $25$  °C  $\pm$   $0.5$  °C。试样与电解溶液接触至少10 min, 以便达到正确的温度。

使用下部件里的活塞, 调整毛细管中液体的起始液面位置。经过10 min后, 建立电解电流, 这即为渗透曲线的起始时间。

在试样的上表面, 电解将导致氢气的过饱和。部分氢气将穿过试验板, 取代等量体积的有色水溶液。

穿过试样的氢气量使毛细管中的液面高度发生变化, 并经光电传感器传送到液面跟踪记录装置。

根据记录结果, 使用切线法(见图B.1), 即可确定氢渗透时间。

### B.1.8 结果表示

用下列公式计算氢渗透性:

$$TH = \frac{15t_o}{d^2} \dots\dots\dots (B.1)$$

或

$$TH = \frac{t_o}{d^2} \dots\dots\dots (B.2)$$

上述公式中:

$t_o$ : 氢渗透时间, 单位为min(精度0.1 min);

$d$ : 试样的厚度, 单位为mm(精度0.01 mm)。

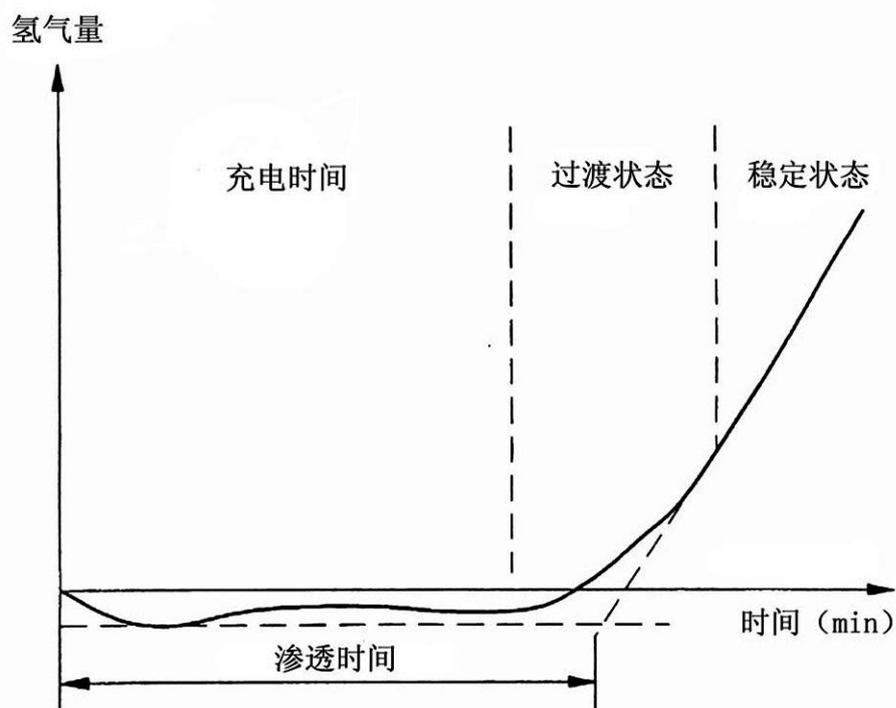


图 B.1 渗透曲线

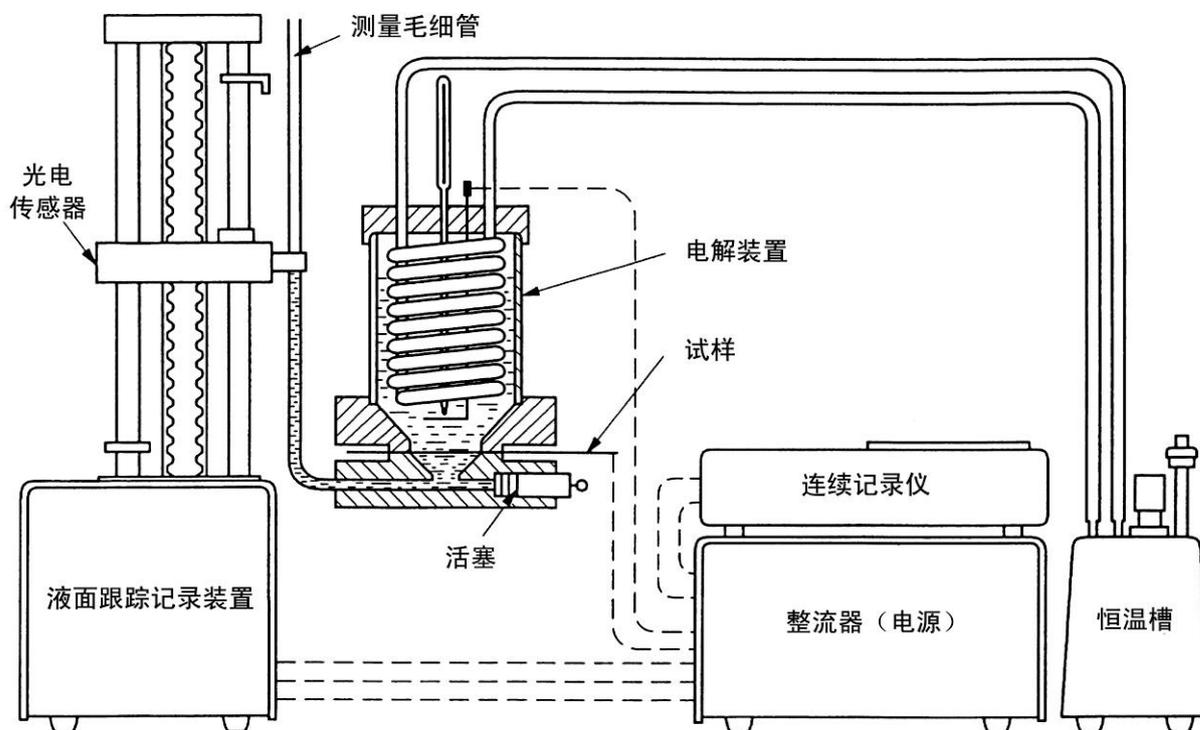


图 B.2 钢板氢渗透试验装置

## B.2 鱼鳞爆试验

该鱼鳞爆试验使用特殊的搪瓷熔块。

为了测定抗鱼鳞爆性能，可以使用另一个试验方法。采用特殊的搪瓷釉，使用固定的参数在实验室进行搪瓷涂搪以便开展鱼鳞爆试验。

通常情况下，涂搪厚度在100  $\mu\text{m}$ 左右，搪瓷的密着强度在3级或以上，涂搪烧成24 h后，用目测检查搪瓷是否有鱼鳞爆。

## 附录 C

## (规范性附录)

## 一次搪钢板酸洗质量损失(铁损)的试验方法

## C.1 原理

试样在硫酸浓度为70 g/L和 $\text{Fe}^{2+}$ 浓度为2 g/L $\pm$ 0.2 g/L的溶液中酸洗,测量其质量损失,并转换成单位为 $\text{g}/\text{m}^2$ 的钢板表面质量损失。

## C.2 材料与仪器

- 厨房用纸;
- 高精度天平(精度为1 mg);
- 1 L低型烧杯,外径为106 mm,高度为145 mm;
- 带电磁搅拌器的加热板;
- 实验室用恒温器;
- 玻璃钩;
- 喷雾器;
- 盐酸,分析纯;
- 硫酸,分析纯;
- 待试验用钢板;
- 高纯去离子水,最大电导率30  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ;
- 校准的温度计;
- 含有硅酸盐的高碱性脱脂剂,适用于薄钢板(脱脂槽1和3);
- 适用于脱脂槽9的碱溶液(汉高Henkel P3 T320 或类似的产品);
- 电热空气干燥器。

## C.3 试样

试样的尺寸为100 mm $\times$ 100 mm。要求平整且没有任何变形,取样必须离开钢卷边部150 mm。

要求试样表面没有任何侵蚀和机械损伤,也不能有任何毛刺。试样开有一个6 mm直径的孔,以便装玻璃钩。

## C.4 准备

试样必须烘干,并用厨房用纸擦干净。

## C.5 称量

试样用分析天平称量,精确到mg(称量值 $P_1$ )。

## C.6 清洁

**试验槽1：脱脂**

含有硅酸盐的高碱性溶液，浓度为 $30\text{ g/L} \pm 5\text{ g/L}$ 。

每天更换槽中试验溶液，使用玻璃钩固定试样，试验槽温度控制在 $70\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 75\text{ }^{\circ}\text{C}$ 之间；脱脂时间为 $5\text{ min} \pm 15\text{ s}$ ，并用电磁搅拌器进行搅拌。

**试验槽2：冷水冲洗**

用自来水进行喷淋或浸洗，时间为 $30\text{ s}$ 。

**试验槽3：脱脂**

步骤与试验槽1相同，脱脂剂浓度为 $20\text{ g/L} \pm 5\text{ g/L}$ 。

**试验槽4：热水洗**

用自来水进行喷淋或浸洗，温度为 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，时间为 $30\text{ s}$ 。

**试验槽5：冷水洗**

用流动水冲洗，时间为 $2\text{ min}$ 。

**C.7 脱脂质量检查**

经试验槽5处理后，取一个试样作为受控试样，并按下列方法进行处理（该受控试样不能再用于测定酸洗质量损失）。

将该受控试样浸在浓度为 $10\% \sim 15\%$ 的盐酸溶液（ $100\text{ g/L} \sim 150\text{ g/L HCl}$ ）中，温度为室温，时间为 $15\text{ s}$ 。

将受控试样完全浸没在去离子水中，然后用自来水冲洗。

将受控试样垂直放置 $15 \sim 20\text{ s}$ ，观测在试样表面流过的水膜状态，水应在试样表面均匀地流过，水膜不应有破损。

如果水膜试验不理想，可以增加脱脂时间。如果总的脱脂时间超过 $30\text{ min}$ ，该批试样则不能使用。

**C.8 酸洗****试验槽 6：温度设定**

将试样浸入温度为 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的水槽中。

**试验槽 7：酸洗**

酸洗条件：浓度为 $70\text{ g/L}$ 的硫酸，温度为 $70\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，时间为 $7\text{ min} \pm 5\text{ s}$ ，用电磁搅拌器进行搅拌。

$\text{Fe}^{2+}$  浓度： $2\text{ g/L} \pm 0.2\text{ g/L}$ 。

按下列方法准备试验槽：将 $40\text{ mL}$ 硫酸（密度为 $1.84$ ）加入到 $150\text{ mL}$ 去离子水中，然后加水至 $1\text{ }000\text{ mL}$ 。将溶液加温到酸洗温度 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，再将 $2\text{ g} \pm 0.2\text{ g}$ 的钢板（此钢板与经C.6、C.7处理的试验钢板相同）溶解到硫酸中（溶解大约 $20\text{ min}$ ），使 $\text{Fe}^{2+}$ 浓度达到 $2\text{ g/L} \pm 0.2\text{ g/L}$ 。检查硫酸和 $\text{Fe}^{2+}$ 浓度是否符合要求。

最多酸洗3个试样后，就要更换酸洗液。即便是新配制的未使用过的酸洗液，超过3天就不能再使用。

**试验槽 8：冷水洗**

用冷水喷淋或浸洗，时间为 $15\text{ s}$ 。

**试验槽9：中和**

将试样浸入碱性溶液（例如，浓度为 $6\text{ g/L Na}_2\text{CO}_3 \pm 0.7\text{ g/L Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ，温度为 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，时间为 $2\text{ min}$ 。）

**试验槽10：热水洗**

用热水喷淋或浸洗，时间为 $30\text{ s}$ ，温度为 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

### C.9 烘干

用电热空气干燥器进行烘干。

### C.10 称量

当冷却到室温后，对试样立即进行称量(称量值为 $P_2$ )。

### C.11 评估

将二次称量的差值除以试验板的总面积(0.02 m<sup>2</sup>)，计算出钢板表面酸洗的质量损失  $P$  (g/m<sup>2</sup>)：

$$P = \frac{P_1 - P_2}{0.02} \text{ (g/m}^2\text{)} \dots\dots\dots \text{(C. 1)}$$

需要说明的是，对不少于3件试样的测量值进行平均，该平均值与每个试样的测量值之间的最大偏差不应大于10%，否则就必须重新进行试验。

## 附录 D

### (规范性附录)

#### 搪瓷涂层热震试验的试验方法

##### D.1 试验步骤

使用强制空气对流烘箱，将试样加热到符合要求的试验温度，在该温度下保温10 min。  
从烘箱中取出试样，在5 s内放入温度在15 °C~20 °C的水中，完全浸没在水中至少30 s。  
从水中取出试样，烘干，冷却到室温。重复上述试验步骤4次，完成5个热循环。

##### D.2 结果表示

检查试样，是否有爆瓷、开裂、裂纹和脱瓷等损伤。

## 附录 E

## (规范性附录)

## 薄钢板搪瓷密着强度的试验方法

## E.1 适用范围

试验用薄钢板必须平整，没有变形，厚度0.6 mm~3 mm。

## E.2 原理

一个涂搪薄钢板试样，由一个半球状的冲击锤冲击变形，冲击锤质量为1.5 kg，冲击高度与未涂搪钢板厚度有关。

## E.3 装置

冲击试验装置如图E.1所示，具体要求如下：

- 冲击锤的质量为1.5 kg；
- 冲击锤呈半球状，其直径为22 mm；
- 冲击基座上的圆孔直径为20.6 mm，冲入的半径为2 mm。

## E.4 试验步骤

首先用厨房用纸将涂搪薄钢板擦干净，然后将其固定在基座和支撑架之间。  
将1.5kg冲击锤置于高度h，高度的具体数值取决于未涂搪的钢板厚度，见表 E.1。

表 E.1 冲击高度

0.6 mm ≤ 钢板厚度 ≤ 0.8 mm	h = 300 mm
0.8 mm < 钢板厚度 ≤ 1.2 mm	h = 500 mm
1.2 mm < 钢板厚度 ≤ 3 mm	h = 750 mm

冲击锤冲击。

提升冲击锤，取出被冲击试样。

必须等冲击后的爆瓷现象全部停止后，才能评价搪瓷的密着强度级别。

## E.5 密着强度评价

## E.5.1 平板试样

根据冲击试验后涂搪薄钢板的状况，对照参考图(图E.2)，评价密着强度。  
级别“1”对应于非常好的密着强度，级别“5”对应于非常差的密着强度。

- 1级：冲击后的表面完全附着搪瓷层(最好的密着强度)。
- 2级：冲击后的表面几乎完全附着搪瓷层(很好的密着强度)。
- 3级：冲击后大部分附着搪瓷层，少量露金属板(比较好)。
- 4级：冲击后少部分附着搪瓷层，大量露金属板(比较差)。
- 5级：冲击后全部脱瓷，搪瓷层、金属层分离非常清楚(非常差)。

#### E.5.2 非平板试样

如果必须试验非平板试样，产品供应商和采购商在试验前，必须对试验所用的仪器和试验结果的解释达成一致，否则，应参照本试验方法。

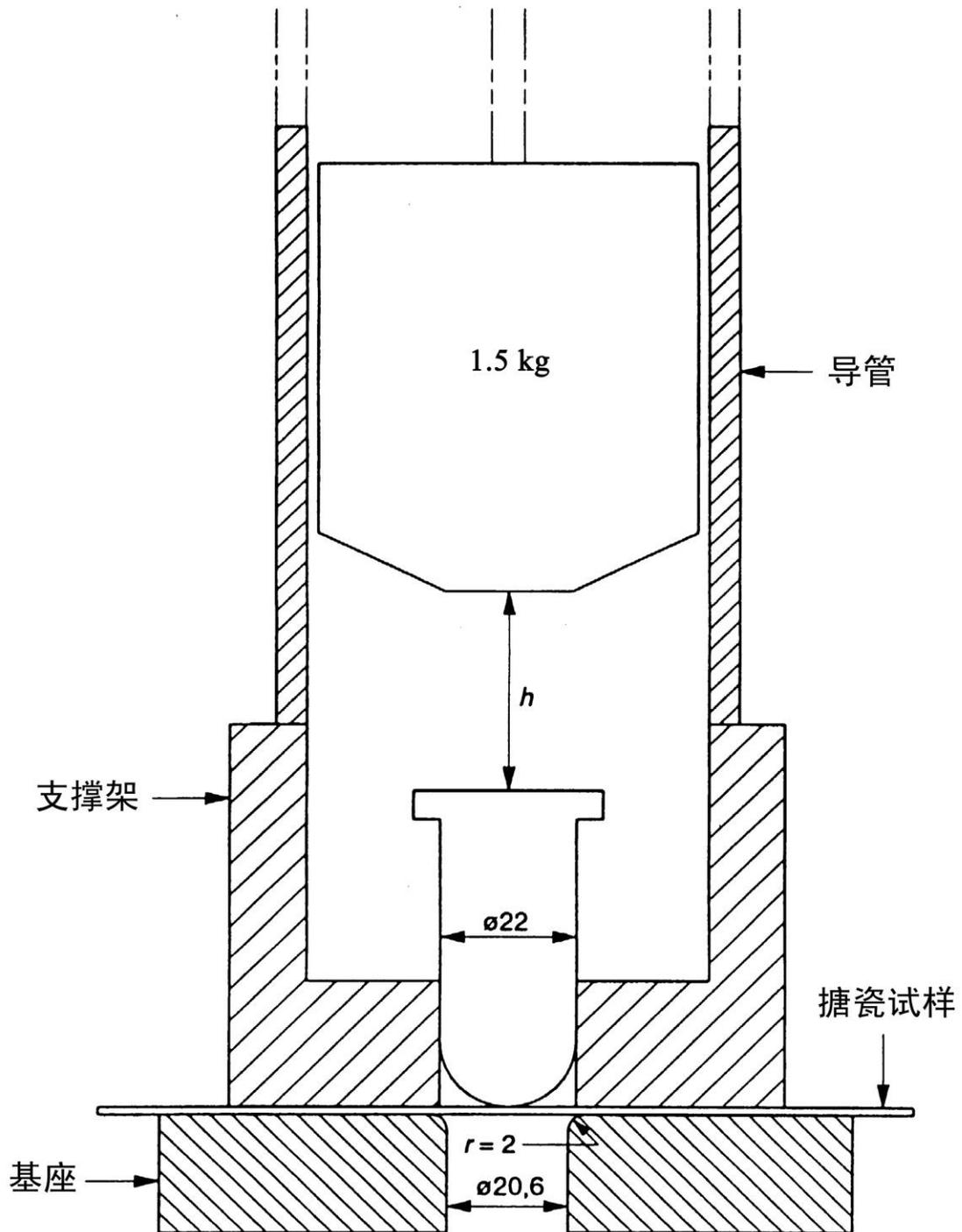
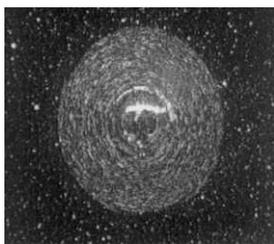
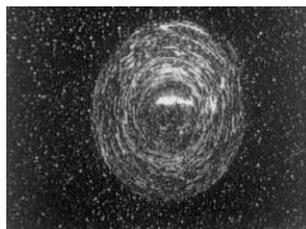


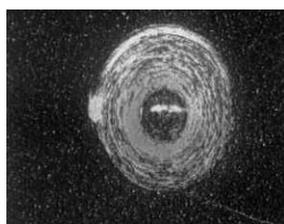
图 E. 1 冲击试验装置



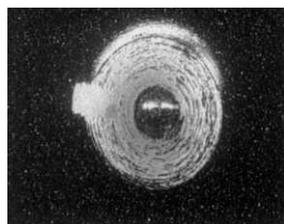
密着强度1级



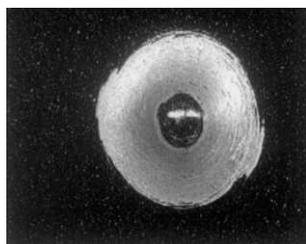
密着强度2级



密着强度3级



密着强度4级



密着强度5级

图 E. 2 搪瓷密着强度（冲击试验）