



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 40738—2021

---

## 熔模铸造 硅溶胶快速制壳工艺规范

Investment casting—Technical specification for rapid shell build with colloidal  
silica binder

2021-10-11 发布

2022-05-01 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：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由全国铸造标准化技术委员会(SAC/TC 54)提出并归口。

本文件起草单位：东风精密铸造有限公司、东营嘉扬精密金属有限公司、胜利新大实业集团有限公司、上海交通大学、苏州泰尔航空材料有限公司、浙江米皇新材股份有限公司、中国航发南方工业有限公司、贵州安吉航空精密铸造有限责任公司、青岛新诺科新材料科技发展有限公司、沈阳铸造研究所有限公司、东莞德威铸造制品有限公司、山东泰义金属科技有限公司。

本文件主要起草人：马波、蔡华洲、汪东红、魏智育、段继东、郝新、李毅、朱家辉、蓝勇、张寅、李锐、迟连功、陶佳栋、宋珊珊、武超、邵斌、吴光鹏、王正、钟泉、张立军、黄华。

# 熔模铸造 硅溶胶快速制壳工艺规范

## 1 范围

本文件规定了熔模铸造硅溶胶快速制壳所用原辅材料,快速制壳工艺技术要求,检验与检测方法。  
本文件适用于熔模铸造硅溶胶快速制壳原辅材料的选择、工艺制定与过程控制。

## 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 5611 铸造术语
- GB/T 11007 电导率仪试验方法
- GB/T 11165 实验室 pH 计
- GB/T 12214 熔模铸造用硅砂、粉
- GB/T 12215 熔模铸造用铝矾土砂、粉
- GB/T 14235.1 熔模铸造低温模料 第 1 部分:物理性能试验方法
- GB/T 32251 熔模铸造工艺 污染物的控制
- HB 5346 熔模铸造用硅溶胶
- HB 5347 熔模铸造用电熔白刚玉粉
- HG/T 2521 工业硅溶胶
- JB/T 9223 铸造用锆砂、粉
- JB/T 11733 熔模铸造用煅烧高岭土砂粉

## 3 术语和定义

GB/T 5611 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**硅溶胶** silica sol(colloidal silica)

熔模铸造用黏结剂,与耐火粉料构成熔模铸造用涂料。

注:一般为碱性,以  $\text{Na}^+$  为稳定剂,分子式: $m\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ 。

### 3.2

**快干硅溶胶** rapidly dried sol silicate

通过对硅溶胶胶团微结构改造、表面离子改性、添加水溶性高聚物材料或者几种措施复合作用,缩短制壳干燥时间的特殊硅溶胶品种。

### 3.3

**快干剂** quick-drying agent

一种加入硅溶胶涂料后能缩短型壳干燥时间的辅助制壳材料,一般为水溶性高聚物材料。

3.4

砂料、粉料 sand and flour

熔模铸造用耐火材料颗粒物。

注：型壳用砂粉按粒径或粗细度的不同分粉料和砂料，粉料粒径为 0.075 mm(粗细度 200 目)以下的颗粒物；砂料粒径一般在 0.075 mm~3.350 mm(粗细度 200 目~6 目)之间。常用粉料和砂料包括锆英石、刚玉、高岭土、铝矾土、石英、熔融石英等。

3.5

粉液比 powder-to-liquid ratio

涂料中粉料与黏结剂、去离子水等液体溶剂的质量比。

3.6

快速制壳 fast drying of ceramic shell

通过使用快干硅溶胶、快干剂等对制壳涂料改性，及通过制壳环境参数改变，使其制壳干燥时间比传统工艺缩短1/2以上的一种制壳工艺。

4 快速制壳用原辅材料

4.1 模料

熔模铸造常用模料包括填充型模料、非填充型模料及快速原型等。模料的软化点、线收缩率、灰分等指标应满足工艺要求。

4.2 黏结剂

4.2.1 黏结剂的选择

可选择快干硅溶胶成品或普通硅溶胶。普通硅溶胶宜与快干剂配合使用。硅溶胶的 SiO<sub>2</sub> 含量、平均粒径应满足工艺要求。

4.2.2 熔模铸造用普通硅溶胶

熔模铸造常用的碱性硅溶胶产品，均适用于本文件。

4.2.3 快干硅溶胶

快干硅溶胶的种类、品牌、快干机理各不相同，其用于制壳的干燥时间应能满足表 1 要求。

表 1 快干硅溶胶各层型壳的干燥时间

层次	层间干燥时间	
	与普通硅溶胶干燥时间比	绝对干燥时间/h
面层	≤50%	3~5
过渡层	≤50%	4~6
加固层	≤40%	2~6
封浆	≤40%	1~6

4.3 耐火材料

4.3.1 快速制壳所用砂料可以选择高岭土熟料、电熔白刚玉、锆英、铝矾土、石英等，其平均粒度、SiO<sub>2</sub>

含量、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量应满足工艺要求。

4.3.2 为避免粉料中碱性氧化物、水溶带电离子破坏涂料性能,宜监测粉液 pH 值、电解质电导率。煅烧高岭土粉液按照附录 A 方法制备。煅烧高岭土粉液 pH 值与电导率见表 2。

表 2 高岭土粉液 pH 值与电解质电导率

检测项目	参考范围
pH 值	6.0~9.5
电解质电导率/( $\mu$ S/cm)	$\leq 200$

4.3.3 粉料、撒砂料按面层、过渡层、加固层(也称“背层”)区分。砂粉料粒度按制壳层次均衡增加;不同制壳层次采用同一种粉料的,粉料粒径可以相同。具体耐火材料粒度见表 3。

表 3 不同制壳层次的耐火材料粒度

耐火材料	层次	常用粒度(单位:目数或 mm)	备注
制壳粉料	面层、过渡层、加固层	按目数:200;270;325;400 按粒径(mm):0.075;0.053;0.045;0.038	视粉料品种选择
制壳砂料	面层	按目数:40~70;40~100;80~120 按粒径(mm):0.212~0.425; 0.150~0.425;0.125~0.180	视工艺要求选择
	过渡层	按目数:30~60;60~80 按粒径(mm):0.250~0.600;0.250~0.180	视工艺要求可微调
	加固层	按目数:16~30;8~16 按粒径(mm):0.600~1.18;1.18~2.36	

4.4 快干剂

4.4.1 快干剂包括液态快干剂和固态快干剂。常见的液态快干剂包括聚丙烯酰胺、聚丙烯酸钾、聚丙烯酸钠等;固态快干剂一般是水溶性高聚物,如聚乙烯醇等。

4.4.2 在普通硅溶胶中添加快干剂后,制壳干燥时间应达到表 1 规定的绝对干燥时间。

4.4.3 不同类型的快干剂,添加方式、添加量与预处理方式均不相同,应单独建立操作规程予以控制。

4.5 其他辅助材料

4.5.1 面层涂料中添加表面活性剂。表面活性剂宜选用非离子型产品,避免活性剂与硅溶胶之间的相互影响。

4.5.2 面层涂料中添加消泡剂。消泡剂宜选用非离子型有机硅类产品。

4.5.3 根据产品结构,快速制壳所用的硅溶胶或涂料中还应添加防止型壳干燥过快而开裂的辅助强化材料,辅助强化材料添加后应确保型壳强度、铸件表面质量符合工艺要求。

5 快速制壳工艺技术要求

5.1 蜡模组树检查

制壳前应确认蜡模质量符合工艺质量要求,检查蜡模组树表面是否清洗干净,无蜡滴与蜡屑、无披缝与焊缝。

5.2 快速制壳工艺流程

5.2.1 快速制壳工艺流程见图 1。

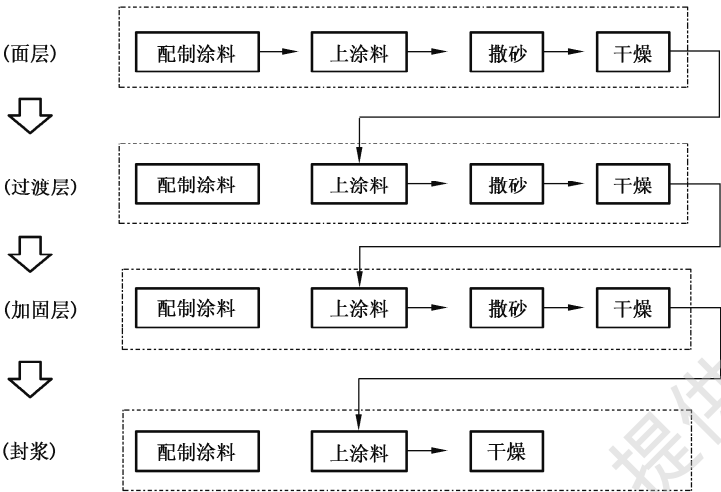


图 1 硅溶胶快速制壳工艺示意图

5.2.2 根据零件结构可分别设置多层面层、过渡层、加固层。

5.3 配制涂料

5.3.1 快速制壳用涂料采用快干硅溶胶直接与粉料按一定粉液比配制；或采用普通硅溶胶与一定量的快干剂混溶后，再与粉料按一定粉液比配制。

5.3.2 配制涂料在连续转动的涂料搅拌桶中完成，加料次序及搅拌要求如下。

- a) 快干硅溶胶可一次性加入搅拌桶；普通硅溶胶一次性加入后，搅拌桶边旋转边缓慢加入快干剂，快干剂全部加入后，搅拌时间不低于 3 min，确保胶水中无絮状物。
- b) 耐火粉料可分两至三次加入搅拌桶，每次加入后搅拌时间不低于 5 min，确保涂料桶内无未分散的粉团；其他固态添加剂混合在粉料中一起添加。
- c) 视制壳质量需要，加入表面活性剂、消泡剂、悬浮剂等液态添加剂。
- d) 涂料组分全部添加进涂料搅拌桶后，开始计量涂料搅拌时间。

5.3.3 应设定面层、过渡层、加固层等各层涂料最低搅拌时间，保证涂料均匀，且涂料黏度、涂片重量、涂料密度等主要参数达到工艺要求方能使用。典型耐火材料配制的快干硅溶胶涂料搅拌时间见表 4。

表 4 典型耐火材料涂料配制搅拌时间

单位为小时

层次	锆英粉涂料		莫来粉涂料		石英粉涂料		重点监控指标
	新配涂料	补充配料	新配涂料	补充配料	新配涂料	补充配料	
面层	≥24	≥12	≥20	≥10	≥10	≥5	涂料黏度、涂片厚度、 涂料密度
过渡层	≥16	≥8	≥10	≥5	≥5	≥3	
加固层	≥12	≥6	≥10	≥5	≥5	≥3	涂料黏度、涂料密度
采用附录 B 中的标准流杯，分 3 次测量涂料黏度，每次间隔 1 min，测量涂料搅拌桶中 3 个点的涂料黏度；黏度值误差±2 S，即可判定搅拌均匀。							

5.3.4 快速制壳涂料的寿命较普通硅溶胶涂料会有所缩短,涂料配制后应尽快用完。未用尽涂料在涂料桶中维持搅拌若超过 3 天,再次使用前应重新测定涂料黏度、涂片厚度、涂料密度等指标是否符合工艺要求,指标超出工艺要求范围的,应补充黏结剂、耐火材料、快干剂等新材料,充分搅拌,重新测定合格后才能使用。未用尽涂料超过 7 天的,还应增加胶凝性指标检测,胶凝性超标 20%的,不应继续使用。

5.4 快速制壳工艺

- 5.4.1 熔模铸造制壳工艺包括上涂料、撒砂、干燥等 3 个工序。
- 5.4.2 上涂料包括常压或真空流涂、浸涂与喷涂等。快速制壳上涂料一般采用常压浸涂或流涂。
- 5.4.3 撒砂采用浮砂或淋砂方式。
- 5.4.4 型壳干燥主要控制温度、湿度、风速三个参数。不同铸件结构、不同模料、不同耐火材料、不同涂料黏度,干燥的温度、湿度、风速设置均不相同。表 5 列出了适宜于快速制壳干燥通用性环境参数。

表 5 适宜于快速制壳干燥通用性环境参数

层次	温度/℃	湿度/%	风速/(m/s)	层间干燥时间/h	干燥判断
面层	25±3	50~75	1.6~3.3	3~5	测量孔、槽等深腔部位型壳温度与外表面温差,面层、过渡层温差≤1℃,加固层≤1.5℃
过渡层	25±3	45~65	3.4~5.4	4~6	
加固层	27±5	≤60	5.5~7.9	2~6	
封浆	27±5	≤60	5.5~7.9	1~6	
具体湿度要求可根据区域环境、季节变化,由供方自行调整。 环境温度视产品尺寸精度、模料种类,由供方自定。 制壳环境湿度越大,温度越低,风速相应宜调大。					

- 5.4.5 脱蜡及焙烧后的型壳应满足抗弯强度要求值,并能保障产品外观、尺寸精度等符合图纸规定。抗弯强度评价频次由供方自行确定。
- 5.4.6 制壳过程涉及的材料、工艺污染物应符合 GB/T 32251 规定。

5.5 制壳工艺参数控制

- 5.5.1 硅溶胶快速制壳工艺参数应被记录并跟随产品工序交接,工艺参数记录包括但不限于下列内容:
  - a) 模料种类及规格,模组数量;
  - b) 制壳各层次黏结剂、砂粉材料、快干剂和其他辅助材料的种类、规格及批次;
  - c) 制壳各层次的环境温度、湿度、风速等;
  - d) 各层次涂料黏度、涂片厚度、型壳表面温度、深孔温度、干燥时间等。
- 5.5.2 制壳工艺参数按产品批次进行记录管理。

6 检验方法

- 6.1 模料的软化点、线收缩率、灰分检验按 GB/T 14235.1 的规定执行。
- 6.2 硅溶胶的 SiO<sub>2</sub> 含量、平均粒径检验按 HG/T 2521、HB 5346 的规定执行。
- 6.3 高岭土熟料的平均粒度、SiO<sub>2</sub> 含量、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量检验按 GB/T 12214 的规定执行。
- 6.4 电熔白刚玉的平均粒度、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量检验按 GB/T 12215 的规定执行。
- 6.5 锆英砂粉的平均粒度、ZrO 含量检验按 HB 5347 的规定执行。

- 6.6 铝矾土砂、粉的粒度、 $\text{SiO}_2$  与  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量检验按 JB/T 9223 的规定执行。
- 6.7 石英砂、粉的平均粒度、 $\text{SiO}_2$  含量检验按 JB/T 11733 的规定执行。
- 6.8 高岭石粉 pH 值、离子浓度测定按附录 A 执行。
- 6.9 涂料黏度、涂料密度、涂片厚度测定按附录 B 执行。
- 6.10 型壳的抗弯强度测定按附录 C 执行。
- 6.11 涂料胶凝性测定按附录 D 执行。



## 附录 A

(规范性)

## 高岭石粉 pH 值、离子浓度检测方法

## A.1 原理

A.1.1 高岭石粉与硅溶胶配制涂料时,其中的电解质成分会溶于硅溶胶中,形成  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{K}^{+}$ 、 $\text{Na}^{+}$  等离子,对硅溶胶的稳定性造成不良影响,高岭石粉中电解质含量可通过溶液中的电导率反映。

A.1.2 电导率是以数字表示的溶液传导电流的能力,与溶液中离子浓度成正比。在同样的溶解方式下,也与高岭石粉中电解质含量成正比,因此可用来衡量高岭石粉中电解质含量的高低。

## A.2 仪器

检测高岭石粉 pH 值、离子浓度用仪器:

——酸度计,符合 GB/T 11165,分级 0.1。

——电导率仪,符合 GB/T 11007,量程  $0\sim 2\,000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 。

——天平,精确度 0.1 g。

## A.3 分析步骤

A.3.1 准确称取 20.0 g 高岭石粉,溶于 100 mL 蒸馏水中,充分搅拌,然后静置 5 min 以上,过滤除去粉料,取滤液备用。

A.3.2 用电导率仪测量 A.3.1 处滤液的电导率。

A.3.3 用酸度计测量 A.3.1 处滤液的 pH 值。

## A.4 数据处理

A.4.1 以溶液的 pH 值数值作为高岭石粉的 pH 值,由酸度计直接读出。

A.4.2 以溶液的电导率数值作为高岭石粉中电解质的含量,由电导率仪直接读出,单位微西门子每厘米( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )。

附 录 B  
(规范性)  
涂料的性能检测方法

B.1 涂料黏度的检测

B.1.1 原理

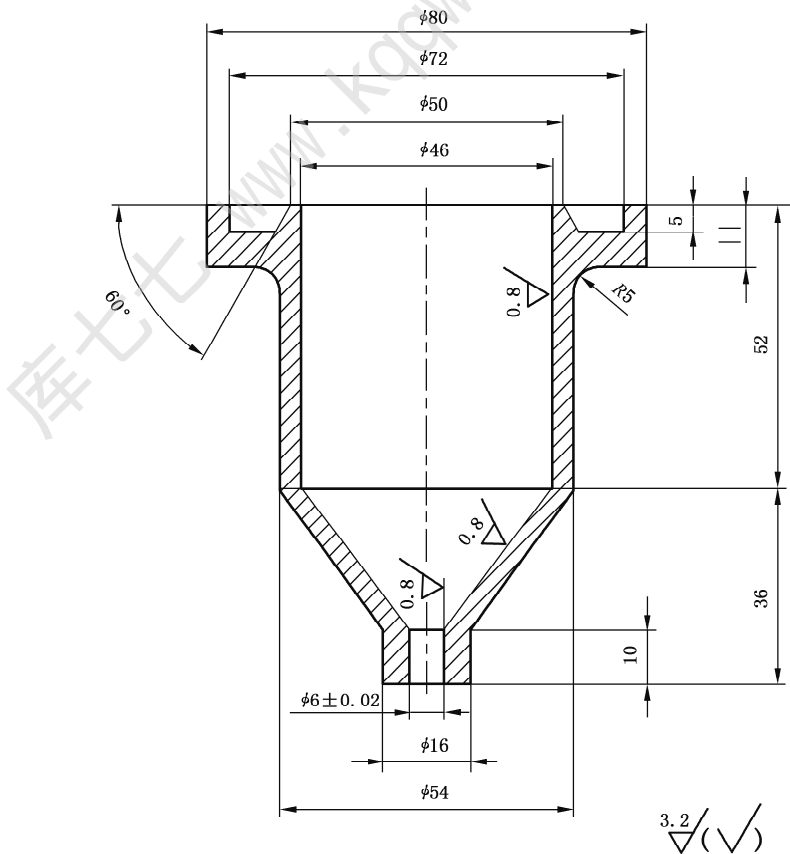
在工艺规定温度下,用流杯测定一定体积涂料的流出时间(s),以流出时间作为涂料的黏度。

B.1.2 仪器设备

检测涂料黏度用仪器设备:

- 流杯,孔径为  $\phi 6\text{ mm}\pm 0.02\text{ mm}$ ,容量 100 mL,如图 B.1 标准流杯所示;
- 水泡水准仪;
- 计时器;秒表,精度 0.1 s;
- 流杯架;
- 取样勺;
- 刮尺。

单位为毫米



注:未注明圆角为R2

图 B.1 标准流杯

### B.1.3 试验步骤

B.1.3.1 取样前应检查流杯,流杯应清洁、干燥,流出孔应干净、通畅。

B.1.3.2 将流杯放在流杯架上,将水泡水准仪放在流杯上沿,调整流杯至水平。

B.1.3.3 用手指堵住流出杯流出孔,用取样勺取出搅拌均匀的涂料,灌入流杯中,直至从环形圈溢出为止。

B.1.3.4 用刮尺刮过流杯上沿,使涂料水平面与流杯上沿平齐。

B.1.3.5 将承接器皿放在流杯流出孔下方,松开手指的同时按动秒表计时。此时,涂料从流出孔流出,落入承接器皿中。

B.1.3.6 监视流出孔底部的流线,当流线一旦中断而成滴状时立即按停秒表,并记录流出时间。

B.1.3.7 流杯用完后,立即用水或乙醇清洗并风干。

B.1.3.8 所有试验温度不同于规定温度时,应预先制定出温度转换图表。

### B.1.4 试验数据处理

涂料黏度测定的各个读数误差不应超过 5%,有效测量数值不少于 3 个,取其算术平均值作为该涂料的黏度。

## B.2 涂料密度的检测

### B.2.1 密度计法

#### B.2.1.1 仪器设备

液体密度计:测量范围  $1.00\text{ g/cm}^3 \sim 3.50\text{ g/cm}^3$ ,分度  $0.01\text{ g/cm}^3$ 。

#### B.2.1.2 试验步骤

B.2.1.2.1 涂料充分搅拌后,静止 30 s 后除去涂料表面上的泡沫。

B.2.1.2.2 将密度计慢慢插入涂料中,直至浸没深度接近且低于预计的刻度值,松开密度计待其下沉到一定位置,静止 300 s 后读数,若密度计插的过深,松开后重新上浮,记大致读数作为预计密度值,将密度计擦干净,重新测试并读数。

B.2.1.2.3 用温度计测量并记录涂料温度。

B.2.1.2.4 所有试验温度不同于规定温度时,应预先制定出温度转换图表。

#### B.2.1.3 试验数据处理

B.2.1.3.1 涂料密度的有效测量数值应不小于 3 个,取其算术平均值作为该涂料的密度。

B.2.1.3.2 同一实验室同一操作者两次试验结果之差应不大于  $0.02\text{ g/cm}^3$ 。

### B.2.2 容量法

#### B.2.2.1 仪器设备

容量法测定涂料密度用仪器设备:

——三角瓶:150 mL;

——天平:量程 2 kg,感量 0.05 g;

——温度计:测量范围  $0\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,分度  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

**B.2.2.2 试验步骤**

**B.2.2.2.1** 将三角瓶装放在水平台面上,装水至水满溢出,擦净溢出水,将三角瓶中水倒入量筒中,水的体积读数即为三角瓶的容积。

**B.2.2.2.2** 取一个清洁、干净的已知容积的三角瓶,称其质量  $A$  (精确至 0.05 g)。

**B.2.2.2.3** 一边搅拌涂料,一边从搅拌均匀的涂料表层下部取出一勺涂料,尽快倒入三角瓶中,直到液面与瓶口上沿平齐。

**B.2.2.2.4** 擦净三角瓶外溢出涂料。

**B.2.2.2.5** 称量装有涂料的三角瓶质量  $B$  (精确至 0.05 g)。

**B.2.2.2.6** 用温度计测量并记录涂料温度。

**B.2.2.2.7** 所有试验温度不同于规定温度时,应预先制定出温度转换图表。

**B.2.2.3 数据处理**

计算见公式(B.1):

$$d = \frac{B - A}{V} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

$d$  ——涂料密度,单位为克每立方厘米(g/cm<sup>3</sup>);

$B$  ——三角瓶与涂料总质量,单位为克(g);

$A$  ——三角瓶空瓶质量,单位为克(g);

$V$  ——三角瓶容积,单位为毫升(mL)。

**B.3 涂片厚度的检测****B.3.1 仪器设备**

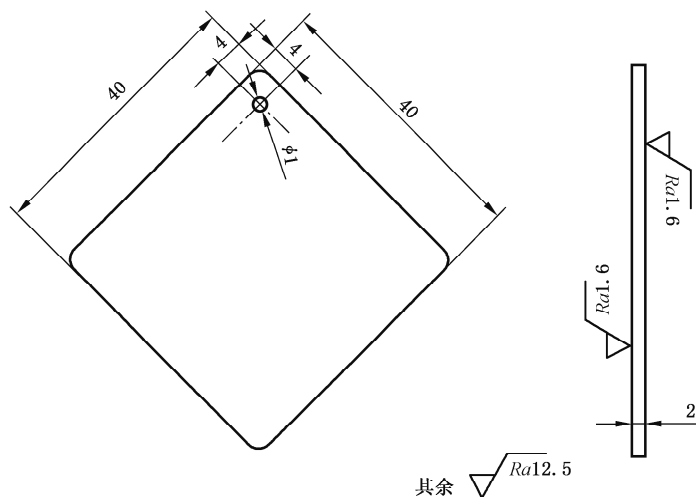
检测涂片厚度用仪器:

——不锈钢涂片:40 mm×40 mm×2 mm,具体尺寸如图 B.2 所示;

——天平:精度 0.01 g;

——玻璃片:110 mm×80 mm×3 mm。

单位为毫米



注:未注明圆角R0.5

其余  $\sqrt{Ra12.5}$

图 B.2 不锈钢涂片

B.3.2 试验步骤

- B.3.2.1 取一干净不锈钢涂片称其质量为  $W_1$  (精确至 0.01 g)。
- B.3.2.2 用细铁丝勾一端从涂片圆孔处勾住不锈钢涂片,手提细铁丝钩另一端,将涂片垂直放入充分搅拌的涂料中,使涂料刚好没过涂片。
- B.3.2.3 10 s 后慢慢地提起涂片,静止 2 min,让多余的涂料滴落。
- B.3.2.4 将涂片放在天平上,取出细铁丝钩,称量涂片质量为  $W_2$  (精确至 0.01 g),  $W_2 - W_1$  即为涂层质量。

B.3.3 试验数据处理

涂层厚度按公式(B.2)计算:

$$S = \frac{W_2 - W_1}{F \times \rho} \dots\dots\dots (B.2)$$

- 式中:
- $S$  ——涂层厚度,单位为厘米(cm);
- $F$  ——被覆盖总面积,单位为平方厘米( $\text{cm}^2$ );
- $\rho$  ——涂料密度,单位为克每立方厘米( $\text{g}/\text{cm}^3$ )。
- 同种涂料可直接用涂层质量作指标。

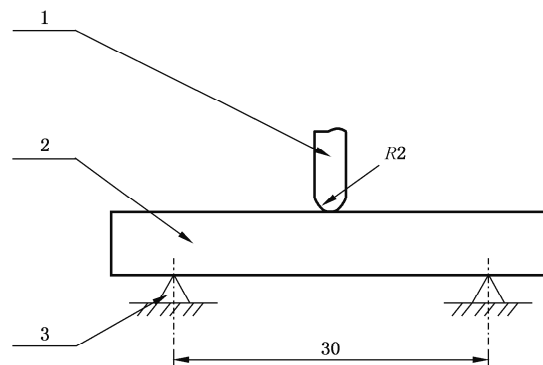
附 录 C  
(规范性)  
抗弯强度检测方法

### C.1 仪器设备

抗弯强度检测用仪器设备：

- 型壳抗弯强度测定仪,测定示意图见图 C.1,抗弯强度仪最高使用温度为 1 600 ℃,温度偏差不大于±15 ℃,试验载荷测量误差不超过±1.5%,仪器读数的分度值应不大于 0.196 N。
- 游标卡尺,量程为 0 mm~150 mm,精度 0.02 mm。

单位为毫米



标引序号说明：

- 1——压头；
- 2——试样；
- 3——支座。

图 C.1 型壳抗弯强度测定示意图

### C.2 试样

#### C.2.1 试样的形状和尺寸

试样分为脱蜡后室温抗弯强度试样、焙烧后室温抗弯强度试样和焙烧后高温抗弯强度试样,3 种试样采用同一形状和尺寸,试样形状和尺寸见图 C.2。

#### C.2.2 试样制备

C.2.2.1 试样形状及尺寸见图 C.2。

C.2.2.2 试样用带空腔的蜡模(腔深 6 mm)按生产工艺或根据检测要求涂制。在腔内约涂 6 层制壳材料。每层涂上涂料挂上砂后,沿空腔边缘把试样刮平,然后干燥硬化。反复 6 次,直至空腔涂满为止,最后一层只涂涂料不挂砂。

C.2.2.3 脱蜡后,试样底面及侧面应平整,棱角清晰,无分层及其他明显缺陷,试样厚度应为 6 mm±0.5 mm。

C.2.2.4 室温抗弯强度试样脱蜡干净后,在 110 ℃下保温 2 h 烘干。

C.2.2.5 焙烧后室温抗弯强度试样和高温抗弯强度试样应进行焙烧,试样在 300 ℃以下放入焙烧炉,逐渐升温至 900 ℃。保温 2 h 降至 300 ℃以下出炉。

单位为毫米

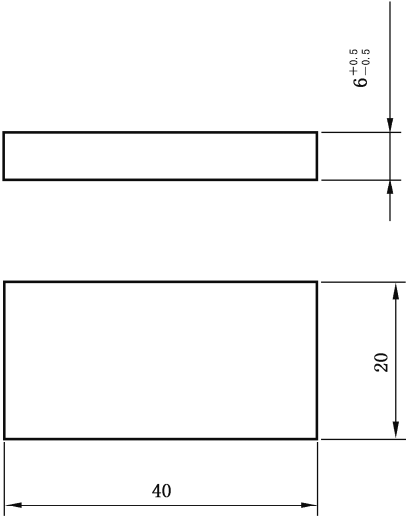


图 C.2 试样形状及尺寸

C.2.3 试样数量

有效试样的数量应不少于 5 个。

C.3 试验步骤

C.3.1 试样厚度的测量

用卡尺测量试样的厚度  $h$  和宽度  $a$ , 测量厚度时测其中部最薄处, 测量 2 次~3 次, 取其平均值。对于尺寸制备良好的试样可以不逐个测量。

C.3.2 室温抗弯强度和焙烧后室温抗弯强度的测定

C.3.2.1 将试样平稳地放在强度测定仪的两支点上, 其方向与压头方向垂直。压头压在试样工作部位的中部, 以 6 mm/min~8 mm/min 的速度加载至试样断裂, 记录最大载荷值。

C.3.2.2 检查试样断裂部位, 断在跨距中间  $L/3$  区以外或有明显内部缺陷的试样应予作废, 另取试样补充测定。

C.3.3 高温抗弯强度的测定

C.3.3.1 试样在高温强度测量仪中, 加热至试验温度, 保温 10 min 后开始试验, 当连续试验时每个试样应间隔 10 min 使温度均匀稳定, 然后进行试验。

C.3.3.2 按 C.3.2.1~C.3.2.2 进行检测。

C.4 试验数据处理

C.4.1 试样抗弯强度  $\sigma_w$  按公式(C.1)计算:

$$\sigma_w = \frac{3PL}{2ah^2}$$

.....( C.1 )

式中:

- $\sigma_w$  ——抗弯强度, 单位为兆帕(MPa);
- $P$  ——试样断裂时的载荷, 单位为牛顿(N);

$L$  ——两支点跨距,单位为毫米(mm);

$a$  ——试样宽度,单位为毫米(mm);

$h$  ——试样厚度,单位为毫米(mm)。

C.4.2 计算每个试样抗弯强度  $\sigma_w$  的单值。剔除异常值,有效测量值应不小于 5 个,取其算术平均值作为该型壳的抗弯强度,精确至 0.1 MPa。

C.4.3 同一实验室同一操作者两次结果之差应不大于 1.0 MPa。



**附 录 D**  
(规范性)  
**涂料胶凝性检测方法**

**D.1 原理**

通过检测涂料沉淀后分离的胶液黏度值,判断长时间未用尽的涂料是否发生胶凝。已发生胶凝的涂料,其过滤的胶液,黏度值会明显高出工艺标准值。

**D.2 仪器设备**

检测涂料胶凝性能用仪器设备:

- 保温箱:温度偏差不大于 $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 旋转黏度计:测量范围  $0\text{ MPa}\cdot\text{s}\sim 100\,000\text{ MPa}\cdot\text{s}$ ,测量误差 $\pm 5\%$
- 天平:量程  $2\text{ kg}$ ,感量  $0.05\text{ g}$ 。

**D.3 试样**

**D.3.1 试样制备**

D.3.1.1 取涂料  $500\text{ g}$ ,装入密封的量杯容器中,在  $25\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  的环境中放置  $24\text{ h}\sim 36\text{ h}$ 。

D.3.1.2 取出涂料,将上部的澄清液体用滤纸进行过滤后待测。

**D.3.2 试样数量**

有效滤液试样的数量应不少于 5 个。

**D.4 试验步骤**

D.4.1 将盛有滤液样品的容器放在检测量筒下方。

D.4.2 旋转升降钮,使量筒下降至转子液位面。

D.4.3 设定转速为  $60\text{ r/min}$ 。

D.4.4 打开转子开关,进行检测。

**D.5 试验数据处理**

D.5.1 剔除异常值,有效测量值应不小于 3 个,取其算术平均值作为该试样的黏度。

D.5.2 同一实验室同一操作者两次结果之差应不大于  $0.2\text{ MPa}\cdot\text{s}$ 。

---