



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 4334—2020  
代替 GB/T 4334—2008

## 金属和合金的腐蚀 奥氏体及铁素体- 奥氏体(双相)不锈钢晶间腐蚀试验方法

**Corrosion of metals and alloys—Test methods for intergranular corrosion of  
austenitic and ferritic-austenitic (duplex) stainless steels**

[ISO 3651-1:1998, Determination of resistance to intergranular corrosion of stainless steels—Part 1: Austenitic and ferritic-austenitic (duplex) stainless steels—Corrosion test in nitric acid medium by measurement of loss in mass (Huey test); ISO 3651-2:1998, Determination of resistance to intergranular corrosion of stainless steels—Part 2: Ferritic, austenitic and ferritic-austenitic (duplex) stainless steels—Corrosion test in media containing sulfuric acid, MOD]

2020-04-28 发布

2020-11-01 实施

国家市场监督管理总局  
国家标准化管理委员会 发布

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
金属和合金的腐蚀 奥氏体及铁素体-  
奥氏体(双相)不锈钢晶间腐蚀试验方法

GB/T 4334—2020

\*

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](http://www.spc.org.cn)

服务热线: 400-168-0010

2020年4月第一版

\*

书号: 155066 • 1-64961

版权专有 侵权必究

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 GB/T 4334—2008《金属和合金的腐蚀 不锈钢晶间腐蚀试验方法》。本标准与 GB/T 4334—2008 相比,主要技术变化如下:

- 将标准名称“金属和合金的腐蚀 不锈钢晶间腐蚀试验方法”更改为“金属和合金的腐蚀 奥氏体及铁素体-奥氏体(双相)不锈钢晶间腐蚀试验方法”;
- 对取样方法和尺寸进行了调整(见 3.1,2008 年版第 3 章);
- 对敏化处理制度进行了调整(见 3.2,2008 年版第 3 章);
- 对各试验方法的试验报告内容进行了调整(见第 4 章、第 5 章、第 6 章、第 7 章、第 8 章,2008 年版第 4 章、第 5 章、第 6 章、第 8 章);
- 废除了方法 D 不锈钢硝酸-氢氟酸腐蚀试验方法(见 2008 年版第 7 章);
- 方法 E 名称变更为“铜-硫酸铜-16%硫酸腐蚀试验方法”(见第 7 章,2008 年版第 8 章);
- 对方法 E 的弯曲参数进行了变更(见第 7 章,2008 年版第 8 章);
- 增加了方法 F 铜-硫酸铜-35%硫酸腐蚀试验方法(见第 8 章);
- 增加了方法 G 40%硫酸-硫酸铁腐蚀试验方法(见第 9 章);
- 增加了对各种方法及其特点的说明(见附录 C);
- 增加了方法 E、方法 F、方法 G 的适用范围(见附录 D)。

本标准使用重新起草法修改采用 ISO 3651-1:1998《不锈钢耐晶间腐蚀的测定 第 1 部分:奥氏体及铁素体-奥氏体(双相)不锈钢 含硝酸介质中的腐蚀试验》和 ISO 3651-2:1998《不锈钢耐晶间腐蚀的测定 第 2 部分:铁素体、奥氏体及铁素体-奥氏体(双相)不锈钢 含硫酸介质中的腐蚀试验》。

本标准与 ISO 3651-1:1998 和 ISO 3651-2:1998 相比在结构上有较多调整,附录 A 中列出了本标准与 ISO 3651-1:1998 和 ISO 3651-2:1998 的章条编号对照一览表。

本标准与 ISO 3651-1:1998 和 ISO 3651-2:1998 相比存在技术性差异,这些差异涉及的条款已通过在其外侧页边空白位置的垂直单线(∟)进行了标识,附录 B 给出了相应技术处差异及原因的一览表。

本标准由中国钢铁工业协会提出。

本标准由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本标准起草单位:钢铁研究总院、山西太钢不锈钢股份有限公司、冶金工业信息标准研究院、安工腐蚀检测实验室科技(无锡)有限公司、酒泉钢铁(集团)有限责任公司、江苏申源集团有限公司、鞍钢股份有限公司、中冶检测认证有限公司。

本标准主要起草人:朱玉亮、丰涵、冯超、李吉东、侯捷、薛俊鹏、刘森、翟健红、李倩、武裕民、宋志刚、任永秀、路民旭、惠恺、李风、贾元伟、林春来。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 4334.1~GB/T 4334.5—1984,GB/T 4334.1~GB/T 4334.5—2000;
- GB/T 4334—2008。



# 金属和合金的腐蚀 奥氏体及铁素体- 奥氏体(双相)不锈钢晶间腐蚀试验方法

## 1 范围

本标准规定了奥氏体及铁素体-奥氏体(双相)不锈钢晶间腐蚀试验方法的试样、试验溶液、试验仪器和设备、试验条件和步骤、试验结果评定及试验报告等内容。

本标准适用于检验奥氏体不锈钢及铁素体-奥氏体双相不锈钢(以下简称双相不锈钢)的晶间腐蚀倾向。包括以下试验方法:

### a) 方法 A:10%草酸浸蚀试验方法

检验奥氏体不锈钢晶间腐蚀的筛选试验,试样在 10%草酸溶液中电解浸蚀后,在显微镜下观察被浸蚀表面的金相组织,以判定是否需要进行方法 B、方法 C、方法 E 等长时间热酸试验。在不允许破坏被测构件和设备的情况下,也可以作为独立的晶间腐蚀检验方法。

### b) 方法 B:50%硫酸-硫酸铁腐蚀试验方法

将奥氏体不锈钢置于 50%硫酸-硫酸铁溶液中经煮沸试验后,以腐蚀速率评定晶间腐蚀倾向。

### c) 方法 C:65%硝酸腐蚀试验方法

将奥氏体不锈钢置于 65%硝酸溶液中经煮沸试验后,以腐蚀速率评定晶间腐蚀倾向。

### d) 方法 E:铜-硫酸铜-16%硫酸腐蚀试验方法

将奥氏体不锈钢、双相不锈钢置于铜-硫酸铜-16%硫酸溶液中经煮沸试验后,用弯曲法或金相法判定晶间腐蚀倾向。

### e) 方法 F:铜-硫酸铜-35%硫酸腐蚀试验方法

将奥氏体不锈钢、双相不锈钢置于铜-硫酸铜-35%硫酸溶液中经煮沸试验后,用弯曲法或金相法判定晶间腐蚀倾向。

### f) 方法 G:40%硫酸-硫酸铁腐蚀试验方法

将奥氏体不锈钢、双相不锈钢置于 40%硫酸-硫酸铁溶液中经煮沸试验后,用弯曲法或金相法判定晶间腐蚀倾向。

本标准的附录 C 以表格形式给出了各试验方法的特点,附录 D 给出了方法 E、方法 F、方法 G 的应用实例。

本标准中各试验方法不适用于用来预测不锈钢在其他介质条件下的抗晶间腐蚀性能,也不适用于预测不锈钢对其他腐蚀形式(如点蚀、均匀腐蚀、应力腐蚀等)的耐蚀性能。

## 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 625 化学试剂 硫酸(GB/T 625—2007,ISO 6353-2:1983,NEQ)

GB/T 626 化学试剂 硝酸(GB/T 626—2006,ISO 6353-2:1983,NEQ)

GB/T 655 化学试剂 过硫酸铵

GB/T 665 化学试剂 无水合硫酸铜(Ⅱ)(硫酸铜)(GB/T 665—2007,ISO 6353-2:1983,NEQ)

GB/T 2100 通用耐蚀钢铸件(GB/T 2100—2017,ISO 11972:2015,MOD)

GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 9854 化学试剂 二水合草酸(草酸)(GB/T 9854—2008,ISO 6353-2:1983,NEQ)

### 3 试样

#### 3.1 取样及制备

3.1.1 压力加工钢材的试样从同一炉号、同一规格和同一热处理批次的钢材中取样。

3.1.2 铸件试样按 GB/T 2100 规定,从同一炉号钢水浇注的试块中取样。含稳定化元素钛的钢种,在该炉号最末浇注的试块中取样。

3.1.3 焊管试样从同一炉号、同一规格和同一热处理批次的焊管中取样。

3.1.4 焊接试样从与产品钢材相同且焊接工艺也相同的试块上取样。

3.1.5 试样表面宜接近产品原始表面状态。对于有焊接接头的试样应尽可能包括母材、热影响区以及焊接金属的表面。用方法 A 判定凹坑组织时应检验断面。方法 B、方法 C 试样尺寸及制备要求见表 1,单个试样总表面积应不小于 5 cm<sup>2</sup>,方法 E、方法 F、方法 G 试样尺寸及制备要求见表 2。

3.1.6 试样采用机加工进行切取,如用剪切或其他方法时应通过切削或研磨的方法除去剪切的影响部分。

3.1.7 方法 A 试样被检查的表面应抛光,以便进行腐蚀和显微组织检验。

3.1.8 方法 B、方法 C、方法 E、方法 F、方法 G 试样上有氧化皮时,要通过切削或研磨的方式除去。需要敏化处理的试样,应在敏化处理后进行研磨。不能进行研磨的试样,可以进行酸洗,表面不能过酸洗。不能进行研磨或酸洗处理的试样,热处理时,表面不能氧化。

3.1.9 方法 B、方法 C、方法 E、方法 F、方法 G 试样切取及表面磨制过程中应防止表面过热,加工后的试样表面粗糙度  $Ra$  值一般应不大于 0.8  $\mu\text{m}$ 。对无法精磨的试样,根据双方协议也可以采用其他表面粗糙度。

表 1 方法 B、方法 C 试样尺寸及制备要求

| 类 别          | 厚度或直径 <sup>a</sup><br>mm | 试样尺寸<br>mm |       |     | 试样数量<br>个   |   | 说 明                                     |
|--------------|--------------------------|------------|-------|-----|-------------|---|---|
|              |                          | 长          | 宽     | 厚   |             |   |   |
| 钢板、<br>带(扁钢) | ≤3                       | 30±10      | 20±10 | —   | 2           |   | 沿轧制方向取样                                 |
|              | >3                       | 30±10      | 20±10 | 3~4 | 2           |   | 沿轧制方向取样,一个试样从一面加工到试样厚度,另一个试样从另一面加工到试样厚度 |
| 型钢、锻件        | —                        | 30±10      | 20±10 | 3~4 | 2           |   | 从截面中部沿纵向取样                              |
| 钢棒(钢丝)       | ≤10                      | 30±10      | —     | —   | 2           |   | —                                       |
|              | >10                      | 30±10      | ≤20   | ≤5  | 2           |   | 从截面中部沿纵向取样                              |
| 无缝钢管         | <5                       | 30±10      | —     | —   | 2           |   | 取整段管状试样                                 |
|              | 5 ~ 15                   | 30±10      | —     | —   | 2           |   | 取半管状或舟形试样                               |
|              | >15                      | 30±10      | ≤20   | —   | 壁厚<br><4 mm | 2 | —                                       |
|              |                          |            |       |     | 壁厚<br>≥4 mm | 4 | 一组(2个试样)从外壁加工到试样厚度,另一组(2个试样)从内壁加工到试样厚度  |

表 1 (续)

| 类 别                      | 厚度或直径 <sup>a</sup><br>mm | 试样尺寸<br>mm |       |     | 试样数量<br>个 | 说 明   |
|--------------------------|--------------------------|------------|-------|-----|-----------|---|
|                          |                          | 长          | 宽     | 厚   |           |   |
| 焊管                       | ≤3                       | 30±10      | —     | 管壁厚 | 2         | 取半管状或舟形试样,焊缝沿试样长度方向,位于试样中部,见图 1。对于舟形试样,试样母材边缘至熔合线距离,两面均不小于 10 mm,试样内外表面不进行加工,需敏化处理的试样可在敏化后进行除去氧化膜的表面处理。<br>对大直径管亦可采用弧形试样,数量加倍,焊缝位于弧形试样中央,见图 2 |
|                          | >3                       | 30±10      | —     | 3~4 | 4         | 管壁厚度不小于 4 mm 时,一组(2 个试样)从外壁加工到试样厚度,另一组(2 个试样)从内壁加工到试样厚度;其他要求同上  |
| 铸件                       | —                        | 30±10      | ≤20   | —   | 2         | —   |
| 焊条                       | —                        | 30±10      | 10±5  | —   | 2         | 按图 3 取焊条试样  |
| 堆焊焊条                     | —                        | 30±10      | —     | —   | 2         | 按图 4 取堆焊焊条试样  |
| 焊接接头<br>(单焊缝)            | —                        | 30±10      | 20±10 | 3~4 | 2         | 焊缝位于中部,见图 5   |
| 焊接接头<br>(交叉焊缝)           | —                        | 30±10      | 20±10 | 3~4 | 4         | 焊缝交叉点位于试样中部,两个试样检验横焊缝,两个试样检验纵焊缝,见图 6  |
| <sup>a</sup> 对无缝钢管直径指外径。 |                          |            |       |     |           |   |

表 2 方法 E、方法 F、方法 G 试样尺寸及制备要求

| 类 别          | 厚度或直径 <sup>a</sup><br>mm | 试样尺寸<br>mm |       |     | 试样数量个 | 说 明   |
|--------------|--------------------------|------------|-------|-----|-------|---|
|              |                          | 长          | 宽     | 厚   |       |   |
| 钢板、<br>带(扁钢) | ≤3                       | ≥50        | 20±10 | —   | 2     | 沿轧制方向取样,试验后每个试样均弯曲两个被检验面                                  |
|              | >3                       | ≥50        | 20±10 | 3~4 | 4     | 沿轧制方向取样,两个试样从一面加工到试样厚度,另外两个试样从另一面加工到试样厚度;试验后各弯曲其相应的一个被检验面 |
| 型钢、锻件        | —                        | ≥50        | 20±10 | 3~4 | 2     | —   |
| 钢棒(钢丝)       | ≤10                      | ≥50        | —     | —   | 2     | —   |
|              | >10                      | ≥50        | ≤20   | ≤5  | 2     | 从截面中部沿纵向取样;试验后每个试样均弯曲两个被检验面                               |

表 2 (续)

| 类 别   | 厚度或直径 <sup>a</sup><br>mm | 试样尺寸<br>mm |       |     | 试样数量个       |   | 说 明  |
|---|--------------------------|------------|-------|-----|-------------|---|--|
|   |                          | 长          | 宽     | 厚   |             |   |  |
| 无缝钢管  | <5                       | ≥50        | —     | —   | 2           |   | 取整段管状试样。采用弯曲法评定时内外壁都需检验,如内壁不能弯曲评定时,则用金相法评定;也可以采用压扁法评定  |
|   | 5~15                     | ≥50        | —     | —   | 2           |   | 取半管状或舟形试样,试验后每个试样均弯曲两个被检验面,也可取整管试样用压扁法评定   |
|   | >15                      | ≥50        | ≤20   | —   | 壁厚<br><4 mm | 2 | —  |
|   |                          |            |       |     | 壁厚<br>≥4 mm | 4 | 一组(2个试样)从外壁加工到试样厚度,另一组(2个试样)从内壁加工到试样厚度,试验后各弯曲其相应的被检验面  |
| 焊管  | ≤3                       | ≥50        | —     | 管壁厚 | 2           |   | 取半管状或舟形试样,焊缝沿试样长度方向,位于试样中部,见图 1;对于舟形试样,试样母材边缘至熔合线距离,两面均不小于 10 mm,试样内外表面不进行加工,试验后每个试样均弯曲两个被检验面。需进行敏化处理的试样可在敏化后进行除去氧化膜的表面处理。<br>对于大直径管亦可采用弧形试样,数量加倍,焊缝位于弧形试样中央。如图 2 所示,弯曲时,焊缝熔合线位于弯曲中心 |
|   | >3                       | ≥50        | —     | 3~4 | 4           |   | 管壁厚度大于 4 mm 时,一组(2个试样)从外壁加工到试样厚度,另一组(2个试样)从内壁加工到试样厚度,未加工面位于弯曲外侧;其他要求同上   |
| 铸件  | —                        | ≥50        | ≤20   | —   | 4           |   | 两个试样做试验,两个试样留做空白弯曲   |
| 焊条  | —                        | ≥50        | 10±5  | —   | 2           |   | 按图 3 取焊条试样,试验后每个试样均弯曲两个被检验面  |
| 堆焊焊条  | —                        | ≥50        | —     | —   | 2           |   | 按图 4 取堆焊焊条试样,试验后每个试样均弯曲两个被检验面  |
| 焊接接头<br>(单焊缝)   | —                        | ≥50        | 20±10 | 3~4 | 2           |   | 焊缝位于中部,试验后弯曲其相应的一个检验面,取样见图 5   |
| 焊接接头<br>(交叉焊缝)  | —                        | ≥50        | 20~35 | 3~4 | 4           |   | 焊缝交叉点位于试样中部,两个试样检验横焊缝,两个试样检验纵焊缝,试验后弯曲其相应的一个被检验面,取样见图 6   |
| 如因试样尺寸有限无法对同一试样的两个被检验面进行弯曲,则可取两个试样,分别弯曲两个试样的不同检验面,作为代替试验。同时,取样时标记出两个试样的检测面。 |                          |            |       |     |             |   |  |
| <sup>a</sup> 对无缝钢管直径指外径。  |                          |            |       |     |             |   |  |



单位为毫米

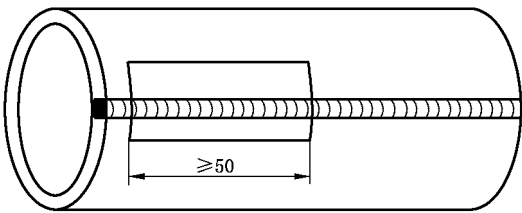


图 1 焊管舟形试样取样

单位为毫米

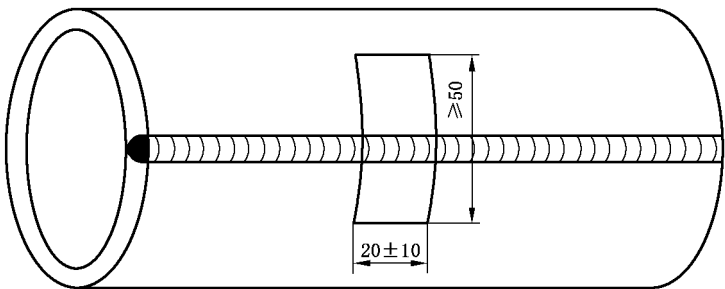
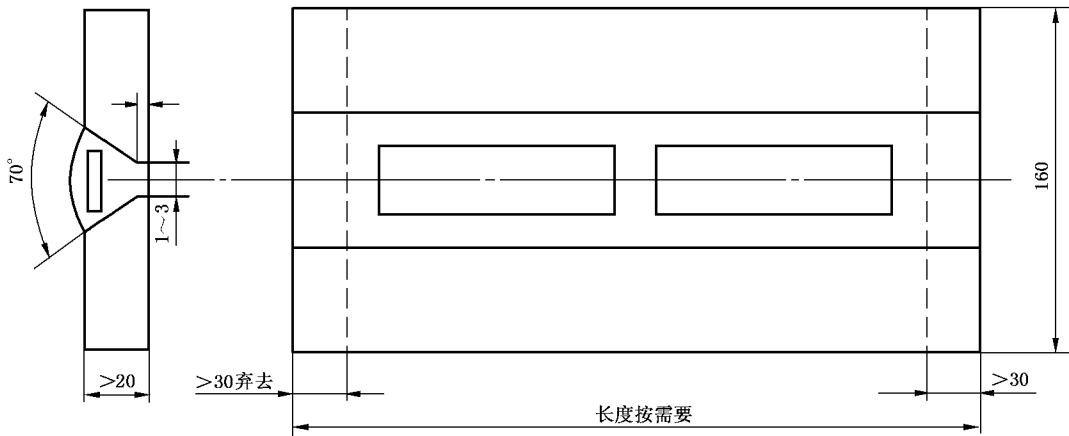


图 2 焊管弧形试样取样

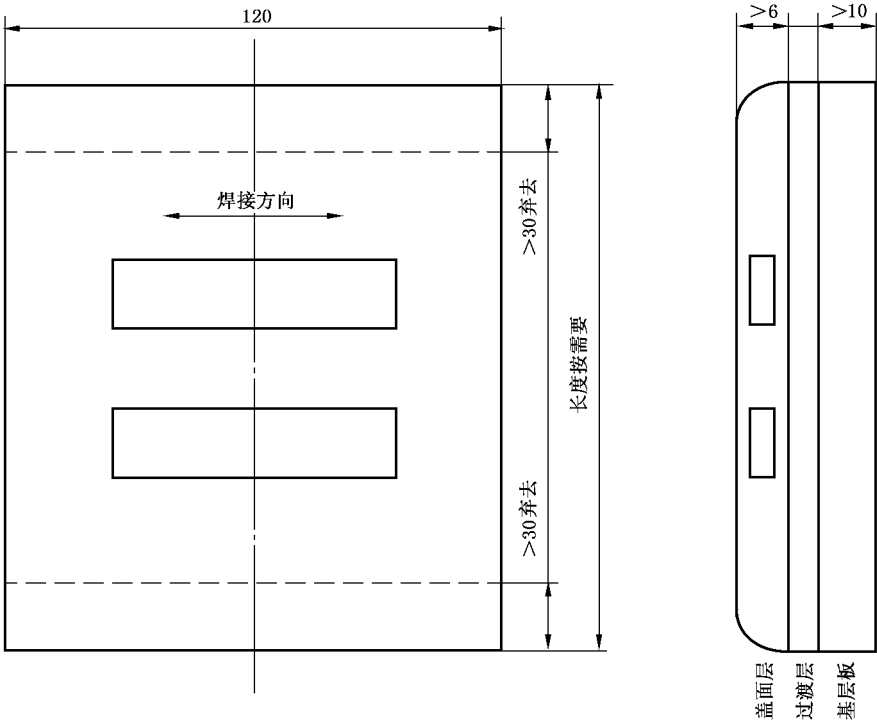
单位为毫米



注：采用与焊条相应钢号的钢板。

图 3 焊条试样取样

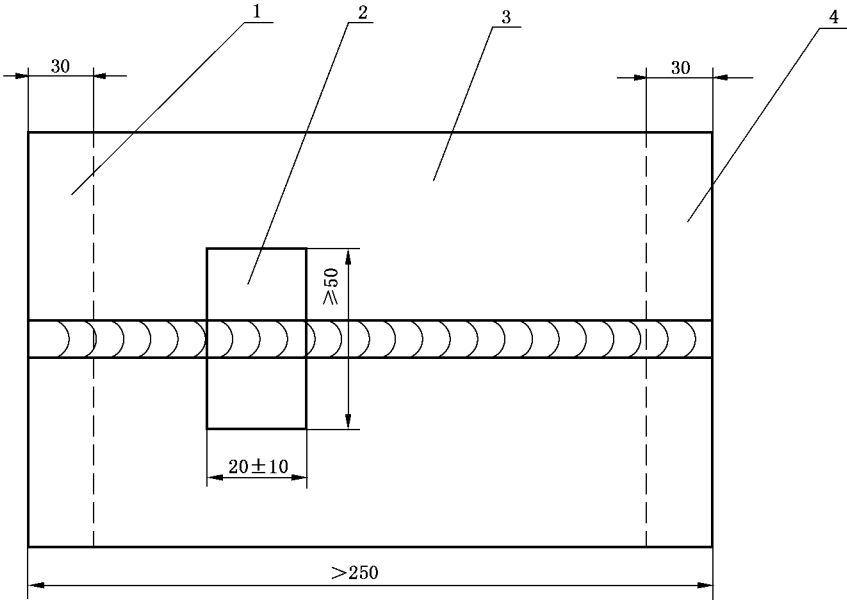
单位为毫米



注：基层板用与焊条相应钢号的钢板，试样长度方向沿着施焊方向。

图 4 堆焊焊条试样取样

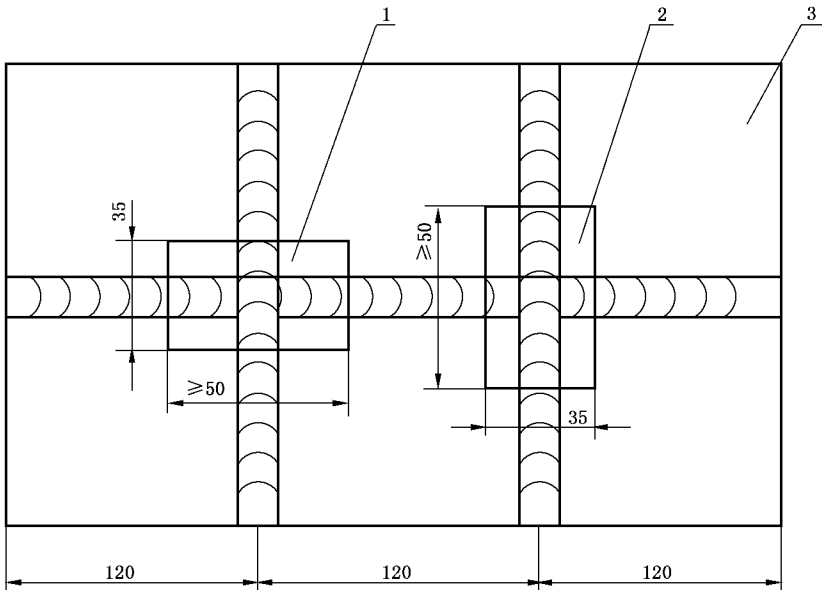
单位为毫米



说明：  
1——弃去；  
2——焊接试样；  
3——焊板；  
4——弃去。

图 5 单焊缝取样

单位为毫米



说明：  
1——焊接试样；  
2——焊接试样；  
3——焊板。

图 6 交叉焊缝取样

3.2 试样的敏化处理

3.2.1 对于超低碳不锈钢(碳含量不大于 0.030%)和稳定化不锈钢(添加钛或铌),在评价其本征晶间腐蚀敏感性时,试验前应对试样进行敏化处理,试样的敏化制度由供需双方协商确定。对于奥氏体不锈钢,推荐的敏化制度为 650 ℃±10 ℃,保温 2 h,空冷。对于双相不锈钢推荐的敏化制度为 700 ℃±10 ℃,30 min,水冷;也可采用 650 ℃±10 ℃,10 min,水冷。

3.2.2 对于其他的不锈钢,试样是否需要敏化处理和采取何种敏化处理制度,由产品标准或供需双方协商确定。

3.2.3 焊接试样一般以焊后状态进行试验。对焊后还要经过 350 ℃以上热加工的焊接件,试样应在焊后进行敏化处理。敏化处理制度由供需双方协商。

3.2.4 试样的敏化处理应在研磨前进行。敏化前和试验前应用适当的溶剂或洗涤剂(非氯化物)对试样进行除油并干燥。

4 方法 A 10%草酸浸蚀试验方法

4.1 试验溶液

4.1.1 将 100 g 符合 GB/T 9854 的优级纯草酸溶解于 900 mL 蒸馏水或去离子水中,配制成 10%草酸溶液。

4.1.2 对含钼钢在难以出现阶梯组织时,可以用 100 g 符合 GB/T 655 的分析纯过硫酸铵溶解于 900 mL蒸馏水或去离子水中,配制成 10%的过硫酸铵溶液代替 10%的草酸溶液。

4.2 试验仪器和设备

4.2.1 供浸蚀试验用的直流电源、可变电阻器、选用适当量程的电流表(精度 0.5 级)。

4.2.2 阴极为奥氏体不锈钢制成的钢杯或表面积足够大的不锈钢钢片, 阳极为试样, 如用不锈钢钢片作阴极时要采用适当形状的夹具, 使试样保持于试验溶液中, 浸蚀电路见图 7。

4.3 试验条件和步骤

4.3.1 把浸蚀试样作阳极, 以不锈钢钢杯或不锈钢钢片作为阴极, 倒入 10% 草酸溶液, 接通电流。阳极电流密度为  $1 \text{ A/cm}^2$ , 浸蚀时间 90 s, 浸蚀溶液温度  $20 \text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 。用 10% 过硫酸铵浸泡时, 电流密度为  $1 \text{ A/cm}^2$ , 浸蚀时间 5 min~10 min。

4.3.2 试样浸蚀后, 用流水洗净, 干燥。在金相显微镜下观察试样的全部浸蚀表面, 放大倍数为 200 倍~500 倍, 根据表 3、表 4 和图 8~图 14 判定组织的类别。

4.3.3 每次试验使用新的溶液。

4.4 浸蚀组织的分类

4.4.1 显示晶界形态浸蚀组织的分类见表 3。

4.4.2 显示凹坑形态浸蚀组织的分类见表 4。

4.4.3 10% 草酸浸蚀试验与其他试验方法的关系见表 5、表 6。

单位为毫米

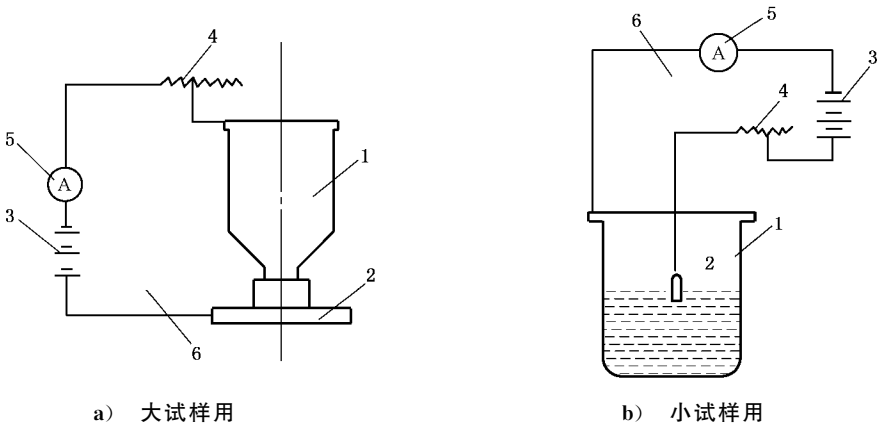
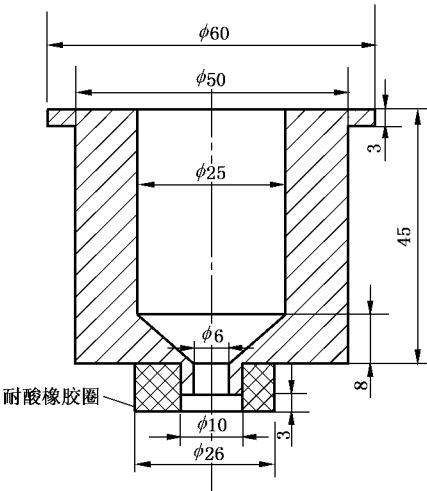


图 7 电解浸蚀装置图

单位为毫米



说明：

1——不锈钢容器；

2——试样；

3——直流电源；

4——变阻器；

5——电流表；

6——开关。

图 7（续）

表 3 晶界形态的分类

| 类别 | 名称      | 组织特征                            |
|----|---------|---------------------------------|
| 一类 | 阶梯组织    | 晶界无腐蚀沟，晶粒间呈台阶状；见图 8             |
| 二类 | 混合组织    | 晶界有腐蚀沟，但没有一个晶粒被腐蚀沟包围；见图 9       |
| 三类 | 沟状组织    | 晶界有腐蚀沟，个别或全部晶粒被腐蚀沟包围；见图 10      |
| 四类 | 游离铁素体组织 | 铸钢件及焊接接头晶界无腐蚀沟，铁素体被显现；见图 11     |
| 五类 | 连续沟状组织  | 铸钢件及焊接接头，沟状组织很深，并形成连续沟状组织；见图 12 |

表 4 凹坑形态的分类

| 类别 | 名称      | 组织特征               |
|----|---------|--------------------|
| 六类 | 凹坑组织 I  | 浅凹坑多，深凹坑少的组织；见图 13 |
| 七类 | 凹坑组织 II | 浅凹坑少，深凹坑多的组织；见图 14 |



图 8 阶梯组织(一类)500×

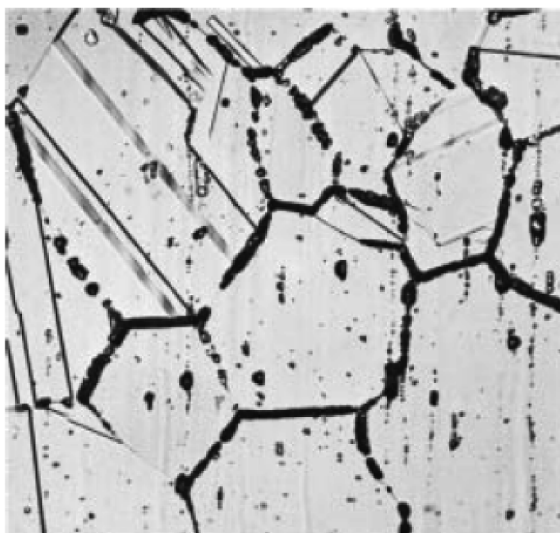


图 9 混合组织(二类)500×

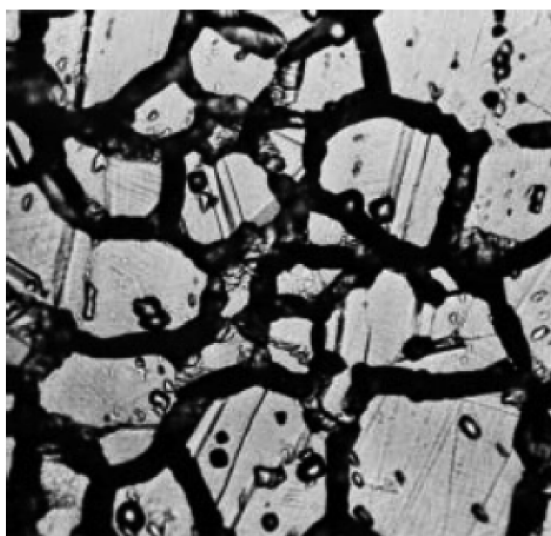


图 10 沟状组织(三类)500×

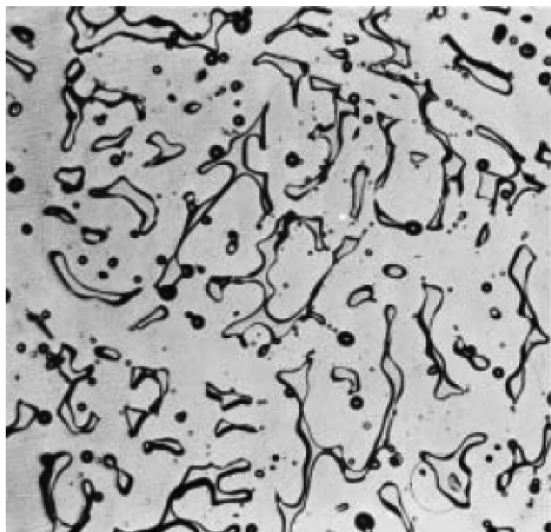


图 11 游离铁素体组织(四类)250×

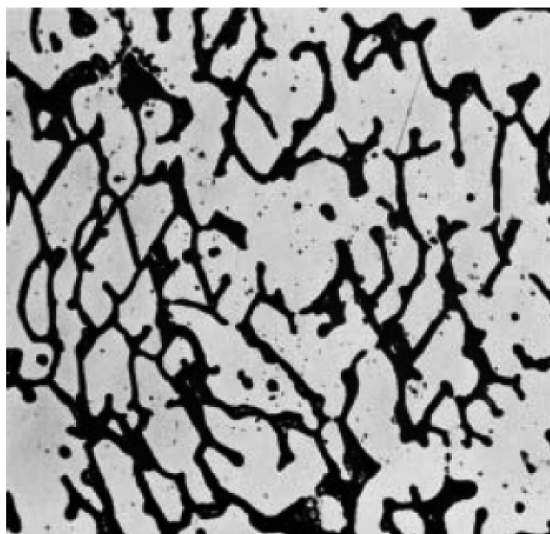
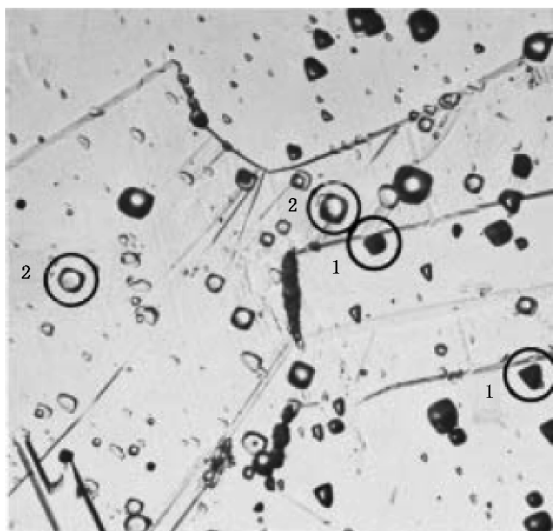


图 12 连续沟状组织(五类)250×



说明:

1——深凹坑;

2——浅凹坑。

图 13 凹坑组织(六类)500×



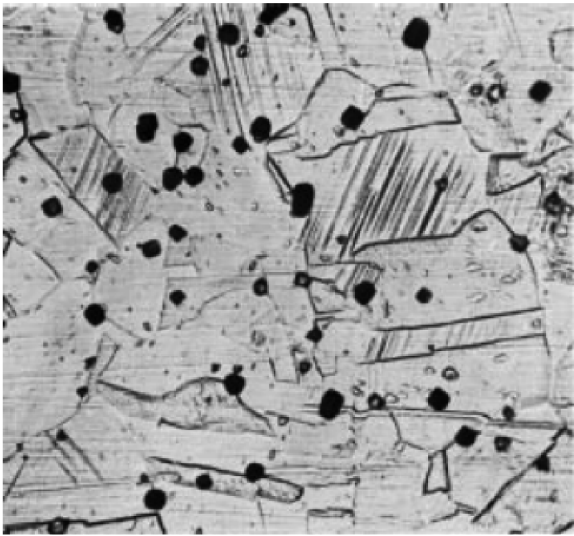


图 14 凹坑组织(七类)500×

表 5 筛选试验与其他试验方法的关系

| 类别                                   | 压力加工试样 |      |      |      |      | 铸件、焊接试样 |      |      |      |      |
|--------------------------------------|--------|------|------|------|------|---------|------|------|------|------|
|                                      | 方法 B   | 方法 C | 方法 E | 方法 F | 方法 G | 方法 B    | 方法 C | 方法 E | 方法 F | 方法 G |
| 一类                                   | ×      | ×    | —    | —    | ×    | —       | —    | —    | —    | —    |
| 二类                                   | ×      | ×    | —    | —    | ×    | —       | —    | —    | —    | —    |
| 三类                                   | ○      | ○    | —    | —    | ○    | —       | —    | —    | —    | —    |
| 四类                                   | —      | —    | ×    | ×    | —    | ×       | ×    | ×    | ×    | ×    |
| 五类                                   | —      | —    | ○    | ○    | —    | ○       | ○    | ○    | ○    | ○    |
| 六类                                   | ×      | ×    | ×    | ×    | ×    | ×       | ×    | ×    | ×    | ×    |
| 七类                                   | ×      | ○    | ×    | ×    | ×    | ×       | ○    | ×    | ×    | ×    |
| 注：×表示不必做其他方法试验；○表示要做其他方法试验；—表示不做该试验。 |        |      |      |      |      |         |      |      |      |      |

表 6 方法 A 与热酸试验的关系

| 热酸试验 | 用 10%草酸浸蚀试验,判定是否需要做热酸试验的不锈钢钢种   | 用热酸试验检验铬碳化物或σ相与不锈钢种的关系   |
|------|---|--|
| 方法 B | 06Cr19Ni10、022Cr19Ni10<br>06Cr17Ni12Mo2、022Cr17Ni12Mo2<br>06Cr18Ni12Mo2Cu2<br>022Cr18Ni14Mo2Cu2<br>06Cr19Ni13Mo3、022Cr19Ni13Mo3 | 铬碳化物：<br>06Cr19Ni10、022Cr19Ni10<br>06Cr17Ni12Mo2、022Cr17Ni12Mo2<br>06Cr18Ni12Mo2Cu2、022Cr18Ni14Mo2Cu2<br>06Cr19Ni13Mo3、022Cr19Ni13Mo3  |
| 方法 C | 06Cr19Ni10、022Cr19Ni10  | 铬碳化物：<br>06Cr19Ni10、022Cr19Ni10<br>铬碳化物与σ相：<br>06Cr18Ni12Mo2Cu2、022Cr18Ni14Mo2Cu2<br>022Cr17Ni12Mo2、06Cr17Ni12Mo2<br>06Cr19Ni13Mo3、022Cr19Ni13Mo3、06Cr18Ni11Ti<br>06Cr18Ni11Nb |

表 6 (续)

| 热酸试验 | 用 10%草酸浸蚀试验,判定是否需要做<br>热酸试验的不锈钢钢种   | 用热酸试验检验铬碳化物或 $\sigma$ 相与<br>不锈钢种的关系  |
|------|---|--|
| 方法 E | 06Cr18Ni9、022Cr19Ni10<br>06Cr17Ni12Mo2、022Cr17Ni12Mo2<br>06Cr18Ni12Mo2Cu2<br>022Cr18Ni14Mo2Cu2、06Cr19Ni13Mo3<br>022Cr19Ni13Mo3、06Cr18Ni10Ti<br>06Cr18Ni10Ti | 铬碳化物:<br>06Cr18Ni9、022Cr19Ni10、06Cr17Ni12Mo2<br>022Cr17Ni12Mo2、06Cr18Ni12Mo2Cu2<br>022Cr18Ni14Mo2Cu2、06Cr19Ni13Mo3<br>022Cr19Ni13Mo3、06Cr18Ni10Ti<br>0Cr18Ni10Ti |

4.5 试验报告

试验报告应包括以下内容:

- a) 本标准编号及名称;
- b) 试验方法;
- c) 试样的名称及试验面积尺寸;
- d) 电流密度;
- e) 浸蚀时间和温度;
- f) 浸蚀后的金相照片;
- g) 判定结果。

5 方法 B 50%硫酸-硫酸铁腐蚀试验方法

5.1 试验溶液

- 5.1.1 将 236 mL 符合 GB/T 625 的优级纯硫酸缓缓加入盛有 400 mL 蒸馏水的锥形瓶中配制成 50% (49.4%~50.9%)硫酸溶液(注意防止暴沸)。
- 5.1.2 称取 25 g 水合硫酸铁 $[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}]$ ,硫酸铁约 75%(质量分数)加入上述硫酸溶液中。
- 5.1.3 为防止暴沸,推荐将纯三氧化二铝制成的碎屑加入试验溶液中。
- 5.1.4 连接烧瓶与冷凝器并通上冷却水,加热使溶液沸腾,直到硫酸铁全部溶解。
- 5.1.5 操作时应保护好眼睛并佩戴防护手套。将试验用烧瓶置于通风柜中。

5.2 试验仪器和设备

- 5.2.1 推荐使用容量为 1 L 带回流冷凝器的磨口锥形烧瓶。
- 5.2.2 使试验溶液能保持微沸状态的加热装置。
- 5.2.3 精度不低于 0.02 mm 的游标卡尺。

5.3 试验条件和步骤

- 5.3.1 测量试样的尺寸,计算试样的表面积(取 3 位有效数字)。
- 5.3.2 试验前对试样进行称重(精确到 1 mg)。
- 5.3.3 溶液量按试样表面积计算,其量不少于 20 mL/cm<sup>2</sup>。
- 5.3.4 试样放在试验溶液中用玻璃支架保持于溶液中,连续煮沸 120 h。每一容器中只放一个试样。
- 5.3.5 通常试验中不需要更换溶液,但要注意尽可能减少溶液的挥发。溶液开始沸腾时,在瓶体上标

记液面位置,以检查溶液的挥发程度。如果液面位置发生了明显变化,则需要更换新的溶液并使用新的试样或重新打磨过的试样进行试验。

5.3.6 试验中间若有需要,可取出试样进行称量,然后继续试验。

5.3.7 试验期间,试验溶液应无明显颜色变化。若试样腐蚀过快,甚至由此导致溶液颜色明显由黄色变为绿色,则需要在试验过程中加入更多的硫酸铁。通过中间称量,如果试样总质量的消耗达到了 2 g,则试样质量每消耗 1 g 需要加入 10 g 硫酸铁。

5.3.8 试验后取出试样,在流水中用软刷子刷掉表面的腐蚀产物,洗净、干燥、称重。

5.3.9 每次试验用新的溶液。

## 5.4 试验结果评定

以腐蚀速率评定试验结果,腐蚀速率按式(1)计算,单位为克每平方米每小时 $[\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$ ,计算结果按 GB/T 8170 进行数值修约,修约到小数点后第二位。

$$\text{腐蚀速率} = \frac{W_{\text{前}} - W_{\text{后}}}{S \times t} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$W_{\text{前}}$ ——试验前试样质量,单位为克(g);

$W_{\text{后}}$ ——试验后试样质量,单位为克(g);

$S$ ——试样总面积,单位为平方米( $\text{m}^2$ );

$t$ ——试验时间,单位为小时(h)。

## 5.5 试验报告

试验报告应包括以下内容:

- a) 本标准编号及名称;
- b) 试验方法;
- c) 试样的名称及尺寸面积;
- d) 如经过敏化处理应记录敏化处理制度;
- e) 试验时间;
- f) 试验前后试样质量;
- g) 试样的腐蚀速率 $[\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})]$ 。

## 6 方法 C 65%硝酸腐蚀试验方法

### 6.1 试验溶液

将符合 GB/T 626 的优级纯硝酸用蒸馏水或去离子水配制成为  $65.0\% \pm 0.2\%$  (质量分数) 的硝酸溶液( $\rho_{20} = 1.40 \text{ g/mL}$ )。

### 6.2 试验仪器和设备

同 5.2。

### 6.3 试验条件和步骤

6.3.1 测量试样的尺寸、计算试样的表面积(取 3 位有效数字)。

6.3.2 试验前对试样进行称重(精确到 1 mg)。

6.3.3 试样放在试验溶液中用玻璃支架保持于溶液中。溶液量按试样表面积计算,其量不少于

20 mL/cm<sup>2</sup>。每周期应用新的试验溶液。每一容器中只放一个试样。

6.3.4 对于常规检验,在同一容器中可试验两个试样,但这两个试样应是同一规格、同一炉号和同一热处理制度,如果两个试样中有一个未能通过试验,按 6.3.3 重新试验。

6.3.5 试验 5 个周期,每周期连续煮沸 48 h。试验后取出试样,在流水中用软刷子刷掉表面的腐蚀产物,洗净、干燥、称重。根据供需双方协商,也可使用其他周期次数进行试验。

6.3.6 每次试验用新的溶液。

#### 6.4 试验结果评定

以腐蚀速率评定试验结果,腐蚀速率按式(1)计算。计算结果按 GB/T 8170 进行数值修约,修约到小数点后第二位。然后计算各个周期的平均值。焊接试样发现刀状腐蚀即为具有晶间腐蚀倾向,如有异议,可用金相法判定。

#### 6.5 试验报告

试验报告应包括下列内容:

- a) 本标准编号及名称;
- b) 试验方法;
- c) 试样的名称及尺寸面积;
- d) 如经过敏化处理应记录敏化处理制度;
- e) 试验时间;
- f) 试验前后试样质量;
- g) 每个试样各周期的试验时间长及腐蚀速率 $[g/(m^2 \cdot h)]$ ,以及各周期腐蚀速率的平均值。

### 7 方法 E 铜-硫酸铜-16%硫酸腐蚀试验方法

#### 7.1 试验溶液

将 100 g 符合 GB/T 665 的分析纯硫酸铜( $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ )溶解于 700 mL 蒸馏水或去离子水中,再加入 100 mL 符合 GB/T 625 的优级纯硫酸,用蒸馏水或去离子水稀释至 1 000 mL,配制成 16%硫酸-硫酸铜溶液。

#### 7.2 试验仪器和设备

7.2.1 推荐使用容量为 1 L 带回流冷凝器的磨口锥形烧瓶。

7.2.2 使试验溶液能保持微沸状态的加热装置。

#### 7.3 试验条件和步骤

7.3.1 试验前将试样用适当的溶剂或洗涤剂(非氯化物)除油并干燥。

7.3.2 在烧瓶底部铺一层纯度不小于 99.5%的铜屑、铜粒或碎铜片,然后放置试样。保证每个试样与铜屑接触的情况下,同一烧瓶中允许放置一个以上同一钢种的试样,试样之间要互不接触。

注:使用碎铜片时注意防止溶液暴沸。

7.3.3 试验溶液量按试样表面积计算,其量不少于 8 mL/cm<sup>2</sup>。试验溶液应高出试样 20 mm 以上。每次试验都应使用新的试验溶液。

7.3.4 将烧瓶放在加热装置上,通以冷却水,加热试验溶液,使之保持微沸状态。试验连续 20 h $\pm$ 5 h,如有争议,应采用 20 h。

7.3.5 试验后取出试样,洗净、干燥、弯曲。

7.3.6 每次试验用新的溶液。

## 7.4 试验结果评定

7.4.1 压力加工件试样弯曲角度为 180°。铸钢件、焊管和焊接件弯曲角度不小于 90°，焊管舟形试样沿垂直焊缝方向进行弯曲，焊接接头沿熔合线进行弯曲。对于低韧性的材料，可以采用一个未经试验的试样确定其不发生开裂的最大弯曲角度，以此作为弯曲试验的弯曲角度。

7.4.2 对于压力加工件，试样弯曲用的压头直径应不大于试样厚度的 2 倍；对于铸钢件、焊管和焊接件，试样弯曲用的压头直径应不大于试样厚度的 4 倍。

7.4.3 对于直径不大于 15 mm 的整管试样，采用压扁试验评定时，两压板之间的距离  $H$ ，按式(2)计算：

$$H = \frac{1.09Dt}{0.09D + t} \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$t$  —— 试样厚度，单位为毫米(mm)；

$D$  —— 试样外径，单位为毫米(mm)。

7.4.4 弯曲后的试样在 10×放大镜下观察试样表面是否有因晶间腐蚀而产生的裂纹。从试样的弯曲部位棱角产生的裂纹，以及不伴有裂纹的滑移线、皱纹和表面粗糙等都不能认为是晶间腐蚀而产生的裂纹。

7.4.5 试样不能进行弯曲评定或弯曲的裂纹难以判定时，则采用金相法。金相磨片应取自试样的非弯曲部位(焊接接头和焊管除外)，经浸蚀后(不得过腐蚀)，在显微镜下观察(150×~500×)，允许的晶间腐蚀深度由供需双方协商确定。

注：如果怀疑裂纹是由于弯曲产生的裂纹，可对一未经过腐蚀试验的试样进行同样的弯曲，弯曲后进行比较，便可以认定在腐蚀试验试样上看到的裂纹是否是由于晶间腐蚀造成的。

## 7.5 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- a) 本标准编号及名称；
- b) 试验方法；
- c) 试样的名称及尺寸面积；
- d) 如经过敏化处理应记录敏化处理制度；
- e) 试验时间；
- f) 试样弯曲角度及 10×放大镜观察后，晶间腐蚀倾向结果；
- g) 如果用金相法判定时，应记录放大倍数及晶间腐蚀深度。

## 8 方法 F 铜-硫酸铜-35%硫酸腐蚀试验方法

### 8.1 试验溶液

将 250 mL 符合 GB/T 625 的优级纯硫酸加入 750mL 蒸馏水或去离子水中，再加入 110 g 符合 GB/T 665 的分析纯硫酸铜( $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ )，配制成 35%硫酸-硫酸铜溶液。

### 8.2 试验仪器和设备

同 7.2。

### 8.3 试验条件和步骤

8.3.1 试验前将试样用适当的溶剂或洗涤剂(非氯化物)除油并干燥。

8.3.2 在烧瓶底部铺一层纯度不小于 99.5% 的铜屑、铜粒或碎铜片,然后放置试样。保证每个试样与铜屑接触的情况下,同一烧瓶中允许放置一个以上同一钢种的试样,试样之间要互不接触。

注:使用碎铜片时注意防止溶液暴沸。

8.3.3 试验溶液量按试样表面积计算,其量不少于 10 mL/cm<sup>2</sup>。试验溶液应高出试样 20 mm 以上。每次试验都应使用新的试验溶液。

8.3.4 将烧瓶放在加热装置上,通以冷却水,加热试验溶液,使之保持微沸状态。试验连续 20 h±5 h,如有争议,应采用 20 h。

8.3.5 试验后取出试样,洗净、干燥、弯曲。

8.3.6 每次试验用新的溶液。

### 8.4 试验结果评定

8.4.1 试样弯曲角度不小于 90°,焊管舟形试样沿垂直焊缝方向进行弯曲,焊接接头沿熔合线进行弯曲。对于低韧性的材料,可以采用一个未经试验的试样确定其不发生开裂的最大弯曲角度,以此作为弯曲试验的弯曲角度。

8.4.2 对于压力加工件,试样弯曲用的压头直径应不大于试样厚度的 2 倍;对于铸钢件、焊管和焊接件,试样弯曲用的压头直径应不大于试样厚度的 4 倍。

8.4.3 对于直径不大于 15 mm 的整管试样,采用压扁试验评定时,两压板之间的距离  $H$ ,按式(2)计算。

8.4.4 弯曲后的试样在 10× 放大镜下观察弯曲试样外表面是否有因晶间腐蚀而产生的裂纹。从试样的弯曲部位棱角产生的裂纹,以及不伴有裂纹的滑移线、皱纹和表面粗糙等都不能认为是晶间腐蚀而产生的裂纹。

8.4.5 试样不能进行弯曲评定或弯曲的裂纹难以判定时,则采用金相法。金相磨片应取自试样的非弯曲部位(焊接接头和焊管除外),经浸蚀后(不得过腐蚀),在显微镜下观察(150×~500×),允许的晶间腐蚀深度由供需双方协商确定。

注:如果怀疑裂纹是由于弯曲产生的裂纹,可对一未经过腐蚀试验的试样进行同样的弯曲,弯曲后进行比较,便可以认定在腐蚀试验试样上看到的裂纹是否是由于晶间腐蚀造成的。

### 8.5 试验报告

同 7.5。

## 9 方法 G 40%硫酸-硫酸铁腐蚀试验方法

### 9.1 试验溶液

将 280 mL 符合 GB/T 625 的优级纯硫酸加入 720 mL 蒸馏水或去离子水中,再称取 25 g 水合硫酸铁 $[\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}]$ ,硫酸铁约 75% (质量分数)加入上述硫酸溶液中,配制成 40% 硫酸-硫酸铁溶液。

### 9.2 试验仪器和设备

同 7.2。

### 9.3 试验条件和步骤

同 8.3。

### 9.4 试验结果评定

同 8.4。

### 9.5 试验报告

同 7.5。

附 录 A  
(资料性附录)

本标准与 ISO 3651-1:1998 和 ISO 3651-2:1998 相比结构变化情况

本标准与 ISO 3651-1:1998 和 ISO 3651-2:1998 相比在结构上有较多调整,具体章条编号对照情况见表 A.1。

表 A.1 本标准与 ISO 3651-1:1998 和 ISO 3651-2:1998 的章条编号对照情况

| 本标准章条编号 | 对应的 ISO 3651-1:1998 章条编号 | 对应的 ISO 3651-2:1998 章条编号 |
|---------|--------------------------|--------------------------|
| 1       | 1                        | 1                        |
| 2       | —                        | —                        |
| 3       | —                        | —                        |
| 3.1     | 4.2                      | 4.2                      |
| 3.2     | 3                        | 3                        |
| 4       | —                        | —                        |
| 5       | —                        | —                        |
| 6       | —                        | —                        |
| 6.1     | 6                        | —                        |
| 6.2     | 5                        | —                        |
| 6.3     | 7                        | —                        |
| 6.4     | 8                        | —                        |
| 6.5     | 9                        | —                        |
| 7       | —                        | 6.1                      |
| 7.1     | —                        | 6.1.1                    |
| 7.2     | —                        | 5                        |
| 7.3     | —                        | 6.1.2                    |
| 7.4     | —                        | 7                        |
| 7.5     | —                        | 8                        |
| 8       | —                        | 6.2                      |
| 8.1     | —                        | 6.2.1                    |
| 8.2     | —                        | 5                        |
| 8.3     | —                        | 6.2.2                    |
| 8.4     | —                        | 7                        |
| 8.5     | —                        | 8                        |
| 9       | —                        | 6.3                      |
| 9.1     | —                        | 6.3.1                    |
| 9.2     | —                        | 5                        |



表 A.1 (续)

| 本标准章条编号 | 对应的 ISO 3651-1:1998 章条编号 | 对应的 ISO 3651-2:1998 章条编号 |
|---------|--------------------------|--------------------------|
| 9.3     | —                        | 6.3.2                    |
| 9.4     | —                        | 7                        |
| 9.5     | —                        | 8                        |
| 附录 A    | —                        | —                        |
| 附录 B    | —                        | —                        |
| 附录 C    | —                        | —                        |
| 附录 D    | —                        | 附录 A                     |

附 录 B  
(资料性附录)

本标准与 ISO 3651-1:1998 和 ISO 3651-2:1998 的技术性差异及其原因

表 B.1 给出了本标准与 ISO 3651-1:1998 和 ISO 3651-2:1998 的技术性差异及其原因。

表 B.1 本标准与 ISO 3651-1:1998 和 ISO 3651-2:1998 的技术性差异及其原因

| 本标准章条编号 | 技术性差异   | 原因   |
|---------|---|--|
| 2       | 增加了第 2 章规范性引用文件   | 国际标准无规范性引用文件,但是标准文本中引用了其他标准,根据我国标准要求,增加了第二章规范性引用文件 |
| 4       | 增加了方法 A:10%草酸浸蚀试验方法                                       | 我国有实验室使用该方法  |
| 5       | 增加了方法 B:50%硫酸-硫酸铁腐蚀试验方法                                   | 我国有实验室使用该方法  |
| 附录 A    | 增加了附录 A 本标准与 ISO 3651-1:1998 和 ISO 3651-2:1998 相比结构变化情况   | 适应我国标准编写要求   |
| 附录 B    | 增加了附录 B 本标准与 ISO 3651-1:1998 和 ISO 3651-2:1998 的技术性差异及其原因 | 适应我国标准编写要求   |
| 附录 C    | 增加了附录 C 本标准各试验方法及其特点                                      | 对各方法的特点进行总结,以使用户选择                                 |

附 录 C  
(资料性附录)

本标准各试验方法及其特点

本标准各试验方法及其特点见表 C.1。

表 C.1 本标准各试验方法及其特点

| 试验方法 | 适用钢种         | 试验溶液        | 推荐时间         | 主要评价方法  |
|------|--------------|-------------|--------------|---------|
| 方法 A | 奥氏体不锈钢       | 10%草酸       | 90 s         | 金相法     |
| 方法 B | 奥氏体不锈钢       | 50%硫酸-硫酸铁   | 120 h        | 失重法     |
| 方法 C | 奥氏体不锈钢       | 65%硝酸       | 48 h/周期×5 周期 | 失重法     |
| 方法 E | 奥氏体不锈钢、双相不锈钢 | 铜-硫酸铜-16%硫酸 | 20 h         | 弯曲法或金相法 |
| 方法 F | 奥氏体不锈钢、双相不锈钢 | 铜-硫酸铜-35%硫酸 | 20 h         | 弯曲法或金相法 |
| 方法 G | 奥氏体不锈钢、双相不锈钢 | 40%硫酸-硫酸铁   | 20 h         | 弯曲法或金相法 |

附 录 D  
(资料性附录)

方法 E、方法 F 和方法 G 适用范围

表 D.1 给出了方法 E、方法 F、方法 G 的适用范围。对同一钢种可采用一种以上的试验方法。

表 D.1 方法 E、方法 F、方法 G 适用范围

| 试验方法 | 试验溶液        | 奥氏体不锈钢 |      | 双相不锈钢 |      |
|------|-------------|--------|------|-------|------|
|      |             | Cr/%   | Mo/% | Cr/%  | Mo/% |
| E 法  | 铜-硫酸铜-16%硫酸 | >16    | ≤3   | >16   | ≤3   |
| F 法  | 铜-硫酸铜-35%硫酸 | >20    | 2~4  | >20   | >2   |
| G 法  | 40%硫酸-硫酸铁   | >17    | >3   | >20   | ≥3   |
|      |             | >25    | >2   |       |      |

