



中国汽车工程学会标准

T/CSAE ×× - 2018

汽车零部件及材料实验室循环腐蚀试验方法

Laboratory cyclic corrosion test methods of
automotive assemblies and materials

(征求意见稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的该标准所涉必要专利信息连同支持性文件一并附上。

××××-××-×× 发布

××××-××-×× 实施

中国汽车工程学会 发布

由中国汽车工程学会发布的本标准，旨在提升产品研发、制造等的水平。标准的采用完全自愿，其对于任何特定用途的可用性和适用性，包括可能的其他风险，由采用者自行负责。

目 次

| | |
|---------------------|----|
| 前 言..... | II |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义 | 2 |
| 4 试验溶液 | 2 |
| 5 试验设备 | 3 |
| 6 设备校验试验 | 3 |
| 7 试样 | 5 |
| 8 试验条件 | 6 |
| 9 试验周期..... | 7 |
| 10 结果评价..... | 7 |
| 11 试验报告..... | 8 |
| 附录 A 试样划痕的操作规范..... | 9 |
| 附录 B 试样评价的技术规范..... | 12 |

前 言

本规范由中国汽车工程学会汽车防腐蚀老化分会提出。

本规范由中国汽车工程学会批准。

本规范由中国汽车工程学会归口。

本规范起草单位：中国第一汽车股份有限公司技术中心，美国Q-Lab公司中国代表处，重庆长安汽车股份有限公司，众泰汽车工程研究院，东风商用车有限公司东风商用车技术中心，神龙汽车有限公司技术中心，比亚迪汽车工业有限公司，南京汽车集团有限公司汽车工程研究院，安徽江淮汽车股份有限公司，广州汽车集团股份有限公司汽车工程研究院，上海汽车集团股份有限公司乘用车公司，长安福特汽车有限公司，一汽-大众汽车有限公司，泛亚汽车技术中心有限公司，奇瑞商用车（安徽）有限公司，奇瑞上海技术中心，中国第一汽车股份有限公司天津技术开发分公司，观致汽车，中国科学院金属研究所，海南热带汽车试验有限公司，中国船舶重工集团公司第七二五研究所厦门分部，中国兵器工业第五九研究所，通标标准技术服务（上海）有限公司，上海华测品正检测技术有限公司，上海天祥质量技术服务有限公司，苏州市信测标准技术服务有限公司，上海瀚海检测技术股份有限公司，阿克苏诺贝尔（中国）投资有限公司，上海凯密特尔化学品有限公司，武汉科技大学，北京科技大学。

本规范主要起草人：王纳新，张恒，黄平，孙杏蕾，赵冉，王振尧，瞿华盛，邢汶平，蓝花，曹鑫，刘朝斌，刘雁，徐丹，姚明亮，李志华，宁瑞，金喆民，陈新毅，陈拯，李晓亮，唐玉刚，曹公望，章皎琅，曾登峰，杨旋，金锋，黄佳青，殷瑛，赵汶斌，罗川，张文兴，李晓刚，周和荣，肖葵，杨陈军，高萌，陈伶，李政军，洪星，范晓宁。

本规范于2018年XX月首次发布。

汽车零部件及材料实验室循环腐蚀试验方法

1 范围

本标准规定了汽车零部件及材料实验室循环腐蚀试验方法。

本标准适用于各类汽车零部件及其材料，包括含金属、金属覆盖层、涂层、镀层及其他转化膜层等防腐蚀的质量控制、性能验证、工艺验证及产品结构设计验证等过程。

本标准适用于对金属材料具有或不具有腐蚀保护时的性能对比，不适用于对不同材料进行有耐腐蚀性的排序。

2 规范性引用文件

下列标准对于本文件的应用是必不可少的。凡是注明日期的引用文件，其随后所有的修改（不包括勘误内容）或修订版均不适用于本规范，但鼓励根据本规范达成协议的各方研究使用这些文件最新版本的可能性。

GB/T 10125-2012 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验

GB/T 13452.2-2008 色漆和清漆 漆膜厚度的测定

ISO 3574 商品级和冲压级冷轧碳素钢板

ISO 4628-2 色漆和清漆 涂层破坏的评定 一般类型破坏的程度、数量和大小的评定 第2部分：起泡等级的评定

ISO 4628-3 色漆和清漆 涂层破坏的评定 一般类型破坏的程度、数量和大小的评定 第3部分：生锈等级的评定

ISO 4628-4 色漆和清漆 涂层破坏的评定 一般类型破坏的程度、数量和大小的评定 第4部分：开裂等级的评定

ISO 4628-5 色漆和清漆 涂层破坏的评定 一般类型破坏的程度、数量和大小的评定 第5部分：脱落等级的评定

ISO 4628-6 色漆和清漆 涂层破坏的评定 一般类型破坏的程度、数量和大小的评定 第6部分：胶带法粉化等级的评定

ISO 4628-7 色漆和清漆 涂层破坏的评定 一般类型破坏的程度、数量和大小的评定 第7部分：丝绒法粉化等级的评定

ISO 4628-8 色漆和清漆 涂层破坏的评定 一般类型破坏的程度、数量和大小的评定 第8部分：划痕层离和腐蚀程度的评定

ISO 4628-10 色漆和清漆 涂层破坏的评定 一般类型破坏的程度、数量和大小的评定 第10部分：丝状腐蚀等级评定

ISO 8407 金属和合金的腐蚀 腐蚀试样中腐蚀产物的清除

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

3.1 划痕层离宽度 (Delamination)

划痕处涂层失去附着力的宽度。从划刻线的边缘起到涂层失去附着力最远处的距离。

3.2 划痕腐蚀宽度 (Corrosion)

涂层具有可见腐蚀的宽度。从划刻线的边缘起到腐蚀最远处的距离。

3.3 划痕腐蚀深度 (Hole)

涂层具有可见腐蚀点，向基材金属纵深发展的深度。

4 试验溶液

本标准所用试剂采用分析纯或分析纯以上的试剂。

本标准所配置的盐溶液为1% 氯化钠溶液，用0.5 mol/L的硫酸调整溶液的pH值为 4.0 ± 0.1 。

注1：pH值的测量应在 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 用酸度计测量，也可用测量精度不小于0.3的精密pH试纸进行日常检测。

注2：溶液在使用前进行过滤，以避免溶液中的固体物质堵塞设备喷嘴。

注3：用过的喷雾溶液不应重复使用。

5 试验设备

5.1 设备材料

用于制作试验设备的材料必须抗盐雾腐蚀并不影响试验结果的材料。

5.2 试验箱

5.2.1 试验箱的容积应不小于 0.4 m^3 ，因为较小的容积难以保证喷淋的均匀性。对于大容积的箱体，需要确保在喷淋试验期间，满足喷淋溶液的均匀分布。箱顶部要避免试验时聚积的溶液滴落到试样上。

5.2.2 箱内至少放置两个盐溶液收集器，一个靠近喷嘴，一个远离喷嘴。收集器用玻璃等惰性材料制成漏斗形状，直径为 100 mm ，收集面积约 80 cm^2 ，漏斗管插入带有刻度的容器中，要求收集的是盐溶液，而不是从试样或其他部位滴下的液体。

5.2.3 通过喷嘴喷淋的溶液，喷淋量可调，且均匀喷淋在试样上。试验箱的形状和尺寸应能使箱内溶液的收集速度为：在8.1章节表1的第1步至第3步中的12分钟喷淋时间内，盐溶液平均沉降率在 80 cm^2 的水平面积为 $39 \text{ mL} \sim 79 \text{ mL}$ 。

5.2.4 试验箱的加热系统应满足在试验的不同阶段，箱内温度达到并保持 $25 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 、 $35 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 及 $50 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ 的要求。温度测量区应距箱内壁不小于 100 mm 。

6 设备校验试验

6.1 总则

为了验证不同试验设备之间或不同实验室里同类设备之间试验结果的重现性，应对设备进行验证试验。试验条件为中性盐雾试验（NSS试验）。

采用参比试样确认试验设备的稳定性。

6.2 参比试样

参比试样符合 ISO 3574 的 CR4 级冷轧钢板，表面应无缺陷，即无孔隙、划痕及氧化色。表面粗糙度 Ra 为 $0.8 \mu\text{m} \pm 0.3 \mu\text{m}$ 。

参比试样共 6 块，试样尺寸为 $150 \text{ mm} \times 70 \text{ mm} \times (1 \pm 0.2) \text{ mm}$ 。

参比试样的称重要精确到 ± 1 mg，记做R0，然后用可剥性塑料膜保护其背面。试样的边缘亦可用可剥性塑料膜进行保护。

6.3 参比试样的放置

用惰性材料（例如塑料）制成或涂覆的参比试样架，放置试验箱内。

参比试样的布置是在试验箱内四角和其他两个任意位置，共六个不同位置。参比试样的未用塑料膜保护的一面朝上，并与垂直方向成 $20^\circ \pm 5^\circ$ 的角度。

参比试样的下边缘应与盐雾收集器的上部处于同一水平面。除非特殊说明，按中性盐雾试验条件运行试验 48 h。

在验证试验过程中，试验箱中不应有其他样品。

6.4 测定质量损失

试验结束后，应立即取出参比试样，除掉试样背面的保护膜，使用物理或化学方法去除腐蚀产物。除锈操作的具体步骤可参考GB/T 10125-2012中5.2.3章节，例如，在23 °C±2 °C下于20%±5%（质量分数）分析纯级别的柠檬酸二铵(NH₄)₂H₂C₆H₅O₇水溶液中充分浸泡。浸泡后，在室温下用水清洗试样，再用乙醇清洗，干燥后称重。除锈操作的亦可参考ISO 8407中的规定，例如，用50%（体积分数）的盐酸溶液（密度1.18 g/mL），其中加入3.5 g/L的六次甲基四胺缓蚀剂，浸泡试样除去腐蚀产物，之后用清水在室温下清洗，然后再用乙醇清洗，最后干燥。

注：每次清除腐蚀产物时，建议配制新溶液。

试验后的参比试样称重，精确到±1 mg，记做R₁。仔细测量参比试样暴露在试验箱中的面积S，按公式（1）计算得出单位面积质量损失（M）。

$$M = \frac{R_1 - R_0}{S} \quad (1)$$

6.5 设备校验结果

每块参比试样的单位面积质量损失在70 g/m²±20 g/m²范围内，说明设备校验合格，可以正常使用。

7 试样

7.1 用于循环腐蚀试验的试样，其类型、数量、形状和尺寸，可商定。

7.2 除非特殊说明，试验前试样应彻底清洗干净，清洗方法取决于试样材料性质，试样表面及其污物清洗不应采用可能浸蚀试样表面的磨料或溶剂。试样清洗后应注意避免再次污染。

7.3 试验前，应在试验箱内空置或装满模拟试样，并确认盐溶液沉降率和其他试验条件再规定范围内后，才能将试样置于试验箱内并开始试验。

7.4 试样不应放在盐雾直接喷射的位置。

7.5 试样表面在试验箱中的放置角度非常重要。在试验箱中，若试样是平板试样，则被试表面与垂直方向成15°~25°，并尽可能与垂直方向成20°。

7.6 试样可以放置在箱内不同水平面上，但不能接触箱体，试样间也不能相互接触。试样间的距离应不影响箱体内盐雾自由降落在被试表面上。试样或其支架上的液滴不得落在其他试样上。对总的试验周期超过 96 h 的试验，可允许试样移位，但需做好记录。

7.7 试样支架用惰性的非金属材料制成。悬挂试样的材料不能用金属，而应用人造纤维，棉纤维或其他绝缘材料。

7.8 循环腐蚀试验后，对试样划痕的操作规范见附录A。

8 试验条件

8.1 应根据被试材料或产品选择合适的试验条件。推荐的试验条件见表1。

表1

| 步骤 | 试验操作 | 箱体内温度 ($^{\circ}\text{C}$) | 相对湿度 (%) | 每步骤时间 (hh:mm) | 步骤间 转换 | 转换时间 (hh:mm) |
|-------|------------------------|---------------------------------|-------------|------------------|-----------|-----------------|
| 第 1 步 | 喷淋 | 25±2 | - | 0:03 | - | - |
| 第 2 步 | 温湿度控制 | 25±2 | 45±5 | 1:57 | 线性 | 1:27 |
| | 第 1 步至第 2 步， 重复 4 次 | -- | -- | -- | -- | -- |
| 第 3 步 | 温湿度控制 | 50±2 | 90±5 | 2:00 | 线性 | 1:00 |
| 第 4 步 | 温湿度控制 | 50±2 | 70±5 | 2:00 | 线性 | 1:00 |
| | 第 3 步至第 4 步， 重复 3 次 | -- | -- | -- | -- | -- |
| 第 5 步 | 温湿度控制 | 50±2 | 90±5 | 2:00 | 线性 | 1:00 |
| 第 6 步 | 温湿度控制 | 35±2 | 20±5 | 2:00 | 线性 | 1:30 |

9 试验周期

9.1 试验周期应根据被试材料或产品的有关标准选择。亦可商定解决。

9.2 在规定的试验周期内尽可能不中断试验，只有需要短暂观察试样时，才能打开试验箱，开箱检查的时间与次数应尽可能少。

9.3 如果试验终止取决于开始出现腐蚀的时间，应经常检查试样。因此，这些试样不能同要求预定试验周期地试样一起试验。

9.4 可定期目视检查预定试验周期的试样表面，在检查过程中，不能破坏试样表面。

10 结果评价

10.1 试验后试样的处理

将样板从试验箱中取出后，立即用水冲洗试样表面的盐渍、浮锈等污物。对于附着较牢固的锈迹，可用刮刀将腐蚀物和松动的涂层除掉，之后用布胶带完全贴住划痕线并在该位置牢牢压紧（用塑料刮板或者大拇指），将余下的末端向下掐断，之后倒拉胶带（与试板成 90° ）。确定真正的腐蚀宽度 C 和涂层丧失附着力范围的宽度 D，以 mm 为单位。

立即用清洁的压缩空气吹干，在 30 min 内完成对试板或样件的起泡、生锈等现象评价。若在 30 min 内不能完成评价，则把试板或样件放到干燥器中保存，并尽快完成评价。

10.2 试验结果的评价

试验结果的评价见附录 B，通常应由被试材料或产品标准提出，可参考 ISO 4628-2，ISO 4628-3，ISO 4628-4，ISO 4628-5，ISO 4628-6，ISO 4628-7，ISO 4628-8 和 ISO 4628-10 进行评价，一般试验仅考虑以下几方面：

- a) 试样划刻线以外部分的外观，如气泡、生锈、开裂、脱落、粉化、丝状腐蚀等；
- b) 试样划刻线部位的外观、划痕层离程度、划痕腐蚀程度等；
- c) 质量变化；
- d) 显微形貌变化。

11 试验报告

11.1 试验报告必须写明采用的评价标准和得到的试验结果。如有必要，应有每个试样的试验结果，每组相同试样的平均试验结果和试样的照片。

11.2 根据试验目的及要求，试验报告可包括如下内容：

- a) 本标准号和所参照的有关标准；
- b) 试验使用的盐和水类型；
- c) 被试材料或产品的说明；
- d) 试样的尺寸、形状、试样面积和表面状态；
- e) 试样的制备，包括试验前的清洗和对试样边缘或其他特殊区域的保护措施；
- f) 覆盖层的已知特征及表面处理的说明；
- g) 试样数量；
- h) 试验后试样的清洗方法，如有必要，应说明由清洗引起的失重；
- i) 试样放置角度；
- j) 试样位移的频率和次数；
- k) 试验周期以及中间检查结果；
- l) 为了检查试验条件的准确性，特地放在试验箱内的参比试样的性能；
- m) 试验温度；
- n) 盐雾沉降率；
- o) 试验溶液和收集溶液的 pH 值；
- p) 收集溶液的密度；
- q) 参比试样的腐蚀率（质量损失，g/m²）；
- r) 影响试验结果的意外情况；
- s) 检查的时间间隔。

附录A 试样划痕的操作规范

1. 准备

1.1 刀具

建议使用Erichsen公司产的型号为463的划痕工具，刀片宽度为0.5 mm。（划伤后的涂层断面为矩形切口，微观图片能看出涂层划伤很完整）。



图1 型号463划痕刀具的图片

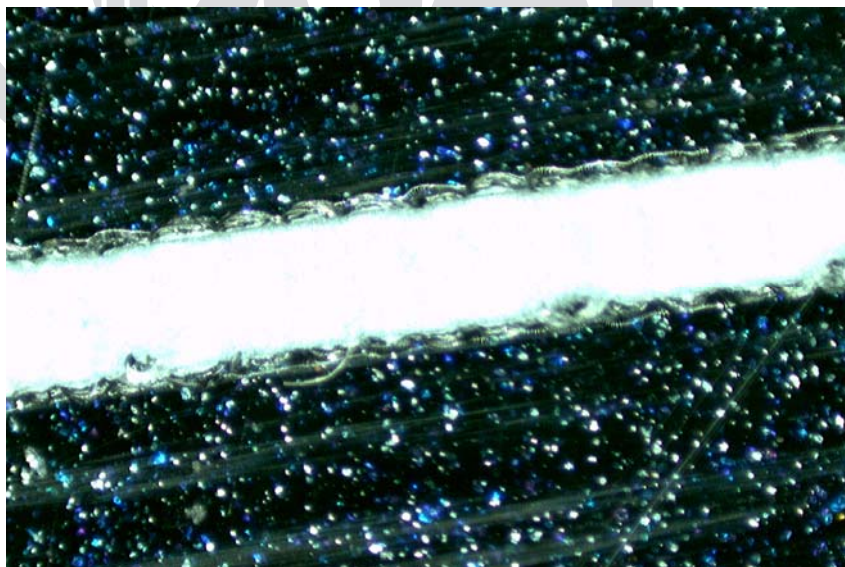


图2 型号463划痕刀具划痕断面图片

1.2 直尺

任何一种足够长度且坚固的直尺，以用于划痕工具做划痕操作的引导。

1.3 刻度尺

任何一种足够长度且坚固的刻度尺，以用于测量划痕长度等。

1.4 胶带

推荐使用3M 型号为471的黄色耐水胶带（见图3），用于封边处理,或其他可替代胶带。



图3 型号471防水胶带

1.5 样板或样件

待测试样为样板或样件，建议每种待测试样3块用于平行试验。除另有规定，试样为尺寸为70 mm×150 mm×(0.6~1.5)或100 mm×200 mm×(0.6~1.5) mm。待测试板的材质、厚度和尺寸，以及表面预处理，在所有测试中应一致并尽可能代表实际工件状况。任何参数的偏离都会导致测试结果的误差。

1.6 试样的处理

除另有规定，带涂层的试样按GB/T 1727的规定制备。

将试样在GB/T 9278规定的条件下进行状态调节。除非另外商定，试样应在温度为23°C±2°C和相对湿度为50%±5%的条件下至少调节16 h。

除另有规定，按GB/T 13452.2规定的非破坏性方法之一测定试样的原始干涂层总厚度，以μm计。记录并标明试样的漆膜破坏状态，做好原始记录，必要时应拍照或摄像记录。

有些样板会有挂孔，在试验过程中尽量使挂孔朝下方位置，避免由于挂孔处的锈水污染漆面。在试样的四周边缘，使用3M的防水胶带进行封边，避免由于边缘锈蚀产生的锈水污染漆面。

2. 实施细则

2.1 划痕距试板边缘和划痕间的距离应至少为20 mm。在试样上作三条划痕，两条划痕为平行于试样长边方向的“II”型直线，第三条划痕为垂直于长边的直线，划痕应透过涂层达到金属底材。竖划痕的长80 mm,横划痕长50 mm。在试验箱中摆放样板时，请注意将两条平行划痕置于上方。见以下划痕位置（图A.4）：

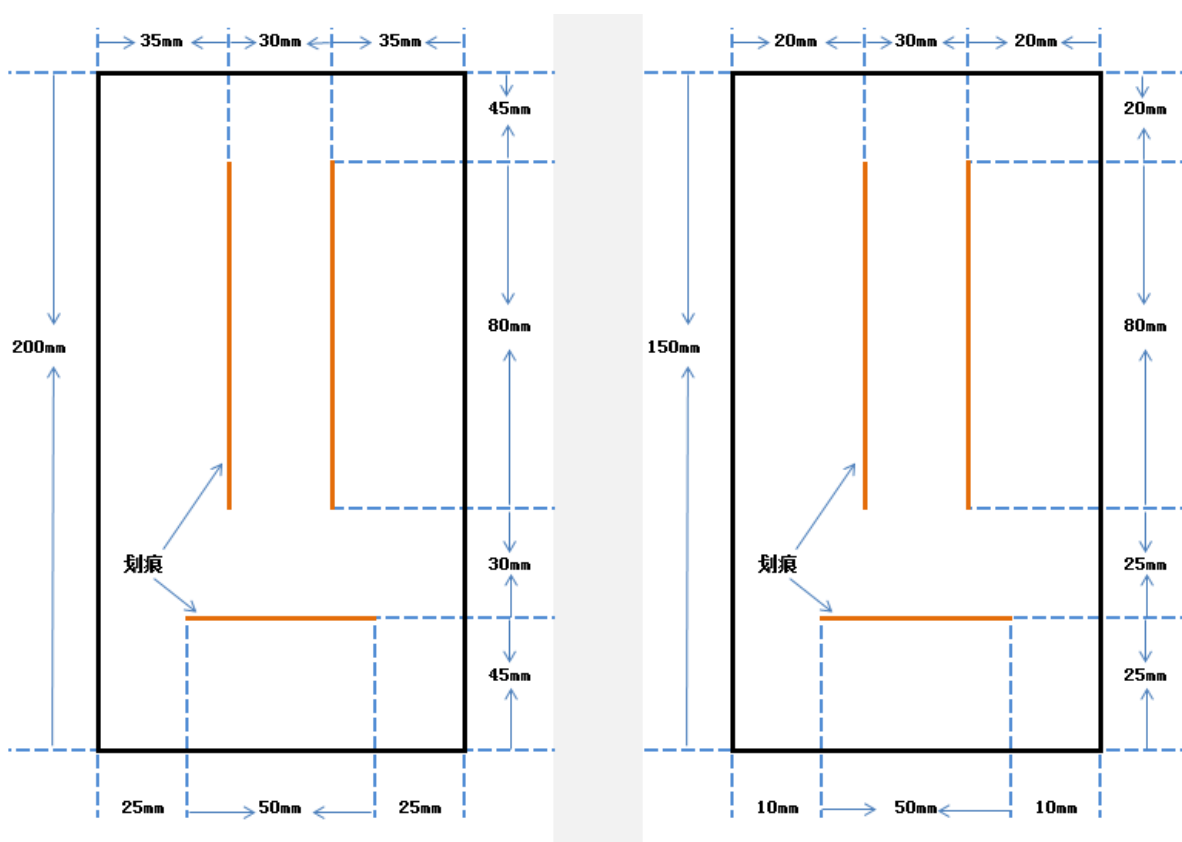


图4 划痕位置

2.2 推荐采用463的划痕工具。划痕断面为矩形，金属底材划痕宽度为0.5 mm。使用其它规格的划痕工具，应有关方商定。划痕不允许采用手术刀、刮须刀、小刀等工具实施。

2.3 对于镀锌板或镀锌合金钢板，建议透过涂层和镀层，对于腐蚀试验的结果会有很大不同，应商定划痕划破涂层及镀层的程度。

2.4 样件划痕后，至多间隔1 h，即投入相关的腐蚀试验。

附录B 试样评价的技术规范

1. 准备

1.1 刻度尺

足够长度且坚固的刻度尺，以用于测量划痕长度等。

1.2 放大镜

放大倍数为10倍。

1.3 相机

像素在800万以上。

1.4 测厚仪

非破坏式磁性测厚仪，按GB/T 13452.2-2008《色漆和清漆 漆膜厚度的测定》。

2. 术语和定义

参照标准正文第3章的规定。

3. 实施细则

腐蚀试验前按附录 A 对试样进行划痕处理，腐蚀试验后按第 10 章节对试样进行试验后处理。

在腐蚀试验后的评价，不仅对失去附着力的范围进行确定，而且对腐蚀进行确定。既可以通过测量和计算，也可以通过与图示等级进行比较而确定。本实施细则规定，对涂层丧失附着力和腐蚀，是通过测量和计算“划痕层离宽度”和“划痕腐蚀宽度”。对其他涂层的损坏，如气泡的形成、锈蚀的形成、龟裂的形成、涂层脱落或者花纹形腐蚀，都可以根据对应的国际标准同样地进行评价。

3.1 划痕部分的评价-划痕层离宽度D的测量与计算

竖划痕：在距离为 80 mm 长的划痕线上取 6 个测试点。（自划痕线的一端的 15 mm 处开始取点，每间距 10 mm 取一点，共 6 个测试点。划痕线的两个端点不作为测试点）。

横划痕：在距离为50 mm长的划痕线上取4个测试点。（自划痕线的一端的5 mm处开始取点，每间距10 mm取一点，共4个测试点。划痕线的两个端点不作为测试点）。

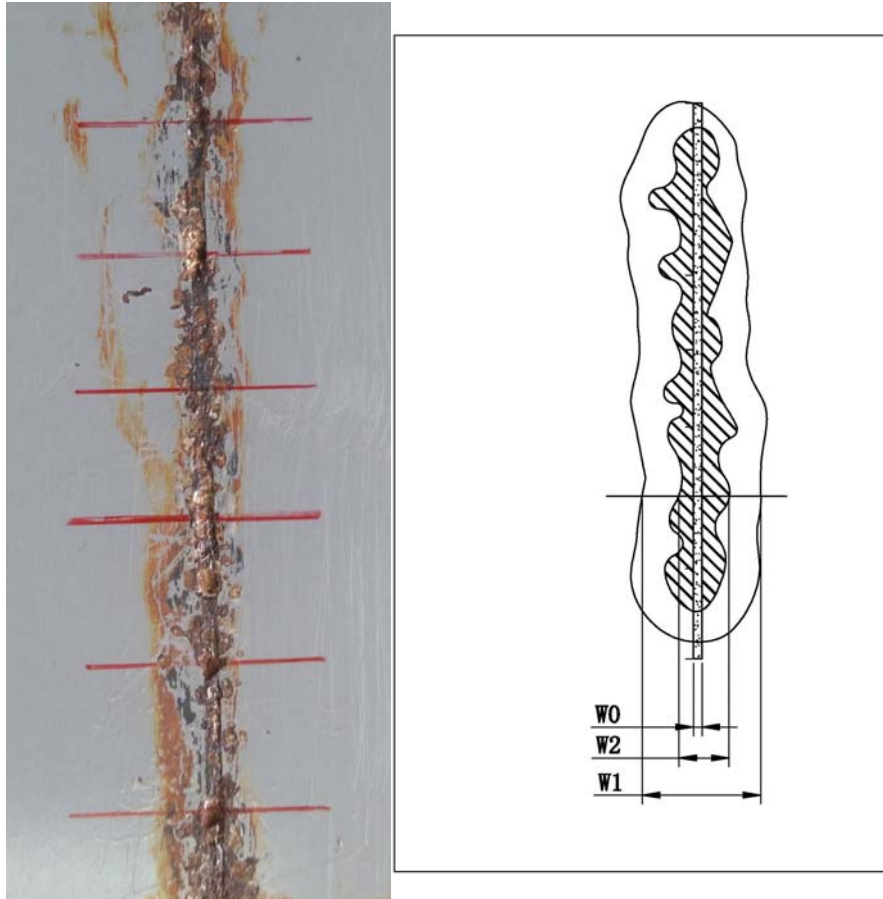


图1 取样点示意图

步骤：

1. 记录划痕测试点两侧的最大层离宽度D，即涂层丧失附着力的最大宽度。
2. 根据公式（1）计算涂层划痕层离宽度D

$$D = \frac{W_1 - W_0}{2} \quad (1)$$

其中：

D 以 mm 为单位，划痕层离宽度（单侧）

W_1 以 mm 为单位，划痕测试点两侧的最大层离宽度；

W_0 以 mm 为单位，原有划痕的宽度。

3. 以 2 条划痕，共 12 个测试点的层离宽度做算数平均值，以此为涂层试样的层离宽度最终结果。

注：如果失去附着力的范围是不均匀的，则可以增加测量点的数目（自划痕线的一端的 15 mm 处开始取点，每间距 5 mm 取一点，共 12 个点。划痕线的两个端点不作为考核点），之后用公式 1 计算。

3.2 划痕部分的评价-划痕腐蚀宽度 C 的测量与计算

步骤：

1. 记录划痕测试点两侧的最大腐蚀宽度 C，即涂层出现腐蚀的最大宽度。
2. 根据公式 (2) 计算涂层划痕腐蚀宽度 C

$$C = \frac{W_2 - W_0}{2} \quad (2)$$

其中：

C 以 mm 为单位，划痕腐蚀宽度（单侧）

W_2 以 mm 为单位，划痕测试点两侧的最大腐蚀宽度；

W_0 以 mm 为单位，原有划痕的宽度。

3. 以 2 条划痕，共 12 个测试点的腐蚀宽度做算术平均值，以此为涂层试样的腐蚀宽度最终结果。

注1：如果腐蚀宽度的范围是不均匀的，则可以增加测量点的数目（自划痕线的一端的15 mm处开始取点，每间距5 mm取一点，共12个点。划痕线的两个端点不作为考核点），也就是紧密集中测量点。之后用公式2计算。

注2：通常，防腐蚀效果好的试样，其划痕层离宽度 D 与划痕腐蚀宽度 C 是一样的，不容易分清。

注3：通常，防腐蚀效果差的试样，其划痕层离宽度 D 大于划痕腐蚀宽度 C，通过是否有锈迹很容易分清。

3.3 划痕部分的评价-划痕腐蚀深度 H 的测量

如果发现划痕处有明显的腐蚀深坑，那么需要目测腐蚀深度。取划痕上，腐蚀较严重的 12 个点，作为测试点，目测其最大腐蚀深度 H，取算术平均值为最终结果，做好记录和拍照。

3.4 非划痕部分的评价

明确样板起泡、生锈、脱落等腐蚀现象，并记录，腐蚀程度的判定参照 ISO 4628。例如，起泡等级的评定按 ISO 4628-2，生锈等级的评定按 ISO 4628-3。