

ICS

中国标准文献分类号

T/CSCP

中国腐蚀与防护学会标准

T/CSCP 0020—2017

全国团体标准信息平台

异种金属偶接件大气腐蚀试验

Atmospheric corrosion tests of coupled dissimilar metals

2014年1月1日发布

2018年1月1日实施

中国腐蚀与防护学会 发布

全国团体标准信息平台

目 次

1 范围.....	3
2 规范性引用文件.....	3
3 术语和定义.....	3
4 试验原理.....	3
5 试验样品.....	3
6 试验开始时间和试验周期.....	7
7 试验场地和设施.....	7
8 试验程序.....	7
9 结果表述.....	8
10 试验报告.....	9
附录 A (资料性附录) 试样清单.....	10
附录 B (资料性附录) 外观检查.....	11
附录 C (资料性附录) 腐蚀类型或腐蚀深度.....	13
附录 D (资料性附录) 腐蚀失重.....	14
附录 E (资料性附录) 力学性能的变化.....	15

全国团体标准信息平台

前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则进行起草。

本标准是对中国腐蚀与防护学会 2014 年发布的 FB/T 0020—2014《异种金属偶接件大气腐蚀试验》按团体标准的编写要求和格式进行修订。

本标准由中国腐蚀与防护学会提出并归口。

本标准主要起草单位：中国航发北京航空材料研究院

本标准参加起草单位：北京科技大学、中国科学院金属研究所、武汉材料保护研究所、中国电器科学研究院有限公司、钢铁研究总院青岛海洋腐蚀研究所、中国兵器工业第五九研究所、国营第二九八厂、新疆吐鲁番自然环境试验研究中心。

本标准主要起草人：刘明、张晓云、陆峰、孙志华、蔡健平、李晓刚、张三平、王振尧、韩冰、肖勇、张晓芸、刘建、杜翠薇、高瑾、董超芳、杨朝晖、王俊、肖葵、汪崧、卢琳、孙志华、郭春云、吐尔逊·斯拉依丁、王力。

全国团体标准信息平台

异种金属偶接件大气腐蚀试验

1 范围

本标准规定了异种金属偶接件的大气腐蚀试验方法,适用于评价不同金属材料(包括表面裸露的金属及合金和带覆盖层的金属及合金)偶接结构的大气环境腐蚀,同时也适用于评价金属材料与非金属导电材料偶接结构的大气环境腐蚀。

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 228.1-2010	金属材料 拉伸试验 第1部分:室温试验方法
GB/T 6461-2002	金属基体上金属和其他无机覆盖层 经腐蚀试验后的试样和试件的评级
GB/T 11186.2-89	涂膜颜色的测量方法 第二部分 颜色测量
GB/T 14165-2008	金属及其覆盖层 大气腐蚀试验 现场试验的一般要求
GB/T 16545-2015	金属和合金的腐蚀 腐蚀试样上腐蚀产物的清除
ASTM D523-2014	镜面光泽度的标准试验方法
ASTM D1186-01	铁磁性基体非磁性涂层干膜厚度的无损检测
ASTM D1400-00	非铁磁性金属基体表面绝缘涂层干膜厚度的无损检测
ASTM G82-2009	为发展电系列和使用标准指南预测电偶腐蚀的性能

3 术语和定义

试验试样:由不同种类的材料试片(一种为阳极试片,另一种为阴极试片)偶接在一起进行暴露的试样。

对比试样:与试验试样同时同方式暴露的同种阳极试片。

空白试样:在试验期间保持在不腐蚀条件下的同种阳极试片。

4 试验原理

不同种类的材料(金属材料或非金属导电材料)相互电接触后暴露在腐蚀性介质中,它们之间的电位差会驱动电子由电位较低的材料流向电位较高的材料,即电偶电流。电位较低的材料表面发生以氧化为主的反应,该材料为阳极;而电位较高的材料表面发生以还原为主的反应,该材料为阴极。在腐蚀环境中,偶接的材料与未偶接的材料相比,阳极材料的腐蚀速率可能会增加,即腐蚀加速,而阴极材料的腐蚀速率可能会下降或完全不腐蚀。

本标准在模拟不同金属材料及其制品偶接结构的基础上,制备试验试样和对比试样,将其同时同方式暴露在大气环境中,对比考察试验试样和对比试样的腐蚀特征,从而判定异种金属偶接件大气腐蚀的倾向和程度。

5 试验样品

5.1 试验样品的形状、尺寸和表面状态

试验试样由一片矩形的阳极试片、两片矩形的阴极试片以及两副紧固螺栓组成,如图1、图2所示,两件阴极试片叠加在阳极试片的正反两面,保持阴极试片和阳极试片之间的电接触,并用螺栓紧固。

阳极试片的长度一般为100mm~300mm,宽度一般为50mm~150mm;阳极试片的厚度一般为1mm~6mm。

阴极试片长度一般为 60mm~110mm, 宽度一般为 20mm~30mm; 阴极试片的厚度一般为 3mm~6mm。

要求阳极试片表面非接触区域的宽度至少为 10mm。

要求阴、阳极试片表面应无可见缺陷, 如锈蚀、污染、裂纹、孔隙、砂眼、划伤、凹痕等; 试片表面(包括切口边缘)的粗糙度(Ra)在 $0.75\ \mu\text{m}\sim 2.5\ \mu\text{m}$; 有覆盖层的试片表面不允许有覆盖层的缺损。

5.2 试样制备

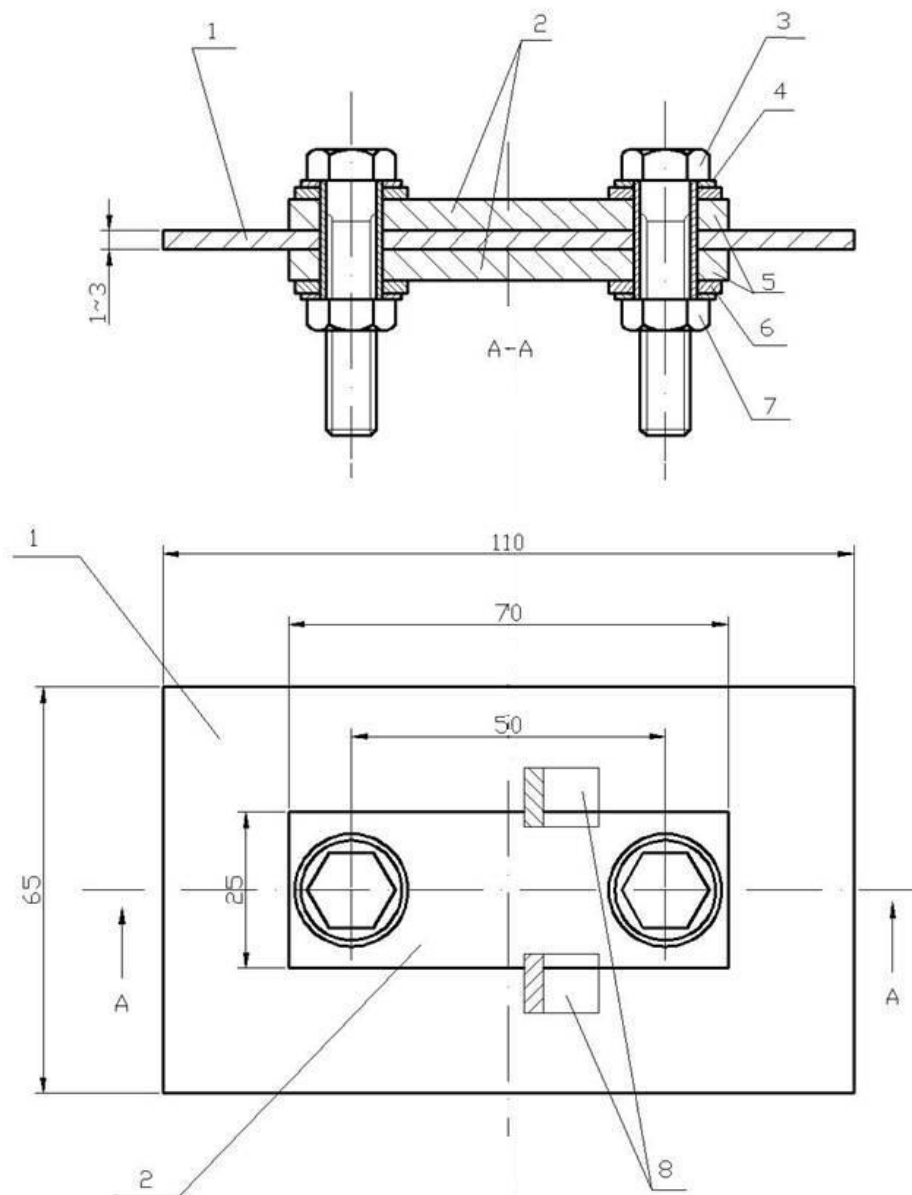
试验试样的形式主要根据检测内容而定, 需要进行力学性能检测、外观检查和显微分析的试验样品推荐采用图 1 形式的偶接试样, 用于力学性能测试的阳极试片可在试验终止后裁剪成哑铃状(图 1 虚线区域), 其尺寸应满足相关标准的要求, 例如: 测抗拉强度的试片须满足 GB/T 228.1-2010 对室温拉伸试样的要求。需要进行腐蚀失重检测、外观检查和显微分析的试验样品推荐采用图 2 形式的偶接试样。

制备试验试样前, 应首先预测偶接在一起的两种材料试片在大气环境中的电偶序, 从而确定何种试片为阳极试片, 何种试片为阴极试片, 预测可按 ASTM G82-2009 所述的方法进行, 如不能进行准确预测, 须将两种材料试片分别作为阳极试片制备相应的试验试样。

图 1、图 2 所示的试验试样须用垫圈和套筒将金属螺栓和阴、阳极试片绝缘, 绝缘垫圈推荐使用长时间不易蠕变和降解的陶瓷或其它材料, 绝缘套筒推荐使用聚乙烯或聚丙烯, 金属螺栓和金属垫圈推荐使用 0Cr18Ni9 或铬含量更高的不锈钢制造。

组装试验试样时, 紧固螺栓的最大扭矩值应大于 5.0 牛顿·米, 确保阴、阳极试片导通良好(可用万用电表检查)。在此基础上, 须注意密封阳极试片和阴极试片之间的缝隙, 可在接触区域边缘阳极试片表面制备一薄层(厚度不应超过 $10\ \mu\text{m}$) 有机涂膜, 此涂膜不能覆盖阳极试片表面的非接触区域和螺栓孔附近的区域(用于与阴极试片电接触)。

要求同时同方式暴露的对比试样和试验试样中的阳极试片材料相同, 加工参数也相同。



- 1-阳极试片;
 2-阴极试片;
 3-螺栓 8mm×40mm;
 4-金属垫圈, 厚 1mm, 直径 16mm;
 5-绝缘垫圈, 厚 1mm-3mm, 直径 18mm-20mm;
 6-绝缘套筒;
 7-螺母;
 8-显微断面。

图 2 用于评价非力学性能变化的试验试样

5.3 试样数量

一般要求试验试样和对比试样的平行试样数量至少为 3 个, 同时应留 1~3 件阳极试样作为空白试样。对于需要进行力学性能检测的试样要求平行试样数量至少为 5 个。

6 试验开始时间和试验周期

试验开始时间一般为每年的4-5月份或9-10月份。

推荐试验周期为：1、2、3、4、5年。

7 试验场地和设施

试验试样和对比试样可根据需要暴露在户外，也可根据需要放置在棚下和库内，相应的试验场地和设施应符合GB/T 14165-2008的规定。一般要求大气试验场主风向上方附近不允许有影响试验的污染源存在，周围障碍物至暴露场边缘的距离至少是该障碍物高度的3倍以上，保证试验场空气流通，阳光不受遮挡。

8 试验程序

8.1 试验前准备

8.1.1 试验样品验收

应及时对到达试验站的试验样品进行开箱清点。保证试验样品的种类、数量、编号与装箱单相同，确认后，填写交接单一式两份，双方签字，接收方和送样方各保存一份。对试验样品在运输中发生影响试验的损伤，应及时和供样单位联系，重新组织新的试验样品。

8.1.2 试验样品标识

为材料试片设计标识，标识应包涵阳极试片和阴极试片的材料种类（牌号）和表面处理工艺、投试地点（试验站）、试验方式（户外暴露、试验棚暴露、试验库暴露）、试验周期、序号等信息。在整个试验期间，标识应保持清楚和持久。对于正、反面状态相同的试验样品，还应注明暴露面。

8.1.3 试验样品保存

试验样品应保存在温度 $< 30^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $< 70\% \text{R.H.}$ ，空气无污染的环境中。如硅胶干燥器，（可控温控湿的）样品陈列柜等。

8.2 预处理

对于金属试片，可用有机溶剂（如无水乙醇、丙酮等）清洗，油污较重时可用机械或化学的方法去除。除油后，仅能戴棉质（或橡胶）手套接触试验样品的切口边缘。

对于非金属试片，可用洁净的32支医用纱布蘸取少量工业乙醇擦洗表面，再用温风（ 40°C 左右）吹干或用干纱布擦干。

8.3 初始检测

试验前的初始检测一般包括外观、原始重量、原始尺寸、表面防护层厚度、力学性能等。

试验前的外观检查须注意检查记录试验样品中各试片（试验试样中的阳极试片和对比试样）原始表面的颜色、光泽、质地、缺陷以及附着物等，也可用高分辨率的数码相机对试片原始表面进行拍摄记录。

对于要进行失重评价的试验样品（试验试样中的阳极试片和对比试样），除油后应保存在有干燥剂的干燥器中24小时以上，然后称量其原始重量，重量数据精确至 0.0001g 。

对于试验样品的原始尺寸（包括长度、宽度、厚度、孔径和孔距等），可用游标卡尺或螺旋测微计进行测量，长度数据至少应精确至 0.02mm 。

对于试验样品表面防护层的厚度，（对于金属试片表面）可用磁性测厚仪或涡流测厚仪进行测量，也可用游标卡尺或螺旋测微计测量试片表面防护处理前后的厚度差。

对于试验材料腐蚀前的力学性能，须按相关标准另行制备力学性能样品进行试验。

8.4 试验

8.4.1 试验样品的安装

要求安装试验试样和对比试样的夹具或挂具一律使用绝缘材料制成，推荐使用不易蠕变和降解的陶瓷材料，应保证试样与夹具或挂具之间的接触面积尽可能的小。

要求试验试样和对比试样的暴露方向为正面朝南，暴露角度推荐 45° 角或 90° 角。与水平成 45° 角暴露的试验试样和对比试样可采用（夹具）固定其4个角的方法安装在 45° 角试样架上；与水平成 90° 角暴露的试验试样和对比试样可使用挂具吊挂在试样架的水平横梁上，并须防止试样左右扭动改变朝向。

空白试样在整个试验期间应存放在防腐条件下，如含有干燥剂的干燥器或聚乙烯袋中，相对湿度要求小于50%。

8.4.2 试验中间检测

按规定的检测周期对试验试样和对比试样进行试验中间检测，一般包括外观检查和部分性能的无损检测，要求在试验期间，对试验样品取出检测的次数不应少于3次，而且中间检测不得对试验样品造成损伤从而影响后续的暴露试验。

试验中间的外观检查主要是检查试验试样阳极试片的接触腐蚀区域和对比试样的整个表面。接触腐蚀区域是阳极试片表面紧邻阴极试片直接接触区宽度为10mm左右的区域。对于无覆盖层的金属试片主要是记录腐蚀破坏形式、腐蚀产物颜色和浓度、腐蚀产物形貌、腐蚀产物的疏密和附着程度、腐蚀区域占整个基体面积比；对于带无机覆盖层的金属试片可按GB/T 6461-2002规定的项目进行检查和评级；对于带有机涂层的试片可按GB/T 1766-2008规定的项目进行检查和评级。可用高分辨率的数码相机对试验样品表面进行拍摄记录。

此外，试验中间检测还可以对试验样品进行一些其它的无损检测，如按照GB/T 11186.2-89进行颜色测量，按照ASTM D523-2014进行光泽的测量，按照ASTM D1186-2001和ASTM D7091-2013进行表面防护层厚度的测量。

应及时对试验中间检测的结果进行分析，发现异常数据时，应立即组织复查并采取补救措施，保证数据的可靠性。

8.4.3 试验中断

由于不可抗力的影响，试验可主动中断，待试验条件正常后，及时恢复试验。试验中断及恢复的时间应在试验报告中注明。

8.4.4 试验终止

一般情况下，试验的终止应满足下列条件之一：

- a) 预定的试验周期结束
- b) 性能检测结果低于预定指标值。

试验终止后，须及时将暴露的试验试样和对比试样回收。

8.4.5 最终检测

须在试验终止后对回收的试验试样和对比试样进行最终检测。内容一般为初始检测的项目内容，此外还应包括腐蚀深度测量、腐蚀类型评定、力学性能测试以及试验中间检测的项目内容等。

最终检测的外观检查同试验中间检测的外观检查内容一致。

对于待进行失重评价的试验样品，须首先将偶接试样的阳极试片和阴极试片拆卸开，在清除腐蚀产物前，应去除阳极上防止缝隙腐蚀的胶和漆。按照GB/T 16545-2015的规定除去腐蚀产物后，金属试片（有覆盖层金属）应刷洗、干燥、除油。在干燥器中存放24h，然后称量重量，初始检测与最终检测的称重设备须一致。

腐蚀深度可利用视频显微镜或金相显微镜进行测量，在试验试样的接触腐蚀区域和阳极试样的腐蚀区域制备金相切片，然后进行观察测量，切片数量不应少于2个。观察测量须在清除完腐蚀产物后进行。由5个腐蚀深度最大值确定最大腐蚀深度平均值。

腐蚀类型评定须对阳极试片的（金相切片）微观结构进行分析，并结合阳极试片的表面形貌，记录特殊的腐蚀类型（晶间腐蚀、点蚀、层状腐蚀等）。对于有覆盖层试验样品还应记录膜下腐蚀、丝状腐蚀等其他腐蚀类型。

力学性能测试按照相关的力学性能试验标准（如GB/T 228.1-2010）进行，如果试验试样和对比试样的规格尺寸不符合力学性能试验标准的要求，可对其进行裁剪。力学性能试验的参数须同初始检测时一致。

9 结果表述

一般通过外观、腐蚀深度、腐蚀类型、腐蚀失重、力学性能等几个方面评价试验结果。外观检查的结果表述参见附录 B，腐蚀深度和腐蚀类型的结果表述参见附录 C，腐蚀失重的结果表述参见附录 D，力学性能变化的结果表述参见附录 E。

试验结果应是不少于3个平行试样确定的腐蚀增量平均值。

10 试验报告

试验报告一般应包括以下内容：

- a) 试验名称；
- b) 试验目的；
- c) 试验内容；
- d) 试验时间（试验开始时间、终止时间和试验周期）；
- e) 试验条件（试验场地、试验装置、环境条件等）；
- f) 试验方法及执行标准；
- g) 试验样品（材料的牌号、规格、热处理状态及来源、试样形式、取样方向）；
- h) 检测方法、评价方法及执行标准；
- i) 试验中断及处理；
- j) 试验数据和结果；
- k) 结论；
- l) 编制、审核和审批签字
- m) 其它

附录 A（资料性附录）试样清单

试样清单如表 A 所示。

表 A. 试样清单

材料试片标记	阳极	
	阴极	
材料试片序号	阳极	
	阴极	
	空白试样	
	空白试样	
材料试片特征（材料类型、工艺等）	阳极	
	阴极	
材料试片尺寸/mm	阳极	
	阴极	
表面状态	阳极	
	阴极	
涂层类型厚度/mm	阳极	
	阴极	
装置中涂层试样类型		
试验地点		
试验开始日期及暴露倾斜角度		
取出日期		

全国团体标准信息平台

附录 B (资料性附录) 外观检查

外观检查应在日光或人造散射灯下进行。

应记录以下外观变化：

- 表面锈蚀
- 腐蚀产物颜色
- 表面腐蚀分布状况（非均匀、均匀、局部等）
- 腐蚀区域（点、斑等）

在清除腐蚀产物后，应确定单位表面积上的腐蚀量。把带有边长 5mm 方格的网格放在阳极试片腐蚀区域，计算腐蚀量。

对比试样的局部腐蚀量或腐蚀表面积和同一场所的试验试样用相同的方法定量评定。

接触腐蚀耐蚀性用腐蚀增量指标表示，即试验试样的接触腐蚀区域单位面积的腐蚀量与对比试样的腐蚀量的比率，或接触腐蚀区域中的腐蚀表面积与对比试样的腐蚀表面积的比率。试验结果记录在表 B 中。

表 B. 外观变化结果记录表格

检验日期	
阳极试片标记	
阳极试片外观	锈蚀
	腐蚀产物的颜色和其他特征
	腐蚀分布（均匀性、非均匀性、连续性、局部）
	腐蚀区域最大尺寸/mm
	每平方厘米上腐蚀数量 n1
	接触腐蚀区域中腐蚀面积的百分数 st/%
对比试样标记	
对比试样外观	锈蚀
	腐蚀产物的颜色和其他特征
	腐蚀分布（均匀性、非均匀性、连续性、局部）
	腐蚀区域最大尺寸/mm
	每平方厘米上腐蚀数量 n1
	腐蚀面积的百分数 sr/%
腐蚀增量指标	腐蚀量比率 $n1/n2$
	腐蚀面积比率 st/sr

非金属材料对金属材料的接触腐蚀试验结果按腐蚀状况分 A、B、C 三类。

A 对金属不产生腐蚀的非金属材料

在与非金属材料偶接的金属试片上无锈蚀或仅有微小的痕迹和表面轻微的发暗现象。

B 对金属产生轻微腐蚀的非金属材料

在与非金属材料偶接的金属试片上，与空白试样比较，仅有轻微的或类似的锈痕。

C 对金属产生严重腐蚀的非金属材料

在与非金属材料偶接的金属试片上，出现严重锈蚀或比空白试样锈蚀更厉害。

当非金属材料与金属试片接触腐蚀试验后，如发现金属试片上有发暗、白印、变色、痕迹等，可用

脱脂棉蘸取醋酸乙酯或能溶解金属材料上残留物的溶剂擦洗,若表面没有留下坑点、失光、变色等现象,则认为没有腐蚀。

全国团体标准信息平台

全国团体标准信息平台

附录 C (资料性附录) 腐蚀类型或腐蚀深度

腐蚀类型应通过试验试样和对比试样的阳极试片微观结构的金相检查确定。记录特殊的腐蚀类型(晶间腐蚀、点蚀、层蚀等)。对于有覆盖层试样应记录基体腐蚀、丝状腐蚀和其他腐蚀类型。腐蚀类型应记录在表 C 中。

使用表面光度仪、计量表、深度仪或金相检查测量每个试验试样和对比试样的腐蚀区域的腐蚀深度。金相切片不应少于 2 个。测量在清除完腐蚀产物后进行。由 5 个腐蚀深度最大值确定最大腐蚀深度平均值。接触腐蚀耐蚀性用腐蚀增量指标表示,即试验试样的接触腐蚀区域最大腐蚀深度平均值与对比试样的最大腐蚀深度平均值的比率。试验结果应记录在的表 C 中。

表 C. 腐蚀深度试验结果记录表格

标记	试验试样阳极试片		
	对比试样		
腐 蚀 深 度	正面	接触腐蚀区域	五个最大腐蚀深度平均值 hf.1/mm
		对比试样	五个最大腐蚀深度平均值 hf.2/m
		腐蚀增量指标	hf.1/ hf.2
	反面	接触腐蚀区域	五个最大腐蚀深度平均值 hr.1/mm
		对比试样	五个最大腐蚀深度平均值 hr.2/m
		腐蚀增量指标	Hr.1/ hr.2
腐 蚀 类 型	接 触 腐 蚀 区 域		
	对比试样		

附录 D (资料性附录) 腐蚀失重

对试验试样和对比试样检查,清除灰尘、污物和腐蚀产物。在阴极试片下面遭受腐蚀的阳极试片距边缘 3mm 远的部位不检查。在清除腐蚀产物前,应去除试样上防止缝隙腐蚀的胶和漆。除去腐蚀产物后,金属试片(有覆盖层金属)应刷洗、干燥、除油。在干燥器中存放 24h,然后称量。

试验试样腐蚀率用 $g/(m^2 \cdot a)$ 表示,见公式 (1):

$$\frac{\Delta m_1}{(s_1 - 2s_2) \times t} \quad (1)$$

式中:

Δm_1 ——试验试样阳极试片的失重,单位为克 (g);

S_1 ——阳极试片的表面积,单位为平方米 (m^2);

S_2 ——阴极试片的单面表面积,单位为平方米 (m^2);

t ——试验时间,单位为年 (a)。

对比试样腐蚀率用 $g/(m^2 \cdot a)$ 表示,见公式 (2):

$$\frac{\Delta m_2}{S_3 \times t} \quad (2)$$

式中:

Δm_2 ——对比试样的失重,单位为克 (g);

S_3 ——对比试样整个表面积,单位为平方米 (m^2);

t ——试验时间,单位为年 (a)。

接触腐蚀耐蚀性用腐蚀增量指标表示,即试验试样的腐蚀率与对比试样的腐蚀率之比,记录表 D 中。

表 D. 失重结果记录表格

标记	试验试样阳极试片
	对比试样
试验时间/年	
阳极试片表面积 S_1/m^2	
阴极试片(单面)覆盖表面积 S_2/m^2	
对比试样表面积 S_3/m^2	
阳极试片重量/g	试验前
	试验后
	失重 Δm_1
对比试样重量/g	试验前
	试验后
	失重 Δm_2
阳极试片腐蚀率 $K_1/[g/(m^2 \cdot a)]$	
对比试样腐蚀率 $K_2/[g/(m^2 \cdot a)]$	
接触腐蚀区域腐蚀增量指标 K_1/ K_2	

附录 E (资料性附录) 力学性能的变化

通过确定试验试样、对比试样和空白试样的最终抗拉强度、屈服强度和伸长率,由力学性能的变化评定接触腐蚀耐蚀性。

根据合适的标准,如 ISO6892,由平板拉伸试样(见图 1)确定力学性能。

表 E. 力学性能变化试验结果记录表格

标记	空白试样	
	试验试样阳极试片	
	对比试样	
空白试样的力学性能	R _{m.c} /MPa	
	R _{p.t0.2} /MPa	
	A _c /%	
试验试样阳极试片的力学性能	R _{m.t} /MPa	
	R _{p.t0.2} /MPa	
	A _t /%	
对比试样的力学性能	R _{m.r} /MPa	
	R _{p.r0.2} /MPa	
	A _r /%	
试验试样阳极试片的力学性能的相对变化	KR _m /%	
	KR _p /%	
	KA/%	
对比试样的力学性能的相对变化	K'R _m /%	
	K'R _p /%	
	K'A/%	
接触腐蚀区域腐蚀增量指标	KR _m - K'R _m	
	KR _p - K'R _p	
	KA- K'A	

试验试样的最终抗拉强度相对变化用百分比表示,见公式(3):

$$\frac{R_{m.c} - R_{m.t}}{R_{m.c}} \times 100 \quad (3)$$

式中:

R_{m.c}——空白试样抗拉强度极限,单位为兆帕(MPa);

R_{m.t}——试验试样阳极试片的抗拉强度极限,单位为兆帕(MPa)。

对比试样的最终抗拉强度相对变化用百分比表示,见公式(4):

$$\frac{R_{m.c} - R_{m.t}}{R_{m.c}} \times 100 \quad (4)$$

式中:

R_{m.c}——空白试样抗拉强度极限,单位为兆帕(MPa);

R_{m.t}——对比试样的抗拉强度极限,单位为兆帕(MPa)。

接触腐蚀耐蚀性用腐蚀增量指标表示,即试验试样和对比试样力学性能的相对变化的差。试验结果应记录在表 E 中。