



中国船级社

原油油船货油舱 耐腐蚀钢材检验指南

2013

中国船级社

2013年2月

目 录

第 1 章 通则

第 2 章 耐腐蚀钢的工厂认可

第 3 章 耐蚀钢的产品检验

第 4 章 耐腐蚀试验

第 5 章 耐蚀钢的应用

附录 A 原油船货油舱耐腐蚀钢考核试验程序

原油油船货油舱耐腐蚀钢材检验指南

第 1 章 通则

1.1 目的

1.1.1 本指南的目的是为原油油船货油舱结构满足IMO MSC.289(87)规定，采用耐腐蚀钢材作为保护涂层替代措施，使原油油船货油舱的耐腐蚀能力达到规定的目标使用寿命。

1.1.2 耐腐蚀钢达到其目标使用寿命的能力取决于钢的类型、使用和维护。本指南旨在从对船体结构钢力学性能和耐腐蚀性能的确证、使用条件的限制、建造过程的控制和营运过程中的维护等方面作出规定，以使原油油船货油舱结构构件在目标使用寿命期间能够安全营运。

1.2 适用范围

1.2.1 本指南适用于 2013 年 1 月 1 日及以后签订建造合同，或无建造合同但在 2013 年 7 月 1 日及后达到安放龙骨或类似阶段，或 2016 年 1 月 1 日及以后交船的 5000 载重吨及以上原油油船。

1.2.2 本指南适用于 CCS《材料与焊接规范》中规定的船体结构钢中厚度不大于 50mm 的钢板和型钢。

1.2.3 除本指南规定外，原油油船货油舱耐腐蚀钢的其他基本要求还应满足 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章船体结构钢的相关要求。

1.2.4 其他与原油油船货油舱相似环境的结构中采用的耐腐蚀钢也可参考应用本指南相关规定。

1.3 术语与定义

1.3.1 本指南采用的术语定义如下：

(1) **原油油船**（以下简称“原油船”）：本指南中系指经 1978 年议定书修订的 1973 年国际防止船舶造成污染公约附则 I 规则 1 定义的原油油船，参见满足国际防污止油证书(IOPP 证书格式 B)1.11 中所述从事原油运输业务的原油油船和原油/成品油油船。

(2) **原油油船货油舱耐腐蚀钢**（以下简称“耐蚀钢”）：本指南中的耐蚀钢特指用于原油船货油舱顶部和底部，与 CCS《材料与焊接规范》中一般强度和高强度船体结构钢相比，除船体结构材料、结构强度和建造要求外，其耐蚀性还满足 IMO MSC289(87)试验和认可要求的结构钢材。本指南所指的耐蚀钢并不适于在非装载原油的腐蚀环境中作为耐腐蚀钢材使用。

(3) **目标使用寿命**：系指设计时，采用防腐蚀保护方法或使用耐腐蚀材料，使结构能够达到的设计寿命的目标值，以年计。通常以耐蚀钢为结构材料的原油船的目标使用寿命为 25 年。

(4) **常规船体结构钢**（以下简称“常规钢”）：系指 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章第 2 节“一般强度船体结构钢”和第 3 节“高强度船体结构钢”中所列出的船体结构钢。

(5) **试验对比钢**：系指熔炼化学成分满足本指南附录 A 表 A1 要求，在耐蚀试验中作为对比试样的常规钢。

(6) **上甲板耐腐蚀试验**：系指用于验证适用于原油船货油舱上甲板区域内钢材耐腐蚀性

能的试验。

(7) **内底板耐腐蚀试验**：系指用于验证适用于原油船货油舱(双层底)内底板区域内钢材耐腐蚀性能的试验。

(8) **母钢级**，耐蚀钢的力学性能于 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章第 2 节“一般强度船体结构钢”和第 3 节“高强度船体结构钢”中相应的钢材等级。

1.4 试验与检验

1.4.1 钢厂应为验船师开展工作提供所有必要的设施，并为其进入所有相关部门以验证执行认可工艺、选择试验材料、见证试验和验证试验装置精度等提供方便。

1.4.2 所有试验应在满足 CCS 耐腐蚀试验机构认可要求的试验室，采用适用的试验装置，按规定的试验程序，由具有胜任资格的人员进行。

第 2 章 耐蚀钢的工厂认可

2.1 一般规定

2.1.1 生产耐蚀钢的钢厂应向 CCS 提出认可申请。

2.1.2 耐蚀钢可根据其应用位置(见图 5.2.1)分别进行认可:

- (1) 用于货油舱上甲板下表面及其周边结构;
- (2) 用于货油舱内底板上表面及其周边结构;
- (3) 既可用于货油舱上甲板,也可用于内底板。

2.1.3 除本指南规定的耐腐蚀试验外,耐蚀钢的工厂认可应按 CCS《产品检验指南》第 2 篇第 1 章“船用轧制钢材”的相关规定进行。

2.1.4 耐蚀钢的耐蚀试验应按其应用位置,按本指南第 4 章的规定分别进行。其评定标准应满足 IMO MSC.289(87)《原油油船货油舱防腐保护替代措施性能标准》附录(也见本指南附录 A)的相关要求。

2.1.5 当原认可范围有变化时(非母材,如焊接材料),应针对变化因素,按本指南的规定进行相应的耐蚀性试验加以验证。

2.2 钢材制造

2.2.1 耐蚀钢应以电炉或氧气顶吹转炉或其他经 CCS 特别认可的方法冶炼,且应满足 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章第 1 节的相应规定。

2.2.2 各等级耐蚀钢的脱氧和轧制措施以及交货状态均应满足 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章第 2 节或第 3 节的相应规定。

2.2.3 钢材应无明显的偏析和非金属夹杂物,成品材料应具有良好的粗糙度且无影响材料使用的内部和表面缺陷。表面质量和缺陷修补的要求应满足 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章第 1 节的相应规定。

2.2.4 船体结构用耐蚀钢的钢板和型钢允许尺寸偏差应满足 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 3 章第 1 节 3.1.3 的相应规定,其他用途的耐蚀钢可按订货合同的要求。

2.3 认可申请与试验大纲

2.3.1 钢厂申请工厂认可时,除常规钢材认可所需要的资料外,所提交的资料中还应包括如下内容:

- (1) 腐蚀试验大纲和试验设备与试验环境的详细情况;
- (2) 为确认耐蚀性,与产品验收标准相关的技术数据;
- (3) 产品试验程序和验收准则;

(4) 有关如何增加或控制化学成分以改善耐蚀性和如何对批量生产时保证耐蚀性进行控制的背景资料;其中应包括每一元素对耐蚀性的影响,并确定所有影响耐蚀性元素之间的关

系，添加并控制化学元素以达到耐蚀性验收指标的试验数据。化学成分数据应基于钢的熔炼分析化学成分。

- (5) 申请认可的耐蚀钢的等级和最大规格(厚度和宽度)；
- (6) 申请认可的耐蚀钢的适用范围及相应标识；
- (7) 适用的焊接方法、焊接材料和相应的焊接参数。

2.3.2 CCS 应审核试验大纲(含试验计划)，根据申请认可的范围确定试验要求，在试验计划中确认需要由验船师见证的检验和试验。试验项目除常规船体结构钢所需要的所有试验外，还应包括本指南第 4 章所含的耐蚀性试验。

2.4 认可程序

2.4.1 耐蚀钢应按钢材的等级、交货状态和适用部位分别进行认可。

2.4.2 CCS 验船师通常应在试验计划中确定的试验特定阶段见证相关的试验项目。

2.5 认可试验

2.5.1 试验应按 CCS 批准的试验大纲进行。

2.5.2 铸造批次和试验材料的选择应使验船师能确认为改善耐蚀性而添加或有意控制的化学元素的相互作用和/或控制范围(上下限)的有效性。此项选择应根据钢厂提交的认可申请资料而确定。

2.5.3 耐蚀性试验应满足本指南第 4 章和附录 A(IMO MSC289(87)《原油油船货油舱防腐保护替代措施性能标准》附录)的要求。

2.5.4 耐蚀钢的认可，除母材耐蚀性试验外，还应包括采用适用焊接材料的焊接接头耐蚀性试验。

2.5.5 除上述规定的试验要求外，在下述情况下，CCS 可以提出增加耐蚀试验的要求：

(1) 当 CCS 认为根据现有数据对由每种元素进行理论分析所确定的成分控制范围，仅按 IMO MSC289(87)附录规定数量进行试验不足以确认化学成分控制范围的有效性时；

(2) 当 CCS 认为由所取得的腐蚀试验结果来设定的化学成分变化范围太宽时；

(3) 当 CCS 认为验证设定化学成分控制范围的腐蚀试验结果有效性不够充分，或有某些漏洞时；

(4) 试验过程中，在预定见证的时间节点，未通知验船师出席现场，以及 CCS 认为为了确认试验结果有效性有必要增加试验时；

(5) 当除上述情况外，CCS 认为有必要时。

2.5.6 耐蚀钢的化学成分应满足《材料与焊接规范》中对相应等级钢材化学成分的要求。为改进耐蚀性而有意添加的《材料与焊接规范》相关章节中未规定的元素，其总量应控制在 1%以内。

2.5.7 试验结果应满足规定的相关要求。

2.6 标识

2.6.1 根据本指南，取得“原油油船货油舱耐腐蚀钢”认可的钢材，应按其适用范围，在其船体结构钢母钢级符号后增加后缀：

“RCU”对适用于货油舱上甲板区域的钢材；

“RCB”对适用于货油舱内底板区域的钢材；

“RCW”对货油舱上甲板和内底板区域均适用的钢材。

例如：具有满足《材料与焊接规范》中高强度船体结构钢中 DH36 级钢相关性能要求，且适用于原油船货油上甲板部的耐腐蚀钢材应以“DH36-RCU”表示。

2.7 证书

2.7.1 试验完成后，钢厂应完成认可试验报告并提交 CCS。如果结果满足本指南的相关要求，CCS 将签发一份工厂认可证书。

2.7.2 工厂认可证书应包括下列内容：

- (1) 认可证书号，生产厂名或商标；
- (2) 产品名称、牌号、等级和适用范围；
- (3) 认可钢材的化学成分范围（包括为改善耐蚀性而添加和/或控制的化学元素的百分含量）；
- (4) 认可钢材的规格范围；
- (5) 炼钢、铸造、轧制和交货状态；
- (6) 适用焊接材料的牌号和焊接方法；
- (7) 认可的有效期。

第3章 耐蚀钢的产品检验

3.1 一般规定

3.1.1 所有耐蚀钢均应由经 CCS 认可的钢厂生产。

3.1.2 除本指南另有规定外，耐蚀钢的生产通常应按 CCS《材料与焊接规范》第1篇第3章第1节的相关规定，以及认可的生产工艺要求进行。

3.1.3 耐蚀钢的力学性能要求与船体结构钢相同，并按 CCS《材料与焊接规范》第1篇第3章第2节和第3节的强度和韧性等级划分。

3.1.4 产品出厂检验不必进行耐蚀性试验。

3.1.5 按照制造规程保证有效的生产工艺控制是钢厂的责任。当因控制失误导致质量下降时，钢厂应确定问题的原因并提出防止再次出现的措施，同时提供一份调研报告，并提供 CCS 验船师备查。若工厂提出受影响的产品继续使用时，每个轧件均应进行耐蚀性试验，并使验船师满意。为确保产品质量 CCS 可要求对制造厂后续提供的产品适当增加试验频率。

3.1.6 在验船师签署质保书前，钢厂应在质保书上声明：“特此证明本产品系按照 CCS 规范，以认可的工艺制造并试验合格。”

3.2 化学成分

3.2.1 钢厂应对每一浇铸次的每一炉罐取样进行熔炼化学成分分析。除本指南 2.5.6 的情况外，化学成分应满足 CCS《材料与焊接规范》第1篇第3章第2节或第3节对各等级钢材的相应规定。

3.2.2 在认可时确定的与钢材耐蚀性相关的所有化学成分范围应得到严格的控制。

3.2.3 CCS 接受钢厂提供的化学成分分析报告，但在验船师有要求时可进行临时核查钢材的化学成分。

3.3 力学性能

3.3.1 已得到本社认可的耐蚀钢，在正常生产的产品中应按认可母钢级的要求进行相应的力学性能检验。

3.3.2 试验材料的截取、试样制作、试样数量和试验应满足 CCS《材料与焊接规范》第1篇第2章和第3章的相关要求。

3.3.3 试验结果应满足 CCS《材料与焊接规范》第1篇第3章第2节或第3节中相应母钢级的要求。

3.4 其他要求

3.4.1 如厚度不小于 15mm 的钢材有 Z 向性能要求，还应按 CCS《材料和焊接规范》第1篇第3章第10节要求进行相应的熔炼化学成分分析、厚度方向拉伸试验和超声波检测。

3.4.2 若钢材订货有超声波检测要求，则应按订货合同的要求对成品进行超声波检测。

3.4.3 钢厂应负责钢材表面质量检查和尺寸核查，CCS 验船师的验收并不免除钢厂的责任。

3.5 复试

3.5.1 力学性能不满足要求时，应按 CCS《材料与焊接规范》第 1 篇第 1 章第 2 节的有关要求进行了复试和验收。

3.6 标识

3.6.1 钢厂应采用一套能够从钢锭、钢坯和成品材料上追溯到原始铸件的标识系统。当验船师有要求时应当可方便地对材料进行追溯。

3.6.2 钢厂对检验合格的每一件钢材，应至少在一个位置清晰地标出 CCS 的检验标识和下列标识：

(1) 钢厂名称或商标；

(2) 钢材等级标识，含耐蚀钢的附加标识；当钢材还有其他性能附加标识时，可在母钢级标识后按 Z 向性能、适用热输入、耐蚀性和按交货状态的顺序排列。

(3) 钢材的规格；

(4) 炉号及其他能够追溯钢材全部生产过程的编号或缩写；

(5) 如订货方有要求，可标上订货合同号或其他识别标识。

上述标识和钢印应用油漆框出或采用其他措施，以求明显易认。

3.6.3 对于成捆交货的小型钢材，经 CCS 同意，可在每捆材料的端部予以标识，或在每捆材料牢固地系上含有上述信息的标牌。

3.6.4 凡标有 CCS 检验标识的钢材，如在随后的力学试验中发现不符合规定要求，则应将该标志彻底去除。

3.6.5 钢材的合格证书应包括下列内容：

(1) 订货方的名称和合同号，以及使用该材料的船名(如已知)；

(2) 材料的炉号和轧制批号；

(3) 材料的规格；

(4) 材料等级或钢厂的牌号(附有耐蚀钢的附加标识)；

(5) 熔炼分析化学成分(规范中所规定的元素)；

(6) 认可时确认的为改善耐蚀性而添加或受控制的每一化学元素的质量百分数；

(7) 力学性能试验结果；

(8) 交货状态

(9) 钢厂的质量承诺。

第 4 章 耐腐蚀试验

4.1 一般规定

4.1.1 本节适用于确定在原油运输和/或储存环境条件下钢材及其配套焊接材料耐腐蚀能力的试验。

4.1.2 除本章另有规定外，耐腐蚀试验应按钢材在原油船中的使用位置，分别按 IMO MSC289(87)附录中所列的要求进行(详见本指南附录 A)。

4.2 试验装置与试验材料

4.2.1 试验装置原则上应满足 IMO MSC289(87)附录（也可见本指南附录 A）的要求。上甲板母材试验的全部试样应在同一容器内进行试验。允许在本指南附录 A 图 A2 所示的基础上适当增大直径，以容纳 25 个或更多的试样。

4.2.2 上甲板试验装置应具有自动进行温度控制、测量和记录功能。

4.2.3 安放上甲板试验装置的实验室应装有废气处理装置和气体泄漏报警装置，其废气排放应满足国家的相关环保标准要求。实验室在试验时保持良好通风。

4.2.4 上甲板试验装置的顶盖应有可靠的试样固定装置，且不影响试样的受试表面。

4.2.5 腐蚀试验开始前，应确认在该试验装置和试验条件下试验对比钢的腐蚀速率能够满足评估衡准的条件。

4.2.6 试验对比钢的化学成分应基于钢材的熔炼化学成分，并满足本指南附录 A 表 A 1 的要求。

4.2.7 上甲板试验的气体成分应满足附录 A 2.1.1.8 款的要求。试验时，通常以下列两组不同组份的气体等量混合后注入试验容器中：

- (1) (8±2)%氧气、(26±4)%二氧化碳，(200±20)ppm 二氧化硫，氮气余量；
- (2) (1000±100)ppm 硫化氢和氮气余量。

4.2.8 内底板试验的溶液应按如下要求配制：

(1) 以每 1000ml 蒸馏水或去离子水加 15ml 的浓度为 6mol/L 的盐酸，再加 113g 的氯化钠的比例，充分混合而成。

(2) 母材试样通常应准备 3 份试验溶液，对焊缝试样通常应准备 7 份试验溶液。

(3) 配制好的每份溶液应取 2 个 10ml 的小样用蒸馏水或去离子水稀释。一份稀释 10 倍，另一份稀释 100 倍，以经校准的 pH 仪测量稀释后的液体酸度。所测得的 pH 值应满足：

对稀释 10 倍的溶液： 2.1±0.2

对稀释 100 倍的溶液： 3.1±0.2

(4) 若液体的酸度不满足要求，可用盐酸溶液调整原始试验溶液，以使稀释后的溶液达到上述 pH 值的要求。

(5) 装有配制好溶液的容器应置于 30℃ 的恒温槽内备用。为防止试验溶液的蒸发，容器

口应用塑料薄膜或其他适用材料密封覆盖。

4.2.9 试验装置调试过程中，当上甲板试验中试验对比钢的计算腐蚀损耗(CLe)小于0.05mm时，试验容器中的硫化氢气体浓度可以增加。随后所有试验均应维持在此水平上进行。

4.3 试样

4.3.1 钢材的耐腐蚀试验用的试件通常可在临近钢材力学试验取样点附近截取。

4.3.2 钢材与适用焊接材料的耐腐蚀试验用试件尺寸和数量应满足规定的要求。

4.3.3 试样的受试面为近轧制表面，试样的长边平行于轧制方向，试样的尺寸附录 A 的要求。

4.3.4 焊缝试验试件的母材通常可单面减薄至约 20mm，应采用与母材试验时同炉号材料(允许从不同的板上取)。试件应采用拟对该母材认可的焊接材料和焊接方法进行焊接。焊缝的宽度，不包括热影响区，应为 10~20mm。

4.3.5 母材试样和焊缝试样的表面应尽量保留轧制面，但允许机加工平整。受试面的加工量应不大于 2mm(如图 4.3.5 所示)。对于厚度过大的钢板，可采用机加工方法将试样从试验面的背面减薄至 $5\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ ，试样边缘不允许倒角。用于内底板耐腐蚀试验的试样应钻有直径为 2mm 的悬吊孔，孔边缘应予适当倒圆。

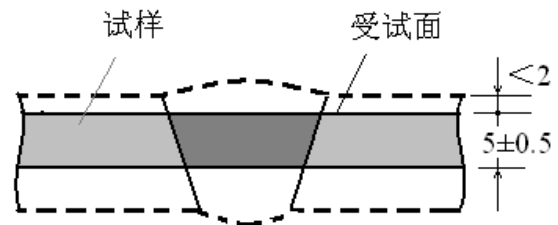


图 4.3.5 焊缝试样的取样位置

4.3.6 试验前试样表面应采用 600 号砂纸对受试面进行打磨。

4.3.7 试样的尺寸可用千分尺或卡尺准确测量，测量精度为 0.01mm。

4.3.8 试样应依次经丙酮和酒精清洗、用吹风机干燥，每个试样分别进行称重，并予以记录。称量的精度为 1mg。随后试样置于干燥皿中备用。试验前，应将试样置于超声波清洗器中去油，随后再用酒精清洗，并吹干。

4.3.9 对于用于上甲板试验用试样的非试验表面应采用能够耐试验腐蚀介质的胶带或涂料予以保护。

4.3.10 所有试样均应采用适当的方法予以标识。标识的方法应简单易辨识，且不影响试验结果。

4.4 试验

4.4.1 除下列规定外，上甲板试验应按本指南附录 A 2.1.1 的要求进行。

(1) 所有试样应在试验开始前安装就位，尽可能与进气管保持等距离(如本指南附录 A 中图 A2 所示)，且各组的试样应按均匀分布的原则放置。试样相互之间应保持一定间隙。

(2) 上甲板试验时应模拟船上状态。试验室环境温度尽可能受到控制，以使试样和蒸馏水

的温度在整个试验周期内能方便地按预先确定的循环要求进行控制。

(3) 加热/冷却的温度转换时间，指开始加热/冷却至规定的稳定温度时间，见图 4.4.1。同一转换阶段（如冷却阶段、保温阶段或加热阶段）的时间差应不大于 10min。

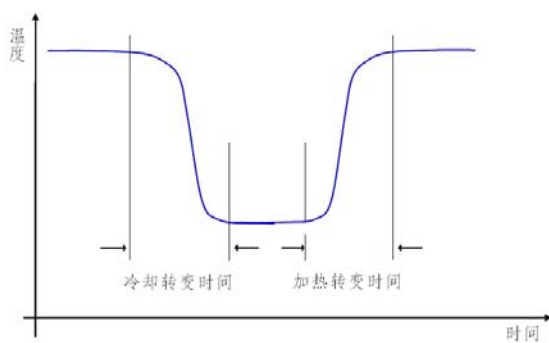


图 4.4.1(3)a 温度转换时间

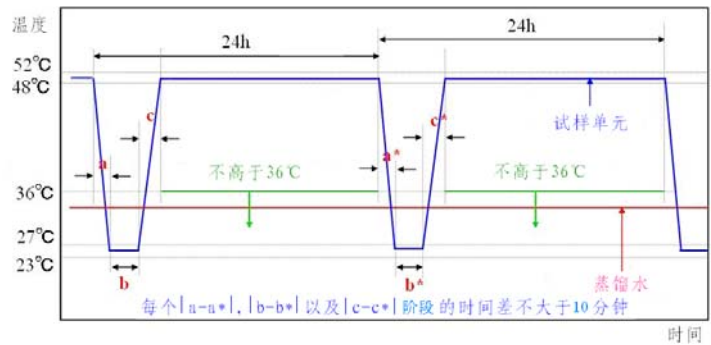


图 4.4.1(3)b 转换时间的控制

(4) 上甲板腐蚀试验过程中，通常将 4.2.7 规定的二组不同组份的气体等量混合后注入试验容器。在试验开始后的 24h 内气体流量应控制在不低于 100 ml/min，随后的气体流量应控制在不低于 20 ml/min。

(5) 在整个试验过程中，试样和水的温度应连续记录，其间隔一般不超过 2.5 min。

(6) 当需要中途提取/更换阶段试样时，应在试样处于高温的时间段关断试验气体后，先用适量的 100%氮气(N₂)吹除试验装置中的腐蚀气体，至试样干燥后取出/更换试样。取样/更换的时间一般不超过 4h。通常置入新试样后，重新按(4)的要求控制试验气体和流量，建立腐蚀环境。

(7) 阶段试样应分别按附录 A 中 2.1.1.3 款或 2.2.1.1 款的时间间隔要求提取，试样应按均匀分布的原则取出。

4.4.2 除下列规定外，内底板试验应按本指南附录 A 2.2.1 的要求进行。

(1) 内底板试验时，揭去盛有溶液容器上覆盖的密封。将穿有细尼龙线的试样悬挂在容器的中心。内底板试验可将每个试样各置于一个容器中，也可多个试样共置一个容器中。但试验腐蚀介质应不低于规定的面积比（每个试样约 1L 试验溶液）。当多个试样共置一个容器中时，试样的间距一般不小于 30 mm。

(2) 试验过程中应将容器加膜密封，防止溶液蒸发浓缩。

(3) 每隔 24h 将试样取出，置于另一盛有温度为 30°C，按 4.2.8 要求配制溶液的容器中。试验后的溶液应予废弃。

4.4.3 提取的试样应用下述方法去除浮锈和包覆物，并称重：

(1) 对受试表面应用尼龙刷去除浮锈，随后再用化学方法(ISO 8407-2009 附录中的 C3.1 溶剂)去除表面的残余腐蚀物，然后用清水洗净并干燥；

(2) 对上甲板试样，还应采用适当的溶剂或工具去除防腐涂料或包覆物，再用酒精清洗并干燥；

(3) 干燥后的试样应逐个称重。称量的精度为 1 mg。

4.4.4 对于焊缝试样，在干燥后，每个试样应按图 4.4.4 所示，制取 2 个 20mm×5mm 的焊缝横截面金相试样。

金相试样的纵轴线应与焊缝熔合线垂直，并使熔合线位于试样长度的中间。试样应嵌入树脂中，经抛光和硝酸酒精溶液腐蚀，使能明显判断试样的焊缝金属和母材。然后置于约 100 倍的光学显微镜下观察试验的受试表面，并拍照评定。当评定需要角度计算时，还应增加放大至约 250 倍的照片。

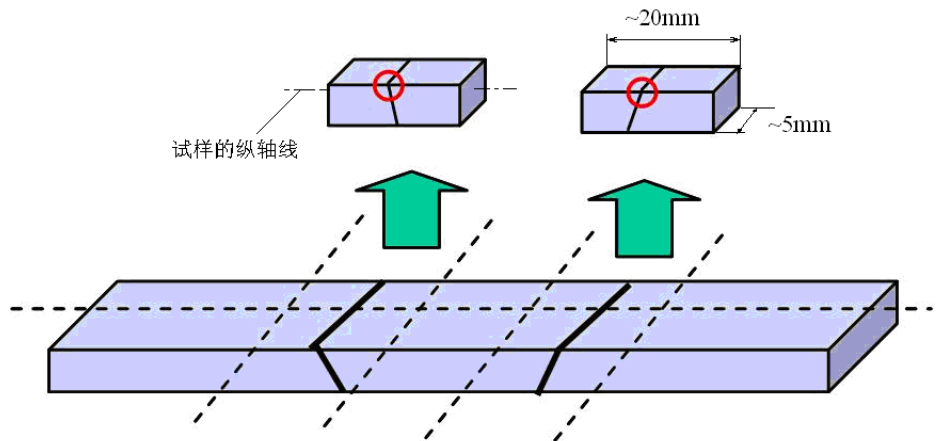


图 4.4.4 焊缝的金相取样位置

4.4.5 焊缝试样应在金相照片上对焊缝区域的台阶进行评定。评定方法如下：

(1) 焊缝的台阶深度应按下述步骤进行计量：

在金相照片上通过熔合线与腐蚀面的交点，作一直线 A-B 垂直于腐蚀平面；再从 A-B 线在上下两个台阶处分别沿母材和焊缝划沿伸至少 300μm 的平行线 DC 和 EF(称为平均表面线)，如图 4.4.5(1)所示。若焊缝平均表面线与 AB 线的交点高于母材平均表面线与 AB 线的交点，则若母材腐蚀试验合格，该焊缝试验被认定为合格。每个试样不连续的台阶深度 R 按下列公式计算：

$$R = \frac{r \times 1000}{M} \quad \mu\text{m}$$

式中：r—测量得到的台阶深度，mm；

M—照片的放大倍数。

(2) 若两个金相试样上的台阶深度均不大于 30μm，或一个焊缝试样中有一个金相试样的台阶深度超过 50μm，则不必进行下述(3)的角度计算。

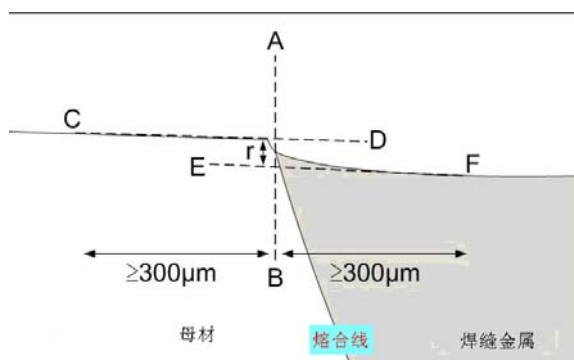


图 4.4.5(1) 焊缝腐蚀深度测定

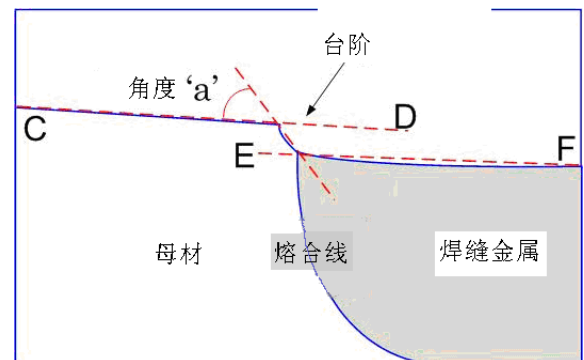


图 4.4.5(3) 焊缝腐蚀角度测定

(3) 在放大倍数约为 250 的照片上，在母材和焊缝的表面平均轮廓上分别划一直线 CD 和 EF，另在母材表面轮廓最边缘的台阶点与熔合线和焊缝表面的交点作一直线与直线 CD 相交，

测量两直线的间的夹角，如图 4.4.5 3) 所示。

4.5 试验结果与处理

4.5.1 除下列 4.5.2~4.5.3 外，试验的结果应按照本指南附录 A 2.2.4 的要求进行评定。

4.5.2 对常规钢试样失重衡准为：五个常规钢试样中至少有三个，其失重值应在下式范围内，否则应重新试验。

$$0.005 \times S \times D \leq W_{C-loss} \leq 0.011 \times S \times D$$

式中： W_{C-loss} —单个试样的失重，g；

S —试样的受试面积， cm^2 ；

D —钢材的密度， g/cm^3 。

4.5.3 对每个焊缝试样应满足下列条件，否则该试样被认为含有不连续表面而判为该试样失败：

如果两个台阶深度均小于或等于 $30\mu\text{m}$ ，则不必进行角度测量，该试样可被接受。

若两个台阶的深度均小于或等于 $50\mu\text{m}$ ，且分别测得的角度均小于或等于 15° 时，试样也可接受。五个焊缝试样均判定为无不连续表面时，焊缝腐蚀试验为合格。

4.6 试验记录和报告

4.6.1 实验室应详细记录试验过程中的有关数据，试验记录至少应包括：

- (1) 每个试样试验前的原始尺寸测量数据和称重数据；
- (2) 每个试样试验后的称重数据；
- (3) 每个试样试验后的腐蚀表面腐蚀形态的宏观照片(包括试验前、除锈前后和特殊情况的说明)；
- (4) 试验过程中的温度、腐蚀气体流量等参数和记录；
- (5) 试验记录人员的签名。

4.6.2 试验报告至少应包括：

- (1) 试验材料牌号(名称)和材料的成分；
- (2) 试验起始日期和终止日期；
- (3) 试验结果(对焊缝试验还需要包括金相照片)。

第 5 章 耐蚀钢的应用

5.1 一般规定

5.1.1 本章规定了原油船货油舱在采用耐蚀钢时，在建造和营运过程中的特殊要求。

5.1.2 若在船上不同区域采用不同的防腐蚀措施时，技术文件中应分别对不同部位的防腐蚀措施加以描述。

5.1.3 得到 CCS 确认的技术文件应保留一份副本在船上。

5.2 应用船舶和区域

5.2.1 当为满足 IMO SOLAS 公约要求而采用耐蚀钢作为原油船货油舱保护涂层替代措施时，应至少对下列区域(见图 2.1.3)使用经认可的耐蚀钢：

(1) 具有完整内部构件的上甲板，包括连接纵舱壁和横舱壁的肘板。在货油舱内部的环形强框架结构中，延伸至甲板下第一个防倾肘板面板之下的甲板横向骨架。

(2) 纵横舱壁应保护至最上层检验通道，该最上层通道及其支撑肘板应全部保护。

(3) 无最上层检验通道的货油舱舱壁，应向下保护至中心线处舱深的 10%，但距甲板不必超过 3m。

(4) 内底板及从底板上表面往上 0.3m 的所有舱内结构(包括舱壁板)。

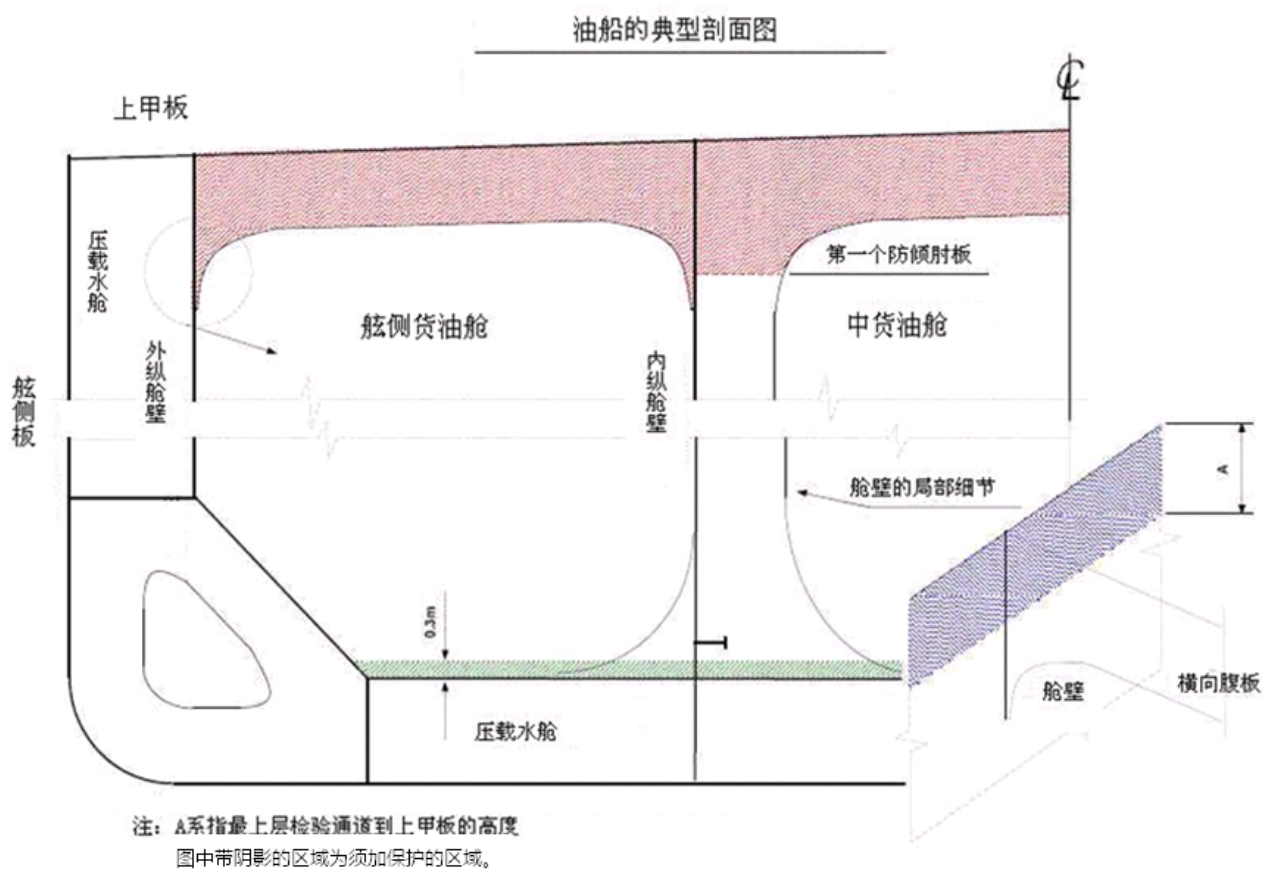


图 5.2.1 原油船货油舱耐蚀钢应用范围

5.2.2 当液货舱内位于 5.2.1 规定的范围内的主船体结构采用耐蚀钢进行腐蚀防护时，位于同一区域内的下列结构也建议采用同样的耐蚀钢进行腐蚀防护：

- (1) 不构成船体结构的永久检验通道内部分构件，如扶手、独立平台、梯子、踏步等；
- (2) 与船体结构成为一体的通道，如作为步道的加宽纵向加强筋、纵梁；
- (3) 管子、测量装置等的支撑件。

5.3 耐蚀钢的选择

5.3.1 当采用耐蚀钢作为原油船货油舱腐蚀防护措施时，船厂应采用经本社认可的耐蚀钢，并尽可能采用与其相配套的认可(证书中所载明的)焊接材料。当不采用钢材证书中所示的焊接材料时，通常应事先进行焊接工艺评定和耐腐蚀试验。

5.3.2 对 5.2.1 规定的区域允许采用不同的耐蚀措施，甚至不同耐蚀保护方法的组合也可用于同一结构构件。通常根据耐蚀钢的耐蚀性可采用如下组合：

原油船货油舱的防腐蚀措施

表 5.3.2

构件		上甲板	内底板
耐腐蚀方法	情况 1	耐蚀钢 RCU	耐蚀钢 RCB
	情况 2	PSPC-COT	耐蚀钢 RCB
	情况 3	耐蚀钢 RCU	PSPC-COT
	情况 4	耐蚀钢 RCW	耐蚀钢 RCW

注：同一构件可同时采用耐蚀钢和涂装保护。

5.3.3 当采用耐蚀钢作为货油舱腐蚀防护措施时，钢材的耐蚀性应适用于应用的位置；在同一区域内应尽可能采用与主结构同一牌号的耐蚀钢。

5.3.4 当不同牌号的耐蚀钢相互连接时应进行连接部位耐蚀性试验，以验证不同材料之间的相容性。

5.3.5 当在采用耐蚀钢的部位需采用其他防腐蚀措施时，如阴极保护，应不损害其周边结构耐蚀钢的防腐蚀性能。

5.4 耐蚀钢的使用

5.4.1 结构建造用的耐蚀钢应为经认可的耐蚀钢，并按证书允许的适用范围加以应用。

5.4.2 耐蚀钢的焊接应按认可的焊接工艺进行。

5.4.3 在本章 5.2 规定的

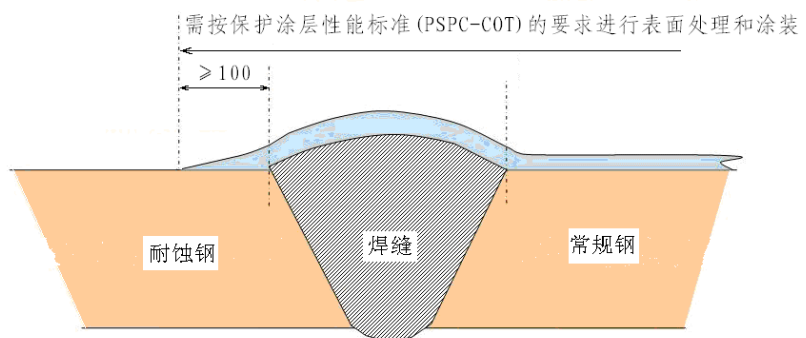


图 5.4.3(1) 耐蚀钢与常规钢的连接

范围内若有如下情形，应按不同的情形，按 CCS《船舶防腐蚀检验指南》对原油船货油舱的涂装要求进行构件表面处理和涂层保护：

(1) 若耐蚀钢与常规钢相连时，原则上面向原油船货油舱的接头区域常规钢及焊缝处应予以涂层保护，且涂层应延伸覆盖至宽度不低于 100mm 的耐蚀钢处(见图 5.4.3(1)所示)。

(2) 当采用非钢厂认可证书中指定的焊接材料，或连接两种不同牌号的耐蚀钢时，若未经 5.3.4 的不同材料之间的相容性耐蚀试验，则焊缝区域，包括相邻母材至少宽度 100mm 范围内，应予以涂装，如图 5.4.3(2)所示。。

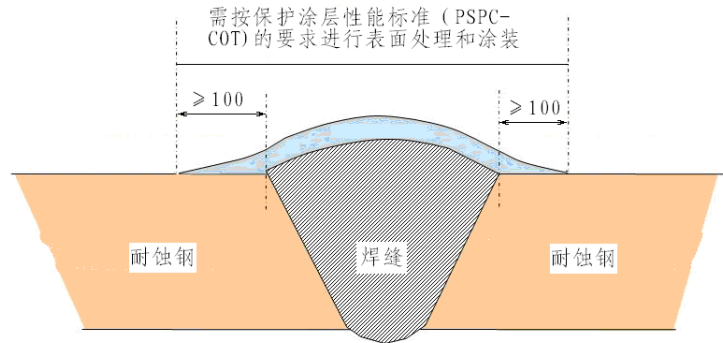


图 5.4.3(2) 不同种类耐蚀钢的连接

5.4.4 在建造过程中，应尽量避免耐蚀钢表面受到有害的影响。必要时可采用适当的措施防止飞溅、弧击、划伤对钢板表面的影响。

5.4.5 当船厂建造阶段，需要在耐蚀钢结构上安装与耐蚀钢不同材料的临时结构，如吊耳等，或未采用耐蚀钢认可证书中指定的焊接材料时，建议对构件联接处加以涂层保护。在去除临时结构时，为不影响耐蚀钢的表面状态，可保留小部分临时结构，并按原油船货油舱涂层性能标准的要求对该区域加以涂层保护，见图 5.4.5 所示。

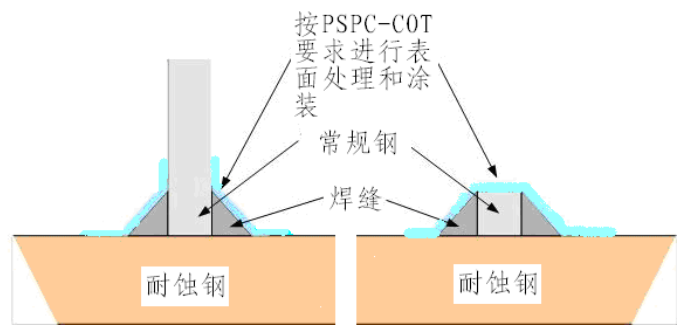


图 5.4.5 临时性结构的防护措施

5.4.6 当采用耐蚀钢作为涂层替代措施的原油船货油舱在营运中的需要修理时，应满足下列要求：

- (1) 按技术文件中所描述的修理方法进行修理；
- (2) 当有构件需要替换时，按技术文件所推荐的方法进行替代；
- (3) 当耐蚀钢构件材料需要更替时，应采用建造时采用的相同牌号的耐蚀钢；同时应采用该钢种最新工厂认可证书中所列牌号的焊接材料。

当上述条件不能满足，则相关的部位应按原油船货油舱涂层性能标准要求进行涂装保护。

5.5 技术文件

5.5.1 当原油船货油舱采用耐蚀钢作为涂层保护替代措施时，船厂应准备一份相应的技术文件，并提交 CCS 验证。技术文件中至少应包括下列内容：

- (1) 钢材的工厂认可证书复印件；
- (2) 耐蚀钢牌号和厚度，以及应用位置/区域。(当将这些信息以标注在认可图纸上时送

交时，相关图纸也应被置于技术文件中)；

- (3) 局部涂层应用区域和涂层材料(若有时)；
- (4) 所用焊接方法、焊接材料牌号和认可焊接工艺；
- (5) 点蚀修补方法(仅在耐蚀钢生产厂有特殊推荐时)；
- (6) 耐蚀钢构件替换方法；
- (7) 所用各种耐蚀钢的试验报告和试验时实际测得的板厚。

5.5.2 若在船上不同区域采用不同的防腐蚀措施时，技术文件中应分别对不同部位的防腐蚀措施加以描述。

5.5.3 经 CCS 验证的技术文件应有一份复印件在船舶整个寿命期内被保存在船上，并在船舶营运过程中，如遇测厚、修理、更换等后，对相关文件予以维护更新。

5.5.4 当船舶经过修理时，如耐蚀钢更换、点蚀部位焊补和在耐蚀钢构件上进行涂装等，船东或船舶经营者应将包括下列有关修理的信息予以记录，并经验船师确认后保留在技术文件中备查：

- (1) 修理的部位；
- (2) 修理的方法（焊补、更换耐蚀钢或采用涂装）
- (3) 所用耐蚀钢(牌号、板厚)、焊接材料（牌号和焊接方法）的记录及所用的焊接工艺(采用耐蚀钢时)；
- (4) MSC.288(87)《原油船货油舱涂层性能标准》所需的记录(采用涂层保护时)。

原油船货油舱耐腐蚀钢考核试验程序

(IMO 289(87)附录摘录)

A1 适用范围

本程序规定了认可试验的试验程序。

A2 试验

耐腐蚀钢应按下列试验进行验证。

A2.1 模拟上甲板工况条件的试验**A2.1.1 试验条件**

模拟货油舱内上甲板工况条件的试验应满足下列条件之一：

- 1 耐腐蚀钢和常规钢应同时进行试验。
- 2 常规钢的化学成分应符合表 1 的要求。试样的机械性能应能代表用于船上预定用途的钢材。

表 1—常规钢化学成分 (%)

C	Mn	Si	P	S
0.13-0.17	1.00-1.20	0.15-0.35	0.010-0.020	0.002-0.008
Al(最小酸溶)	Nb 最大值	V 最大值	Ti 最大值	Nb+V+Ti 最大值
0.015	0.02	0.10	0.02	0.12
Cu 最大值	Cr 最大值	Ni 最大值	Mo 最大值	其他成分最大值
0.1	0.1	0.1	0.02	0.02 (每种成分)

- 3 耐腐蚀钢试验应分别进行 21、49、77 和 98 天。常规钢试验应进行 98 天。焊接接头试验应进行 98 天。
- 4 每个试验阶段应有 5 个试样。
- 5 每个试样的尺寸为 $25 \pm 1 \text{ mm} \times 60 \pm 1 \text{ mm} \times 5 \pm 0.5 \text{ mm}$ 。试样表面应用#600 的砂纸打磨。焊接接头试样的尺寸为 $25 \pm 1 \text{ mm} \times 60 \pm 1 \text{ mm} \times 5 \pm 0.5 \text{ mm}$ ，包括宽度为 $15 \pm 5 \text{ mm}$ 焊缝金属，如图 A1 所示。
- 6 为了不影响试验结果，应保护除试验表面外的试样表面不受腐蚀环境影响。
- 7 试验设备包括一个双层柜，应对外层柜的温度进行控制，如图 A2 所示。
- 8 模拟实际上甲板的工况，用蒸馏水和模拟货油舱气体 ($4 \pm 1\% \text{ O}_2 - 13 \pm 2\% \text{ CO}_2 - 100 \pm 10 \text{ ppm SO}_2 - 500 \pm 50 \text{ ppm H}_2\text{S} - 83 \pm 2\% \text{ N}_2$) 进行试验。为防止蒸馏水溅出，试样表面和蒸馏水之间应保持充足的距离。在第 1 个 24 h 内的最小气体流量为 100 cc 每分钟，24 h 后为 20cc 每分钟。
- 9 试样应加热至 $50 \pm 2^\circ\text{C}$ 保持 $19 \pm 2 \text{ h}$ ， $25 \pm 2^\circ\text{C}$ 保持 $3 \pm 2 \text{ h}$ ，两个温度之间转换时间应至少为 1h。1 次试验周期的时间为 24h。蒸馏水的温度应保持不高于 36°C ，此时试样的温度为 50°C 。

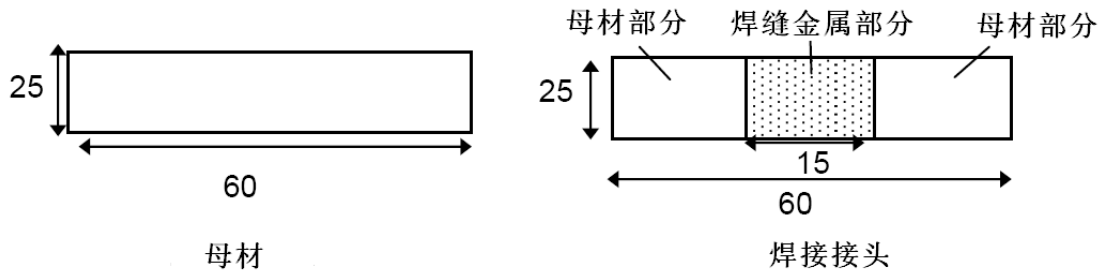


图 A1— 试验试样

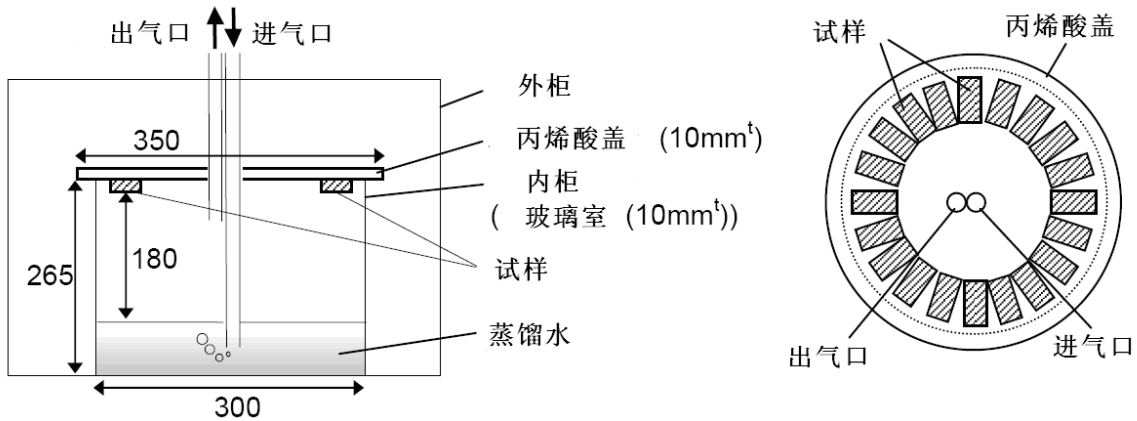


图 A2— 模拟上甲板腐蚀试验设备举例

A2.1.2 母材试验结果

试验前应报告下列测量数据:

- 1 试样的尺寸和重量;

和, 试验后应报告下列测量数据:

- 2 常规钢 (W_C) 和耐腐蚀钢 (W_{21}, W_{49}, W_{77} 和 W_{98}) 的失重 (初始重量和试验后重量之间的差);
- 3 按下式计算的常规钢 (CL_C) 和耐腐蚀钢 ($CL_{21}, CL_{49}, CL_{77}$ 和 CL_{98}) 的腐蚀损耗:

$$CL_C(mm) = \frac{10 \times W_C}{S \times D}$$

$$CL_{21}(mm) = \frac{10 \times W_{21}}{S \times D}$$

$$CL_{49}(mm) = \frac{10 \times W_{49}}{S \times D}$$

$$CL_{77}(mm) = \frac{10 \times W_{77}}{S \times D}$$

$$CL_{98}(mm) = \frac{10 \times W_{98}}{S \times D}$$

式中:

W_C : 常规钢的失重 (g) (5 个试样的平均值)

W_{21} : 21 天后耐腐蚀钢的失重 (g) (5 个试样的平均值)

W₄₉: 49 天后耐腐蚀钢的失重 (g) (5 个试样的平均值)

W₇₇: 77 天后耐腐蚀钢的失重 (g) (5 个试样的平均值)

W₉₈: 98 天后耐腐蚀钢的失重 (g) (5 个试样的平均值)

S: 表面积 (cm²)

D: 密度 (g/cm³)

如果 CL_C 在 0.05 和 0.11 之间(腐蚀率在 0.2 和 0.4 mm/年之间), 则认为正确进行了试验。为了调整 CL_C, 可以增加模拟货油舱气体中 H₂S 的浓度;

- .4 对 21、49、77 和 98 天的试验结果做最小二乘法得到耐腐蚀钢的系数 A 和 B。

耐腐蚀钢的腐蚀损耗表述如下:

$$CL = A \times t^B$$

A(mm)和 B: 系数

t: 试验时间 (天数);

- .5 通过下式计算得到 25 年后的腐蚀损耗估算值 (ECL)。

$$ECL(\text{mm}) = A \times (25 \times 365)^B$$

A2.1.3 焊接接头的试验结果

应用放大倍数为 1000¹的显微镜观察母材和焊缝金属之间的表面边界。

A2.1.4 验收标准

基于 A2.1.1 和 A2.1.2 规定的试验结果应满足下列标准:

- .1 $ECL(\text{mm}) \leq 2$ (对于母材); 和
- .2 母材和焊缝金属之间无不连续表面 (如呈阶梯状) (对于焊接接头)。

A2.1.5 试验报告

试验报告应包括下列内容:

- .1 生产商的名称;
- .2 试验日期;
- .3 钢材的化学成分和耐腐蚀处理;
- .4 按 A2.1.2 和 A2.1.3 的试验结果; 和
- .5 按 A2.1.4 进行的判定。

A2.2 模拟内底工况条件的试验

A2.2.1 试验条件

模拟货油舱内底工况条件的试验应满足下列条件之一:

- .1 对母材试验应进行 72 h, 对焊接接头进行 168 h。
- .2 母材和焊接接头应至少各有 5 个耐腐蚀钢试样。为了进行比较, 应至少在相同条件下对 5 个

¹经 IACS 专门工作组讨论, 认为放大 1000 倍反而不易对结果作出正确判断。因此在 IACS 文件中规定放大倍数约为 100 倍和 250 倍。

常规钢母材试样进行试验。

- .3 对于仅为母材的试样，每个试样的尺寸为 $25 \pm 1 \text{ mm} \times 60 \pm 1 \text{ mm} \times 5 \pm 0.5 \text{ mm}$ ，对于有焊接接头的试样，每个试样的尺寸为 $25 \pm 1 \text{ mm} \times 60 \pm 1 \text{ mm} \times 5 \pm 0.5 \text{ mm}$ ，其中包括宽度为 $15 \pm 5 \text{ mm}$ 的焊缝金属，如图A3所示。除了用来悬挂的孔之外，试样表面应用#600的砂纸打磨。
- .4 为防止出现裂缝和/或局部腐蚀，用细尼龙线（直径0.3 mm至0.4 mm）将试样悬挂在溶液中。见图A4腐蚀试验布置的举例。
- .5 试验溶液中含有10%重量百分比的氯化钠，溶液用盐酸溶液调节pH值至0.85。为减少试验溶液pH值的变化，每隔24 h应换新一次试验溶液。溶液的体积大于 20 cc/cm^2 （试样的表面积）。试验溶液的温度应保持在 $30 \pm 2^\circ\text{C}$ 。

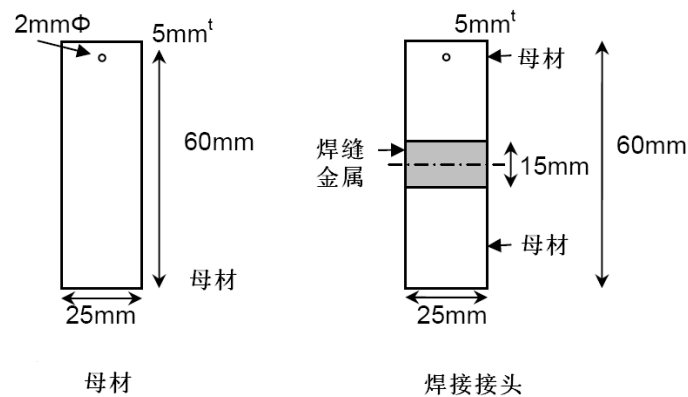


图 A3—本次试验试样

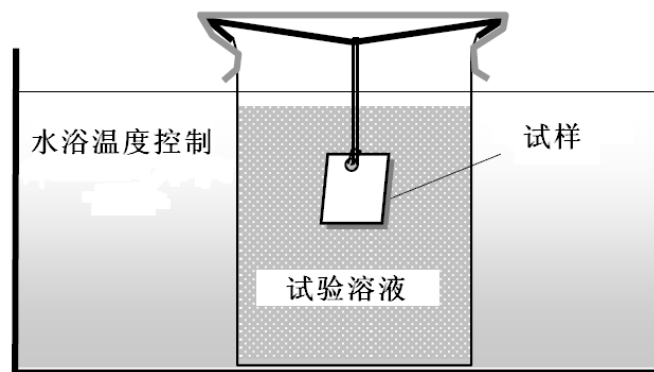


图 A4 — 模拟内底腐蚀试验设备

A2.2.2 母材试验结果

试验前应测量并报告下列数据：

- .1 试样的尺寸和重量；

和，试验后应报告下列测量数据：

- .2 失重（初始重量和试验后重量之间的差）；
- .3 按下式计算的腐蚀速率（C.R.）：

$$C.R.(mm/年) = \frac{365(\text{天}) \times 24(\text{小时}) \times W \times 10}{S \times 72(\text{小时}) \times D}$$

式中：W：失重（g），S：表面积（cm²），D：密度（g/cm³）；

- .4 为识别出现裂缝和/或局部腐蚀的试样，应将 C.R.值标绘在正态分布数据图上。偏离正态数据分布的 C.R.数据必须从试验结果中去除。参见图 5 的例子；
- .5 计算 C.R.数据的平均值（*C.R. ave*）：

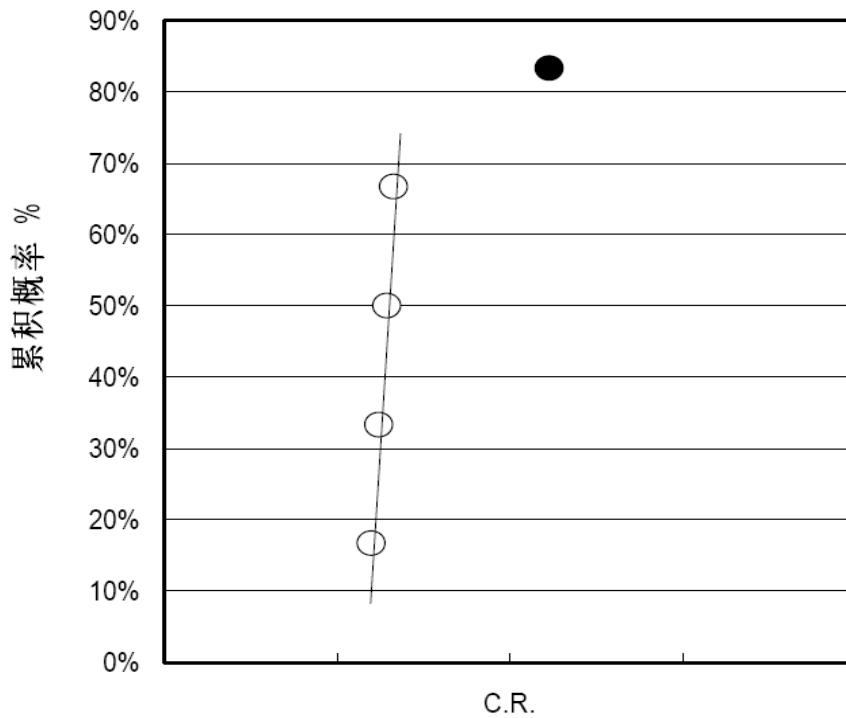


图 5—在正态分布图上标绘 C.R.值的例子
(这种情况下 C.R.数据●应弃用并删除。)

A2.2.3 焊接接头试验结果

应用放大倍数为 1000²的显微镜观察母材和焊缝金属之间的表面边界。

A2.2.4 验收标准

基于 A2.2.2 和 A2.2.2 的试验结果应满足下列标准：

- .1 $C.R._{ave} (mm/年) \leq 1.0$ （对于母材）；和
- .2 母材和焊缝金属之间无不连续表面（如呈阶梯状）（对于焊接接头）。

A2.2.5 试验报告

试验报告应包括下列内容：

- .1 生产商的名称；
- .2 试验日期；

² 经 IACS 专门工作组讨论，放大 1000 倍反而不易对结果作出正确判断。因此在 IACS 文件中规定放大倍数为约 100 倍和 250 倍。

- .3 钢材的化学成分和耐腐蚀处理;
- .4 按 A2.2.2 和 2.2.2 的试验结果; 和
- .5 按 A2.2.3 进行的判定。