

团 体 标 准

T/CMES XXXX—XXXX

舰船推进系统关重件增材再制造性能 测试方法 腐蚀性能测试

Test method for the performance of additively remanufactured of
marine propulsion systems key parts—Corrosion performance testing

(征求意见稿)

XXXX-XX-XX 发布

XXXX-XX-XX 实施

中国机械工程学会 发布

中国机械工程学会标准征求意见稿

中国机械工程学会（英文简称 CMES）是具备开展国内、国际标准化活动资质的全国性社会团体。制定中国机械工程学会团体标准，以满足企业需要和市场需求，推动机械工业创新发展，是中国机械工程学会团体标准的工作内容之一。中国境内的团体和个人，均可提出制、修订中国机械工程学会团体标准的建议并参与有关工作。

中国机械工程学会团体标准按《中国机械工程学会标准化管理办法》进行制定和管理。

中国机械工程学会团体标准草案经向社会公开征求意见，并得到参加审定会议的 3/4 以上的专家、成员的投票赞同，方可作为中国机械工程学会团体标准予以发布。

在本标准实施过程中，如发现需要修改或补充之处，请将意见和有关资料寄给中国机械工程学会，以便修订时参考。

本标准版权为中国机械工程学会所有。除了用于国家法律或事先得到中国机械工程学会正式许可外，不许以任何形式复制、传播该标准或用于其他商业目的。

中国机械工程学会地址：北京市海淀区首体南路 9 号主语国际 4 座 11 层

邮政编码：100048 电话：010-68799027 传真：010-68799050

网址：www.cmes.org 联系人：袁俊瑞 电子信箱：yuanjr@cmes.org

目次

目次..... II

前言..... III

1 范围 1

2 规范性引用文件..... 1

3 术语和定义..... 1

4 试验条件..... 2

 4.1 盐雾腐蚀试验条件..... 2

 4.2 电化学腐蚀试验条件..... 2

5 试验设施与装置..... 2

 5.1 盐雾试验设备..... 3

 5.2 电化学试验设备..... 3

6 试样及制备..... 4

7 试验过程..... 5

 7.1 盐雾腐蚀试验..... 5

 7.2 电化学腐蚀试验..... 5

8 检测报告..... 5

附录 A（规范性附录）工艺试验件制备要求..... 7

 A.1 损伤特征..... 7

 A.2 材料..... 7

 A.3 工艺..... 7

图1 增材再制造零部件的修复区示意图..... 2

前 言

本文件依据 GB-T 1.1-2020 给出的规则起草。

考虑到本文件中的某些条款可能涉及专利，中国机械工程学会不负责对其任何专利的鉴别。

本文件起草单位：哈尔滨工业大学、中国科学院金属研究所、中国人民解放军陆军装甲兵学院、中国兵器工业标准化研究所、哈尔滨工程大学、航天海鹰（哈尔滨）钛业有限公司、中国船舶集团有限公司第七〇三研究所、安徽哈特三维科技有限公司、安徽铭谷激光智能装备科技有限公司

本文件起草人：王亮、张勇、程增埔、朱国强、赵春志、徐丽、赵阳、杨柏俊、赵成森、王佳典、陈卓、陈齐、高雪松

中国机械工程学会标准征求意见稿

中国机械工程学会标准征求意见稿

舰船推进系统关重件增材再制造性能测试方法 腐蚀性能测试

1 范围

本文件规定了舰船推进系统损伤关重件增材再制造后的腐蚀性能测试方法，包括盐雾试验和电化学腐蚀试验的试验条件、要求和评定方法。

本文件适用于舰船推进系统关重件增材再制造修复件的腐蚀性能测试。其他增材再制造汽轮机零部件的腐蚀性能测试，可参照使用。如合同各方同意，本标准也可用于其他方法对舰船推进系统零部件修复的检测和验收。

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 6461 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 10125 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验

GB/T 13277.1 压缩空气 第1部分：污染物净化等级

GB/T 17899 金属和合金的腐蚀 不锈钢在氯化钠溶液中点蚀电位的动电位测量方法

GB/T 24196 金属和合金的腐蚀 电化学试验方法 恒电位和动电位极化测量导则

GB/T 35351 增材制造 术语

GJB 150.11A 军用装备实验室环境试验方法 盐雾试验

GJB 190-86 特性分类

3 术语和定义

GB/T 24196, GB/T 35351, GJB 150.11A, GJB 190-86 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出了 GB/T 24196, GB/T 35351, GJB 150.11A, GJB 190-86 中的某些术语和定义。

3.1 增材再制造

以损伤零部件为基础，反求测量获取缺损模型，通过离散分层、路径规划、离线编程，在激光、电弧、等离子弧等热源作用下，将合金粉末或丝材与工件基体表面迅速加热并熔化、混合、扩散、反应、凝固，在工件损伤表面逐层累积叠加，使损伤零部件恢复初始几何形状等质量特性。

3.2 舰船推进系统关重件

具有关键重要特性的产品。如：汽轮机阀杆、叶片、气缸、轴瓦等。

[GJB190-86, 定义 A1.1, A1.2]

3.3 工艺试验件

在开发和优化增材再制造工艺过程中, 用于评估和验证工艺参数、制备路线等的专门制备的试件。

3.4 修复区

为实现破损零部件几何形状和尺寸恢复, 通过增材再制造方法填补的区域。

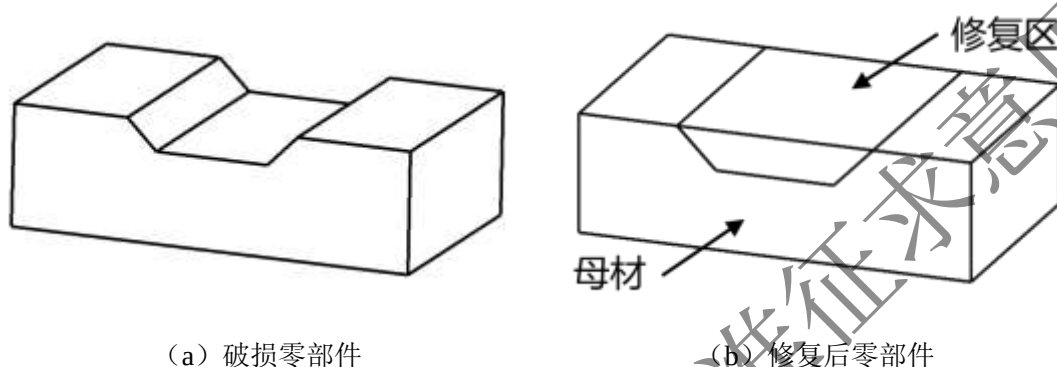


图1 增材再制造零部件的修复区示意图

4 试验条件

4.1 盐雾腐蚀试验条件

1) 除非另有规定, 试验应使用 $5\% \pm 1\%$ 的氯化钠(NaCl)溶液进行雾化。

应保持盐溶液的 pH 值, 使在试验箱中收集到的沉降盐溶液的 pH 值, 在温度为 $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时保持在 6.5~7.2 之间。只能使用稀的化学纯的盐酸或氢氧化钠来调整 pH 值。pH 值的测量可采用电化学法或比色法。

若必要, 盐溶液中可加入硼砂 ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 作为 pH 缓冲剂, 在 75L 盐溶液中加入的硼砂量不超过 0.7g。

具体盐溶液配置方法参照 GJB 150.11A。

2) 试验温度应保持在 $35 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3) 在整个喷雾试验中, 盐溶液的沉降率应保持 $1.0 \sim 3.0\text{ mL}/(80\text{ cm}^2 \cdot \text{h})$ 。

4) 试验周期应根据被试材料或产品的有关标准选择, 若无标准, 可经缔约双方协商确定。推荐的试验周期为: 2h, 4h, 6h, 8h, 24h, 48h, 72h, 96h, 144h, 168h, 240h, 480h, 720h, 1000h。

具体试验周期参照 GB/T 10125。

4.2 电化学腐蚀试验条件

1) 试验溶液宜反映应用环境, 否则应使用 3.5% 的氯化钠 (NaCl) 溶液, pH 值 6.5~7.2。溶液的配制应使用分析纯化学药品和蒸馏水或去离子水。

2) 试验温度应保持在 $25 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

3) 每次测试时间应不少于 24 小时, 至少 3 次重复测试。

5 试验设施与装置

5.1 盐雾试验设备

5.1.1 概述

盐雾试验所使用试验设施与装置包括盐雾试验箱、喷雾装置和温度控制系统。

5.1.2 试验箱

- 1) 试验箱应由耐腐蚀材料制成，如玻璃钢、PVC 或其他适当的塑料材料。
- 2) 箱体容积应不小于 0.4 m^3 。若使用容积小于 0.4 m^3 的箱体，应对喷雾系统进行评估，以确保盐雾的均匀分布。
- 3) 箱盖应能严密密封，防止盐雾泄漏。
- 4) 箱内应设置倾斜的试样支架，倾角为 $15^\circ \sim 30^\circ$ 。支架材料应保证对盐雾特性不产生影响。
- 5) 应使用至少 2 个由玻璃等惰性材料制成的盐雾收集器来收集盐溶液样品。一个放置在试件的边缘最靠近喷嘴处，另一个也放置在试件的边缘但应离喷嘴最远。若使用多个喷嘴，此原则同样适用。收集器的安放位置不应被试件遮蔽，也不能让收集器收集到从试件或其他地方滴落的盐水。
- 6) 试验箱应配备观察窗，便于观察试验过程。

5.1.3 喷雾装置

- 1) 喷雾装置应采用塑料或玻璃材质的雾化器。
- 2) 喷雾系统应能产生细密均匀的盐雾，雾滴粒径应在 $1\text{--}10 \mu\text{m}$ 之间。
- 3) 喷雾量应可调节，能够达到 $1.0\text{--}3.0 \text{ mL}/(80 \text{ cm}^2\text{h})$ 。
- 4) 喷雾系统应包括盐溶液储罐、压缩空气供给装置和流量控制装置。
- 5) 盐溶液储罐容量应不小于 50 L，能够支持至少 24 小时的连续运行。
- 6) 压缩空气应经过过滤和除油处理，保证洁净度。压缩空气净化等级应满足 GB/T 13277.1-2023[1:2:1]

5.1.4 温度控制系统

- 1) 试验箱应配备加热装置和温度控制器。
- 2) 温度控制精度应达到 $\pm 0.1^\circ\text{C}$ 。
- 3) 应能将试验箱温度稳定维持在 $35 \pm 2^\circ\text{C}$ 。
- 4) 试验箱内应至少设置两个温度传感器，分别位于试样区域的上部和下部。
- 5) 温度控制系统应具有超温保护功能。
- 6) 应配备温度记录装置，能够连续记录试验过程中的温度变化。

5.1.5 其他

- 1) 试验箱应配备自动补水系统，以维持盐溶液浓度的稳定。
- 2) 应具备排气系统，防止盐雾在箱内过度积累。
- 3) 所有与盐溶液接触的部件应采用耐腐蚀材料制成。
- 4) 试验箱应配备控制面板，能够方便地调节和监控试验参数。
- 5) 应提供数据采集接口，便于与计算机连接进行数据记录和分析。试验箱应配备加热装置和温度控制器。

5.2 电化学试验设备

5.2.1 概述

电化学试验所使用试验设施与装置包括电化学工作站、电解池和电极系统。

5.2.2 电化学工作站

1) 电化学工作站应具备电位控制、电流测量和数据采集功能,以进行恒电位、恒电流、动电位和交流阻抗等测试。

2) 电化学工作站应满足以下性能指标:

- a) 电位控制范围:至少 $\pm 10\text{ V}$ 。
- b) 电位控制精度:优于 $\pm 1\text{ mV}$ 。
- c) 电流测量范围:应覆盖 1 nA 至 1 A 。
- d) 电流测量精度:读数的 $\pm 0.1\% + \text{量程的 } 0.05\%$ 。
- e) 电位扫描速率: 0.01 mV/s 至 $10,000\text{ mV/s}$,可调。
- f) 采样率:至少 10 Hz 。

3) 电化学工作站所配备软件应具备实时数据显示和分析功能。能够进行塔菲尔(Tafel)分析、极化电阻分析等。具备数据导出功能,支持常见文件格式。

5.2.3 电解池

1) 电解池主体应由耐腐蚀材料制成,如玻璃、聚四氟乙烯(PTFE)或其他适当的塑料材料。所有与电解液接触的部件必须具有良好的化学稳定性。

2) 电解池容量应不小于 250 mL 。应设有温度控制夹套或其他温度控制装置。电解池盖应有多个标准接口,用于安装工作电极、对电极、参比电极、温度计和气体导入/导出管。应具备搅拌功能,可选配磁力搅拌器。

3) 温度控制系统应能将电解液温度稳定控制在 $25\pm 1^\circ\text{C}$ 。温度控制精度应优于 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

5.2.4 电极系统

1) 电极系统包括工作电极(试样)、参比电极和对电极。

2) 工作电极(试样)应配备适当的试样固定装置,能控制暴露面积。暴露面积应精确可知,通常为 1 cm^2 。电极引线应采用绝缘良好的导线,且与试样连接处应密封。试验箱应配备加热装置和温度控制器。

3) 参比电极应选用饱和甘汞电极(SCE)或银/氯化银电极(Ag/AgCl)。电极电位误差应小于 $\pm 2\text{ mV}$ 。应配备盐桥或毛细管,以减少污染。

4) 对电极应选用铂片电极或石墨电极。对电极面积应大于工作电极面积。应保证对电极清洁,无明显污染或损坏。

5) 电极的配置应保证三电极呈三角形布置,工作电极与对电极平行。参比电极尖端应尽可能靠近工作电极表面,但不得接触。电极之间的相对位置应保持固定。

5.2.5 其他

- 1) 所有连接线应具有良好的绝缘性和屏蔽性。
- 2) 系统应具备除氧功能,能够通入高纯氮气或氩气。
- 3) 应配备防电磁干扰的屏蔽装置。

6 试样及制备

1) 试样通过制备工艺试验件后,按要求在工艺试验件上获取。工艺试验件应按照附录 A 制备。

2) 盐雾腐蚀试验和电化学腐蚀试验的试样尺寸应分别满足 GB/T 10125 和 GB/T 24196 的规定。盐雾腐蚀试验试样还应满足试样的最大尺寸不超过试验箱内可用空间的三分之一, 试样与试样之间间距应不小于试样最大尺寸的 10 倍。

3) 盐雾腐蚀试验的试样数量, 每种材料或工艺条件不少于 3 个平行试样; 电化学腐蚀试验的试样数量, 每种材料或工艺条件不少于 5 个平行试样。

4) 试样的取样位置应能够代表所有特征区域, 除有其他规定, 取样位置应包括修复区、界面和热影响区。

5) 使用线切割或精密锯切的方法在选定区域取样, 并且加工过程中应使用冷却液, 避免过热, 并且应避免引入额外的应力或变形。

6) 切割取样后, 应对测试表面进行表面处理, 以使测试表面光滑、无划痕、无污染物。盐雾腐蚀试验的试样建议使用 600# 的砂纸打磨, 电化学腐蚀试验的试样建议使用 1200# 的砂纸打磨。试样打磨后应使用丙酮或乙醇超声清洗, 以除去表面油污和杂质, 并用冷风干燥。

7) 电化学腐蚀试样需进行封装, 使用环氧树脂或其他适当的绝缘材料封装试样, 仅留出测试面。确保封装材料与试样边缘紧密结合, 避免缝隙腐蚀。暴露面积应精确控制, 误差不超过 $\pm 1\%$ 。试样封装。

8) 制备完成的试样应存放在干燥、清洁的环境中。避免试样表面接触任何可能造成污染的物质。使用前 24 小时内制备的试样为宜, 如需长期存储, 应使用干燥器或真空包装。

7 试验过程

7.1 盐雾腐蚀试验

1) 试验前检查盐雾试验箱, 确保各系统工作正常。配制 5% 氯化钠溶液, 调节 pH 值至 6.5~7.2。将试验箱预热至 $35 \pm 2^\circ\text{C}$, 稳定 1 小时。使用精度不低于 0.1mg 的天平称量并记录试样质量。

2) 将试样放置在试验箱内的支架上, 倾角 $15^\circ \sim 30^\circ$ 。确保试样之间、试样与箱壁之间无接触。试样表面不得正对喷嘴, 避免直接喷射。

3) 启动盐雾试验, 调节喷雾量至 $1.0 \sim 3.0 \text{ mL}/(80 \text{ cm}^2 \cdot \text{h})$ 。每 24 小时检查一次试验箱温度和喷雾量, 并记录。

4) 试验结束后, 用去离子水轻轻冲洗试样表面。用冷风吹干试样。立即进行试样评估或按 6 节要求存储。

5) 根据测试要求, 依据 GB/T 6461 进行评估, 评估方法包括外观评定、质量损失率和腐蚀速率。

7.2 电化学腐蚀试验

1) 检查电化学工作站和电解池, 确保系统正常。配制 3.5% 氯化钠溶液, 调节 pH 值至 6.5~7.2。将电解液预热至 $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 。

2) 测试工作电极的暴露面积并记录。将工作电极(试样)、参比电极和辅助电极安装到电解池中。参比电极尖端应尽可能靠近工作电极, 但不接触。

3) 将试样浸入电解液中, 开始测量开路电位。等开路电位稳定至少 1min 后进行动电位极化试验。

4) 动电位极化试验从开路电位向负方向扫描 150 mV 开始。以 0.166 mV/s 的扫描速率向正方向扫描。当电流密度达到 $1 \text{ mA}/\text{cm}^2$ 时停止扫描。

5) 试验结束后, 记录电流密度随电位变化的数据。点蚀电位以点蚀变得稳定时的电位值来表示。

6) 根据测试要求, 依据 GB/T 17899 和 GB/T 24195 对腐蚀速率和点蚀点蚀电位进行评估。

8 检测报告

检测报告应包括但不限于以下内容：

- 1) 试样信息（材料、尺寸、增材再制造工艺等）。
- 2) 试验条件和方法。
- 3) 试验结果（包括外观评定、质量损失、腐蚀速率、点蚀电位等）。
- 4) 试验日期和试验人员。
- 5) 其他需要说明的事项。

中国机械工程学会标准征求意见稿

附 录 A
(规范性附录)
工艺试验件制备要求

A.1 损伤特征

损伤件在增材再制造前通常对损伤部位进行规则化及清洁等处理。

工艺试验件的制备应按照损伤件损伤部位规则化处理的方法进行，且形状尺寸应与损伤件相同。

规则化处理后按照对损伤件同样的处理方法对工艺试验件进行处理。

A.2 材料

工艺试验件的基体材料应于损伤件的材料相同或相近：

- 化学组成成分符合同一牌号；
- 微观组织结构相同；
- 处理状态相同。

工艺试验件的熔覆材料应当与损伤件的修复材料相同。

A.3 工艺

工艺试验件与损伤件的修复应使用相同的工艺方法：

- 设备相同；
- 环境参数相似；
- 工艺参数相同；
- 操作人员相同；
- 前后处理工艺相同。