

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 界面强度测试

Test method for the performance of additively
remanufactured of marine propulsion systems key
parts—Interface strength test

(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..... IV

舰船推进系统关重件增材再制造性能测试方法 界面强度测试 1

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义..... 1

 3.1 增材再制造..... 1

 3.2 舰船推进系统关重件..... 1

 3.3 工艺试验件 2

 3.4 修复区..... 2

 3.5 界面强度..... 2

4 工艺试验件制备..... 2

 4.1 基本要求..... 2

 4.2 损伤特征..... 2

 4.3 材料..... 2

 4.4 工艺..... 3

5 试验方法..... 3

 5.1 剪切试验..... 3

 5.2 弯曲试验..... 4

 5.3 冲击试验..... 5

 5.4 拉伸试验..... 6

6 试验方法选用 7

图 1 增材再制造零部件的修复区示意图 2

图 2 增材再制造件界面强度剪切试验试样示意图 3

图 3 增材再制造件界面强度弯曲试验试样示意图 5

图 4 增材再制造件界面强度冲击试验试样示意图 6

图 5 增材再制造件界面强度拉伸试验试样示意图 7

表 1 不同几何形状修复类型的界面强度测试方法 7

中国机械工程学会标准征求意见稿

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

舰船推进系统关重件增材再制造性能测试方法 界面强度测试

1 范围

本文件规定了舰船推进系统增材再制造性能测试方法：界面强度测试的试样要求、试验方法、数据处理方法、验收要求和检测报告要求。

本文件适用于舰船推进系统关重件增材再制造后，修复层与基体之间的界面强度测试。其他增材再制造汽轮机零部件的界面强度检测，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 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法

GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法

GB/T 232 金属材料 弯曲试验方法

GB/T 3808 摆锤式冲击试验机的检验

GB/T 16825.1 金属材料 静力单轴试验机的检验与校准 第1部分：拉力和（或）压力试验机 测力系统的检验与校准

GB/T 22066 静力单轴试验机用计算机数据采集系统的评定

GB/T 29795 激光修复技术 术语和定义

GB/T 29796 激光修复通用技术规范

GJB 190-86 特性分类

YS/T 485-2005 烧结双金属材料剪切强度的测定方法

3 术语和定义

GB/T 29795 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

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。

[GJB 190-86，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。

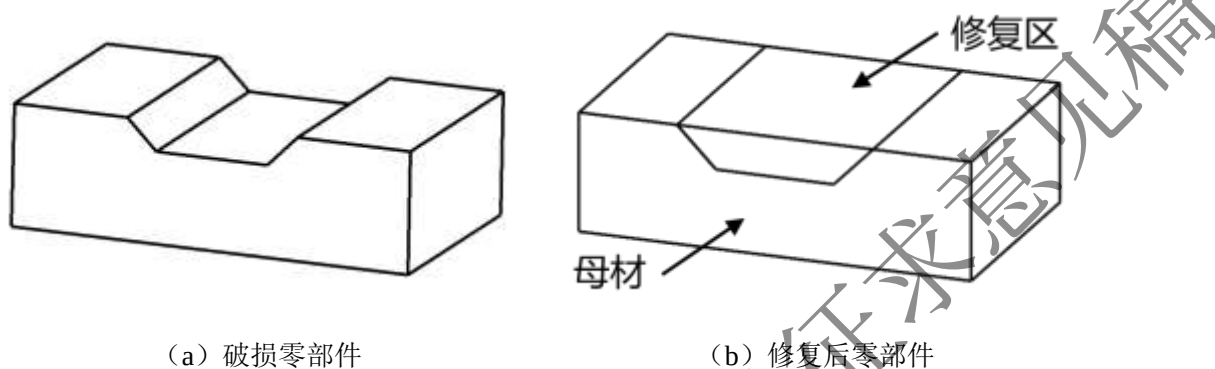


图1 增材再制造零部件的修复区示意图

3.5 界面强度

界面强度是指修复区与原有基体之间结合界面的力学性能指标，通常有剪切强度、拉伸强度、冲击强度和弯曲强度。

4 工艺试验件制备

4.1 基本要求

除非双方另有规定，舰船推进系统增材再制造性能测试——界面强度的测试应通过制备工艺试验件，在工艺试验件中取样测试。工艺试验件的制备应保证其损伤特征、材料和工艺与零部件的增材再制造一致。

4.2 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。

4.3 材料

- 工艺试验件的母材材料应于损伤件的母材材料相同或相近：
 - 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。

4.4 工艺

工艺试验件与损伤件的修复应使用相同的工艺：

- 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。

5 试验方法

5.1 剪切试验

5.1.1 概述

剪切试验通过对试件施加剪切载荷，测试增材再制造界面区域的剪切强度。当界面区域发生剪切破坏时，记录的最大剪切力计算得到界面剪切强度。

5.1.2 试验装置

使用万能试验机进行剪切试验，计算机控制试验机及其测力系统应符合 YS/T 485-2005，GB/T 16825.1 和 GB/T 22066 的检验要求。

剪切试验夹具的设计与使用应确保试样在夹具中对称加载。

5.1.3 试样制备

剪切试验的试样应符合 YS/T 485-2005 中的要求。

试样尺寸和形状如图 2 所示。

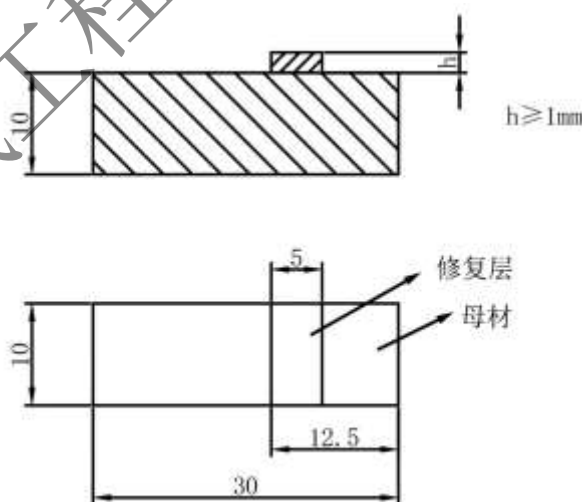


图2 增材再制造件界面强度剪切试验试样示意图

5.1.4 试验步骤

剪切试验的试验步骤应参照 YS/T 485-2005 中的要求执行。

试验力的加载速率应不大于 1.0 mm/min。

5.1.5 数据处理

计算公式：界面剪切强度= F/A 。

式中 F 为最大剪切力(N)， A 为剪切面积(mm^2)。

5.1.6 报告内容

材料信息、工艺参数、试样几何尺寸、最大剪切力、剪切面积、计算的界面剪切强度数值、试样破坏形貌照片和描述。

5.2 弯曲试验

5.2.1 概述

采用三点或四点弯曲载荷，使试件在界面区域产生最大弯曲应力。当界面区域发生破坏时，记录的最大载荷计算界面弯曲强度。

5.2.2 试验装置

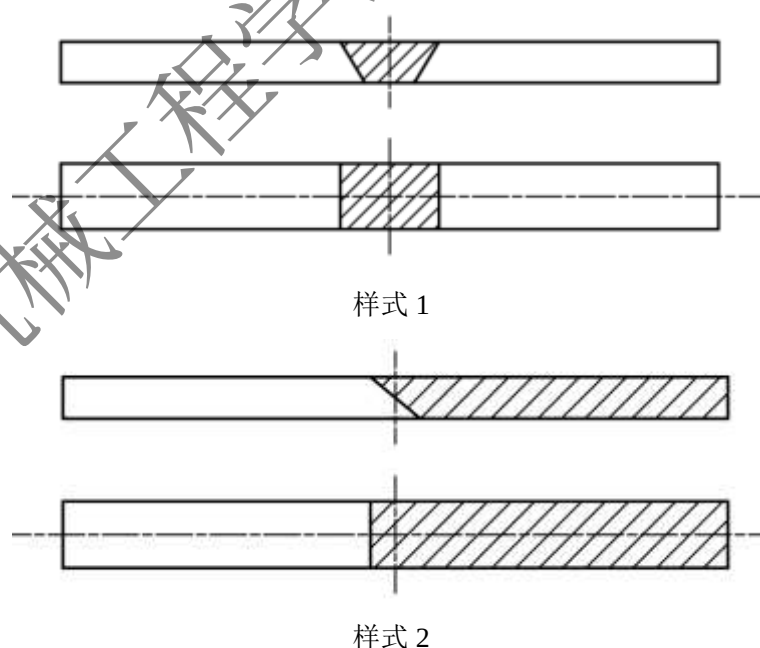
使用万能试验机进行弯曲试验，计算机控制试验机及其测力系统应符合 GB/T 232，GB/T 16825.1 和 GB/T 22066 的检验要求。

采用三点或四点弯曲夹具的支承和载荷头半径宜取 5mm。

5.2.3 试样制备

弯曲试验的试样应符合 GB/T 232 中的要求。

增材再制造件界面强度弯曲试验试样如图 3 所示。



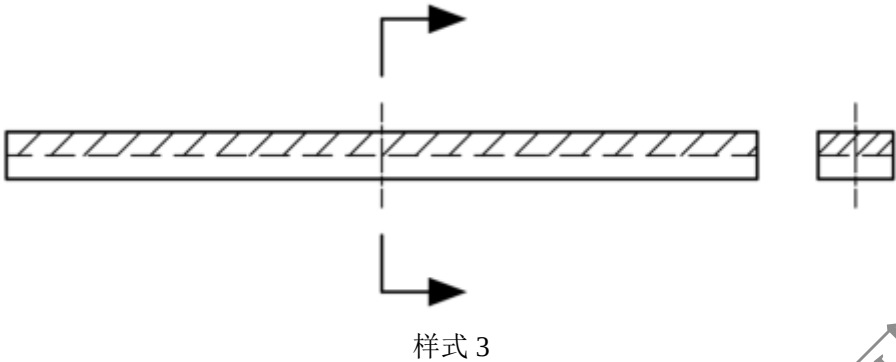


图3 增材再制造件界面强度弯曲试验试样示意图

5.2.4 试验步骤

弯曲试验的试验步骤应参照 GB/T 232 中的要求执行。
弯曲压头的位移速率应不高于 1.0 mm/min。

5.2.5 数据处理

计算公式：
三点弯曲强度： $\sigma = 3PL/2bd^2$
四点弯曲强度： $\sigma = 3P(L-L_1)/4bd^2$
式中：P 为最大载荷(N)；L 为支承跨距(mm)；L₁ 为加载头跨距(mm)；b 为试样宽度(mm)；d 为试样高度(mm)。

5.2.6 报告内容

材料信息、工艺参数、试样几何尺寸、最大载荷值、支承跨距、计算的界面弯曲强度数值、试样破坏形貌照片和描述。

5.3 冲击试验

5.3.1 概述

采用简支梁冲击或压裂冲击等方式，使试件界面区域承受冲击载荷。通过测量冲击能量和界面断裂面积，计算界面区域的冲击韧性。

5.3.2 试验装置

使用摆锤试验装置进行冲击试验，摆锤试验装置及其能量测量系统应符合 GB/T 229 和 GB/T 3808 的要求。

5.3.3 试样制备

冲击试验的试样应符合 GB/T 229 中的要求。
增材再制造件界面强度冲击试验试样如图 4 所示。

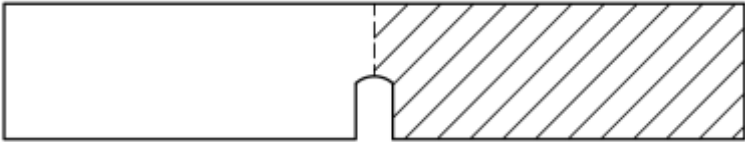


图4 增材再制造件界面强度冲击试验试样示意图

5.3.4 试验步骤

冲击试验的试验步骤应参照 GB/T 229 中的要求执行。

5.3.5 数据处理

计算公式：

界面冲击韧性 $GC=EC/A$

式中 EC 为吸收冲击能量(J)， A 为界面断裂面积(m²)。

5.3.6 报告内容

材料信息、工艺参数、试样形式和尺寸、冲击能量、界面断裂面积、计算的界面冲击韧性数值、试样断口照片和描述。

5.4 拉伸试验

5.4.1 概述

通过对试样施加拉伸载荷，测试增材再制造界面区域的垂直拉伸强度。当界面区域发生拉伸破坏时，记录的最大拉伸力计算界面拉伸强度。

5.4.2 试验装置

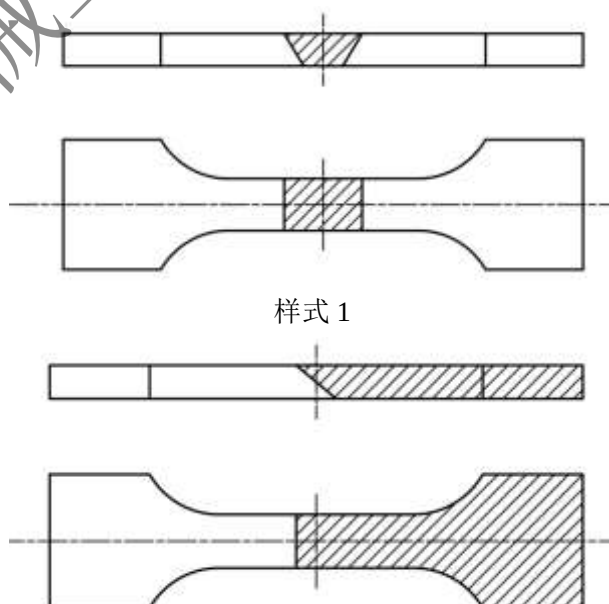
使用万能试验机进行拉伸试验，计算机控制试验机及其测力系统应符合 GB/T 228, GB/T 16825.1 和 GB/T 22066 的检验要求。

所使用对位或偏位拉伸夹具应满足试样对心要求。

5.4.3 试样制备

拉伸试验的试样应符合 GB/T 228 中的要求。

增材再制造件界面强度拉伸试验试样如图 5 所示。



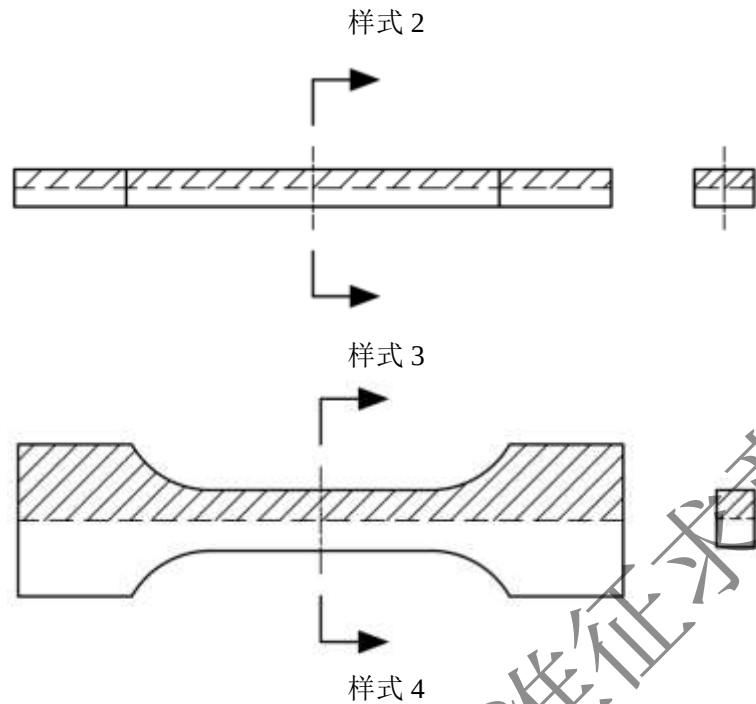


图5 增材再制造件界面强度拉伸试验试样示意图

5.4.4 试验步骤

拉伸试验的试验步骤应参照 GB/T 228 中的要求执行。
试验力的加载建议采用加载速率为 1.0 mm/min。

5.4.5 数据处理

计算公式：
对位拉伸强度： $\sigma = 4P / (\pi d^2)$
式中 P 为最大拉伸力(N)，d 为增材层直径(mm)，b 为增材层宽度(mm)。

5.4.6 报告内容

材料信息、工艺参数、试样形式和尺寸、最大拉伸力、计算的界面拉伸强度数值、试样拉伸断口照片和描述。

6 试验方法选用

界面强度测试方法的选用应根据增材再制造工艺、基体和修复材料种类、修复件形状和尺寸大小、使用环境和失效机理、测试目的等因素综合确定。应优先选择能够真实反映实际使用状态下界面性能的方法。在此基础上，可根据修复区域的几何形状选用试验方法，具体如表 1 所示。

表1 不同几何形状修复类型的界面强度测试方法

修复类型	试验方法
坑修复	弯曲试验
槽修复	剪切试验

平面修复	冲击试验，剪切试验，弯曲试验
曲面修复	弯曲试验
复杂三维造型修复	冲击试验，拉伸试验

中国机械工程学会标准征求意见稿