

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 内部缺陷测试

Test method for additive remanufacturing performance of
Marine propulsion systems key parts—Internal defect
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

舰船推进系统关重件增材再制造性能测试方法 内部缺陷测试 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..... 2

 3.3 修复区..... 2

 3.4 灰雾度..... 2

4 缺陷分类与说明..... 2

5 一般要求..... 2

 5.1 检测人员..... 2

 5.2 检测文件..... 3

 5.3 表面要求..... 3

 5.4 检测范围..... 3

 5.5 辐射防护..... 3

6 检测方法..... 3

7 图像质量..... 4

 7.1 像质计..... 4

 7.2 图像质量要求..... 4

 7.3 图像处理..... 5

8 检测报告要求..... 5

图 1 增材再制造零部件的修复区示意图 2

表 1 丝型像质计 图像质量要求 4

表 2 阶梯孔型像质计 图像质量要求 5

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 内部缺陷测试

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：内部缺陷测试的射线检测方法、缺陷分类与评定、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，修复件的内部缺陷测试。其他增材再制造汽轮机零部件的内部缺陷检测，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 3323.1 焊缝无损检测 射线检测 第1部分：X和伽玛射线的胶片技术

GB/T 6520-1 金属熔化焊接头缺欠分类及说明

GB/T 9445 无损检测 人员资格鉴定和认证

GB/T 11533 标准对数视力表

GB/T 12604.2 无损检测 术语 射线照相检测

GB 18871 电离辐射防护与辐射源安全基本标准

GB/T 23901.1 无损检测 射线照相底片像质 第1部分：线型像质计 像质指数的测定

GB/T 23901.2 无损检测 射线照相底片像质 第2部分：阶梯孔型像质计 像质指数的测定

GB/T 23901.5 无损检测 射线照相底片像质 第5部分：双线型像质计 图像不清晰度的测定

GB/T 29795 激光修复技术 术语和定义

GB/T 37910.1 焊缝无损检测 射线检测验收等级 第1部分：钢、镍、钛及其合金

GB/T 42401 激光熔覆修复 缺陷质量分级

GBZ 117 工业X射线探伤放射卫生防护标准

GBZ 132 工业γ射线探伤放射防护标准

GJB 190-86 特性分类

3 术语和定义

GB/T 12604.2，GJB 190-86 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 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。

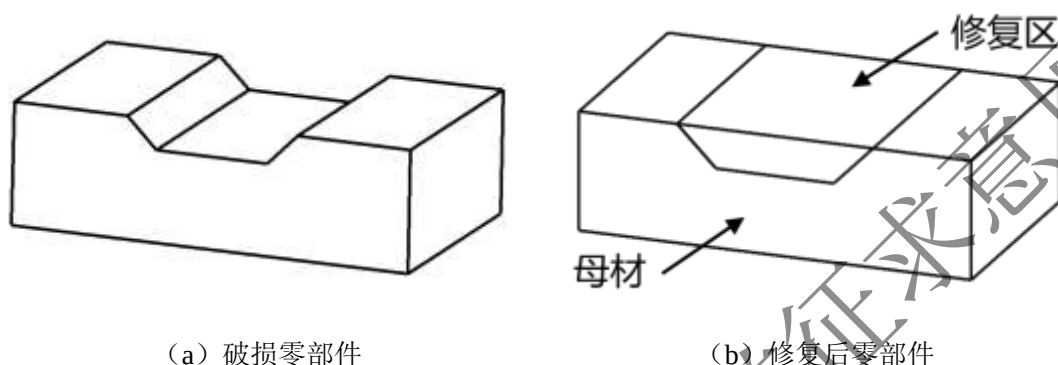


图1 增材再制造零部件的修复区示意图

3.4 灰雾度

未经曝光即进行暗室处理的胶片的总黑度(片基+乳剂)。一般是指除形成图像的射线直接作用外，任何原因引起的处理后胶片的光学密度，可能是老化灰雾、化学灰雾、分色光灰雾、曝光灰雾和固有灰雾。

4 缺陷分类与说明

以下规定了舰船推进系统关重件增材再制造的缺陷类别和说明。

- 裂纹。修复区内部局部断裂而产生的缺陷。
- 孔隙。修复区中低于本体材料密度的不连续。金属在凝固时未能逸出而残留下来形成的空穴。
- 夹杂。在修复区材料中存在的任何非金属或金属杂质。
- 未熔合。修复区与母材之间以及修复区各层之间未结合的部分，通常为形状不规则的空穴。

5 一般要求

5.1 检测人员

射线检测人员应按照 GB/T 9445 的规定进行培训且取得资格。

射线检测活动中接受职业照射的人员应取得放射工作人员证。

射线检测人员未经矫正或经矫正的视力不应低于 5.0，测试方法应符合 GB 11533 的规定。评片人员应每年进行一次视力检查。

操作者应为二级或以上资质持证人员，批准者应为三级资质持证人员。

5.2 检测文件

射线检测应按有效的检测规程实施，按照规程要求拍摄的底片，其黑度和像质计灵敏度应达到规程要求。

射线检测的规程应至少包括以下几个方面：

- a) 材料类型及厚度范围；
- b) 使用的放射源或最高 X 射线电压；
- c) 射线源至工件的距离；
- d) 工件的源侧至胶片的距离；
- e) 射线源的尺寸；
- f) 胶片的牌号及名称；
- g) 所使用的增感屏。

当首次使用射线检测规程时，应拍摄一套符合要求的参考底片。当下列透照技术或参数发生改变时，射线检测规程应进行修订，参考底片应按修订后的检测规程重新拍摄。

- a) 射线性质；
- b) 透照方式；
- c) 胶片型号；
- d) 增感屏和滤光板类型；
- e) 胶片处理方式。

参考底片可单独拍摄，也可从被检工件的合格底片中选取。参考底片应作为规程验证的主要依据。

5.3 表面要求

射线检测前应进行产品修复区表面的光整加工，直至修复区表面的不规则状态在射线底片上形成的影像不影响任何缺陷的评定。

5.4 检测范围

射线检测范围应包含修复区金属以及修复区各方向外延 5mm 的母材区域。

5.5 辐射防护

辐射防护应符合 GB 18871、GBZ 117 和 GBZ 132 的有关规定。

6 检测方法

应采用 X 射线胶片照相法对增材再制造件修复区进行射线检测。下列数字成像方法可用来代替射线胶片照相法：

- (1) 采用存储荧光物质成像板的计算机射线检测方法(CR) (GB/T 26642)；
- (2) 采用具有数字探测器阵列的射线检测方法 (GB/T 35388)；
- (3) 采用图像整合的数字射线检测方法 (GB/T 23909.3)。

应使用 GB/T 3323.1 规定的 B 级（优化技术）技术进行增材再制造船用汽轮机静子部件修复区的射线检测。若不能满足技术要求或经缔约方协商，可使用 A 级（基本技术）技术。

使用的胶片系统等级应至少为 C4（X 射线管电压小于 150kV 时为 C3）。胶片分类应符合 GB/T 3323.1 的规定。

前屏金属增感屏厚度应在 0.02mm~0.25mm 之间，后增感屏可采用其他厚度。当采用双胶片技术时，每一层中屏（如使用）的厚度不应大于规定的前屏厚度。

不应使用荧光增感屏。

应注意最小化被胶片吸收的背散射和前散射 X 射线量。

对背散射射线辐射保护程度有怀疑时，应在每个暗袋后背贴上特征符号（典型的如：铅字“B”，高度为 10 mm，厚度为 1.5mm），然后以常规方式拍片。当该铅质字母以浅于背景黑度的图像黑度显现在底片上时，表明对背散射 X 射线辐射的防护不足，有必要采取其他防护措施。

检测时，射线束应对准被检修复区的中心，并垂直于该点修复区表面。

应使用单壁透照方法。如果该方法因空间原因而无法使用，经协议可使用双壁透照方法。

胶片和修复区之间的间隙应尽可能小。

射线源到修复区的最小距离 f 应按下列要求确定：f 与射线源有效焦点尺寸 d 的比值 (f/d) 符合以下公式的给定值。

$$f/d \geq 15 \times b^{2/3}$$

b——沿射线束方向试件的壁厚与胶片至胶片侧工件表面的间隙之和，单位为毫米（mm）。

B 级图像质量的曝光条件为受检区域无缺陷修复区金属底片的黑度不应小于 2.3。灰雾度不应超过 0.3。

为获得良好的检测灵敏度，X 射线管电压宜满足 GB/T 3323.1 要求。

7 图像质量

7.1 像质计

经缔约双方协商，应采用 GB/T 23901.1、GB/T 23901.2 和 GB/T 23901.5 规定的像质计和方法确定图像质量。像质计应放置在射线源一侧邻近修复区的母材上。

如果像质计无法放置在射线源侧时，应放置在胶片侧。在这种情况下，应在像质计附近放置字母“F”，并在检测报告中记录该程序的变化。

采用相同的像质计贴在源侧进行检测时，胶片侧比源侧通常多显示 1 到 2 或以上根丝或孔。客户可以要求在样品管上进行曝光试验，将像质计分别放置在射线源和胶片侧进行比较。

当使用丝型像质计时，金属丝应垂直修复区的最长尺度方向，放置的位置应能获得合格的金属丝图像，应确保至少 10 mm 的丝线长度显示在黑度均匀的区域，通常在靠近修复区的母材上显示。如必要，应横跨修复区放置额外的或更长的像质计。

注：更多详细内容见GB/T 23901.1、GB/T 23901.2和GB/T 23901.5。

7.2 图像质量要求

表 1 和表 2 规定了射线检测所获取图像应满足的质量要求。

采用双壁透照方法检测时，使用的像质值应按公称壁厚的两倍确定。

表1 丝型像质计 图像质量要求

公称壁厚T（mm）	像质值	公称壁厚T（mm）	像质值
T≤1.2	W19	25<T≤32	W11
1.2<T≤2	W18	32<T≤40	W10
2<T≤3.5	W17	40<T≤55	W9

$3.5 < T \leq 5$	W16	$55 < T \leq 85$	W8
$5 < T \leq 7$	W15	$85 < T \leq 150$	W7
$7 < T \leq 10$	W14	$150 < T \leq 250$	W6
$10 < T \leq 15$	W13	$T > 250$	W5
$15 < T \leq 25$	W12		

表2 阶梯孔型像质计 图像质量要求

公称壁厚T (mm)	像质值	公称壁厚T (mm)	像质值
$T \leq 2$	H2	$40 < T \leq 60$	H10
$2 < T \leq 3.5$	H3	$60 < T \leq 100$	H11
$3.5 < T \leq 6$	H4	$100 < T \leq 150$	H12
$6 < T \leq 10$	H5	$150 < T \leq 200$	H13
$10 < T \leq 15$	H6	$200 < T \leq 250$	H14
$15 < T \leq 24$	H7	$250 < T \leq 320$	H15
$24 < T \leq 30$	H8	$320 < T \leq 400$	H16
$30 < T \leq 40$	H9	$T > 400$	H17

7.3 图像处理

应对数字射线探测器的数据进行评估，该数据与辐射剂量成正比。这是图像质量评价中正确测量信噪比(SNR)的前提条件。

为显示最佳的图像质量，宜交互调整图像对比度和亮度。

用于图像显示和评估的软件宜兼具可选的过滤功能、轮廓图和信噪比测定工具。

为达到信噪比要求，宜按照 GB/T 3323.2 对数字探测器阵列系统进行校准。

注：信噪比工具是对感兴趣区域，通过线性图像行数据测量信号和噪声的一个特殊软件程序（见GB/T 3323.2）。

应记录原始数据存储的新图像处理方法(如高通滤波图像显示)，且该方法为可重复的，并由制造商和购方达成一致。

8 检测报告要求

维修方应按照缔约双方的协定提供舰船推进系统关重件增材再制造的射线检测报告。若相关方无其他约定，检测报告应包含以下内容：

- 本文件编号；
- 符合性声明；
- 工艺卡；
- 经协议或另行规定的方法与本检测方法的差异；
- 产品牌号和规格；
- 放射源类型、有效焦点尺寸和使用的设备，管电压和电流；
- 图像采集和显示用的探测器和软件；
- 每幅图像的曝光时间，最近一次校准探测器的日期；
- 几何设置、放大率以及放射源到检测位置的距离；
- 像质计的类型和位置；

- k) 母材的像质计读数和最小 SNR;
- l) 达到的图像质量等级;
- m) 原始数据文件名称和存储位置;
- n) 透照和报告日期;
- o) 操作者和批准者的身份 (例如: 代码, 身份证件, 姓名), 鉴定/认证 (依据 GB/T 9445 或等效标准), 等级和签名。

中国机械工程学会标准征求意见稿