

团 体 标 准

T/CMES XXXX—XXXX

舰船推进系统关重件增材再制造材料 粉体性能评价要求

Additive remanufacturing of powder property for ship propulsion
systems

(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

引 言.....IV

舰船推进系统关重件增材再制造材料粉体性能评价要求.....5

1 范围5

2 规范性引用文件.....5

3 术语和定义.....5

4 一般要求.....6

5 详细要求.....7

6 检验方法.....7

7 判定8

中国机械工程学会标准征求意见稿

前 言

本文件按照 GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

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：中国科学院金属研究所、哈尔滨工业大学、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：杨柏俊，韩冬、王亮，赵春志，赵阳，赵成森，徐丽，陈卓，王佳典，陈齐，刘桐，高雪松。

中国机械工程学会标准征求意见稿

引 言

舰船推进系统作为舰船装备的核心装置，其稳定性直接决定了舰船装备运行的可靠性和在航率。然而，其关重件在高负载、高温和重腐蚀等恶劣使役环境下频繁发生磨损、冲击、腐蚀及疲劳等损伤失效，影响装备的稳定运行，因此，实现对舰船推进系统损伤关重件的快速高质量修复已成为迫切需求。

目前，增材再制造技术因其具有修复周期短、质量高、适应性强等突出特点，在舰船推进系统关重件的修复中表现出显著优势。然而，相关工作依然处于实验室研究阶段，缺少系统的修复规范和评价标准，致使修复后构件无法装机应用，严重制约了我国船舶行业的高质量发展。在上述背景下，为了深入贯彻和执行我国在高端装备制造和绿色低碳环保中的有关要求，围绕舰船推进系统中铁基损伤关重件的增材再制造修复需求，特制定本标准以规范化用于舰船推进系统铁基损伤关重件增材再制造用粉体材料的性能评价要求，形成修复粉体材料的总体设计原则和体系架构，指导相关平台的研发和应用。本标准的制定为促进舰船推进系统关重件增材再制造技术的工程化应用提供技术、功能、体系参考性指南。

对标准中的具体事项，法律法规另有规定的，需遵照其规定执行。

舰船推进系统关重件增材再制造材料粉体性能评价要求

1 范围

本标准规定了舰船推进系统关重件的增材再制造材料粉体性能评价的术语与定义、一般要求、详细要求和评价要求。

本文件适用于航空、航天、舰船等领域中采用气体雾化法制备的增材再制造修复用铁基非晶粉体的性能评价。

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 39251-2020 增材制造 金属粉末性能表征方法
GB/T 20066 钢和铁化学成分测定用试样的取样和制样方法
GB/T 23942 化学试剂电感耦合等离子体原子发射光谱法通则
GB/T 233 钢铁及合金化学分析方法
GB/T 7729 分光光度法通则
GB/T 4336 碳素钢和中低合金钢含量的测定
GB/T 14265 金属材料中氢、氧、氮、碳和硫分析
GJB150.11A-2009 军用装备实验室环境试验方法，第 11 部分：盐雾试验
GB 8642-88 热喷涂层结合强度的测定
GB/T 4340-2009 金属材料 维氏硬度试验进行
GB/T 43102-2023 金属覆盖层 孔隙率试验 用亚硫酸/二氧化硫蒸汽测定金或钯镀层孔隙率
KSD 8542-2015 热喷涂层孔隙率测量的标准方法
GB/T 35351-2017 增材制造术语
GJB190-1986 特性分类
GB/T 16418 颗粒系统术语
GB/T 1480-2012 金属粉末的粒度分布测定
GB/T 1482-2010 金属粉末流动性的测定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1 舰船推进系统关重件 key parts of ship propulsion system

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 修改]

3.2 铁基非晶熔覆层 Iron-based amorphous cladding layer

指通过激光熔覆技术获得的铁基非晶合金涂层。

3.3 球形度 degree of sphericity

颗粒接近球体的程度。

[GB/T 16418-2008, 定义 2.2.2.16]

3.4 非晶含量 amorphous content

材料中非晶态成分所占的比例。

说明：在激光熔覆过程中粉末需经历熔融-撞击-凝固过程，最后形成复杂的层状结构，这决定了所制备的熔覆层中很容易存在晶化相。这其中包括：1.高温氧化形成的氧化物夹杂；2.在熔覆过程中后续高温粒子使得已沉积层升温，从而形成晶化相；3.熔覆后期由于已沉积层的温度较高，导热率较低，从而导致冷速过低，形成晶化相；

晶化相对熔覆层性能有一定影响：1.当晶化相含量较低，以纳米晶形式均匀分布时，会使熔覆层硬度提高，这将有利于提高熔覆层的耐磨性。但是当晶化相含量超过一定限度，晶粒长大时，熔覆层硬度下降。2.晶化相的存在一方面破坏了非晶结构的均匀性，在熔覆层中形成原子有序排列的结构以及晶界；另一方面也破坏了非晶成分的均匀性（晶化相成分不一定与非晶成分一致），使得在晶粒与非晶交界处出现一些元素的富集或贫乏区。二者共同作用的结果是使得熔覆层中出现易腐蚀区域并且钝化膜稳定性降低，从而降低了耐蚀性。因此，晶化相含量对于熔覆层来说是必须控制的。

3.4 孔隙率 porosity

材料中孔隙的体积占总体积的百分比。

[GB/T 35351-2017, 定义 2.7.5]

3.5 粒度分布 particle size distribution

粉体样品中不同粒径颗粒占颗粒总量的百分数。

4 一般要求

4.1 设备、仪器和工装夹具

粉体性能评价所需设备仪器应定期进行鉴定和校准。工装夹具应完好无损、洁净，规格尺寸应与工艺要求相适应。

4.2 粉体化学成分

舰船推进系统关重件增材再制造材料粉体化学成分应符合表 1 和表 2 的要求。

表 1 粉体化学成分

合金牌号	化学成分 wt%							
	Fe	Cr	Mo	P	Ni	B	C	Si
FJGP-01	余量	17~19	9~15	4~8	0.1~6	0.3~0.9	0.5~1.1	1~2

表 2 粉体杂质含量要求

元素	Ti	C	O	N
含量，wt%	≤0.05	≤0.03	≤0.08	≤0.02

5 详细要求

5.1 概述

舰船推进系统关重件增材再制造材料粉体在面对零件不同损伤模式修复时，应满足粉体物理性能和修复性能两个维度的要求。依据这两个维度的要求，不同损伤模式关重件的增材再制造应根据自身特点，进行针对性评价和选用。

5.2 粉体物理性能

舰船推进系统关重件增材再制造材料粉体的物理性能应符合表 3 要求。

表 3 舰船推进系统关重件增材再制造材料粉体物理性能要求

序号	物理性能	指标要求
1	非晶含量	≥30%
2	粒度组成	15μm~53μm；≥53μm 占比不大于 5%
3	流动性	≤ 30 s/50g

5.3 粉体修复性能要求

舰船推进系统关重件增材再制造材料粉体的修复性能应符合表 4 要求。

表 4 舰船推进系统关重件增材再制造材料粉体的修复性能要求

序号	性能	指标要求
1	结合强度	≥70 MPa
2	硬度	≥50 HRC
3	孔隙率	≤ 1%
4	耐盐雾腐蚀	耐中性盐雾腐蚀腐蚀时间 > 1200h

6 检验方法

6.1.1 化学成分分析

按 GB/T 4336-2016、GB/T 14265-2017 或供需双方认可的方式进行。

6.1.2 非晶含量分析

参照 GB/T 19466.3-2004 进行测定或供需双方认可的方式进行。当参照 GB/T 19466.3-2004 进行测定时，测试前需先制备与熔覆粉末成分相同的完全非晶条带样品。按照公式（1）进行计算：

$$C=(\Delta H_{\text{coating}})/(\Delta H_{\text{ribbon}})\times100\%$$
（1）

式中，C 为非晶相含量（%）；

$\Delta H_{\text{coating}}$ 为 DSC 测定的粉末热焓值；

ΔH_{ribbon} 为与粉末同成分的完全非晶条带的热焓值。

6.1.3 结合强度检验方法

按 GB 8642-88 热喷涂层结合强度的测定执行。

6.1.4 硬度分布检验方法

按 GB/T 4340-2009 金属材料 维氏硬度试验进行测定。

6.1.5 孔隙率检验方法

按 GB/T 43102-2023 执行。

6.1.6 耐盐雾腐蚀检验方法

按 GJB150.11A-2009 执行。

6.1.7 粒度分布检验方法

按 GB/T 1480-2012 执行。

6.1.8 流动性检验方法

按 GB/T 1482-2010 执行。

7 判定

7.1 优选用于磨损工况关重件的增材再制造粉体

同时满足表 3 中要求和表 4 中结合强度和硬度要求时，该粉体材料可判定为优选的用于磨损工况材料的增材再制造粉体。

7.2 优选用于腐蚀工况关重件的增材再制造粉体

同时满足表 3 中要求和表 4 中结合强度、孔隙率和耐盐雾腐蚀性能要求时，该粉体材料可判定为优选的用于腐蚀工况关重件的增材再制造粉体。

7.3 优选用于磨损和腐蚀耦合损伤工况关重件的增材再制造粉体

同时满足表 3 和表 4 中全部性能要求时，该粉体材料可判定为优选的用于磨损和腐蚀耦合损伤

工况关重件的增材再制造粉体。

中国机械工程学会标准征求意见稿