

团 体 标 准

T/CMES XXXX—XXXX

舰船推进系统关重件增材再制造粉体 材料粒度选型方法

Particle size selection for additive remanufacturing powder in 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粉体材料粒度选型方法.....	5
1 范围	5
2 规范性引用文件.....	5
3 术语和定义.....	5
4 牌号表示.....	6
5 选用要求.....	6
6 选用方法.....	7
7 检验方法.....	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该类专利的鉴别。

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订

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。

粉体粒度是衡量增材再制造材料物理性能的重要指标，其不仅直接影响成型产品的性能和质量，还关系到再制造过程的难易程度和生产成本。因此，对舰船推进系统关重件增材再制造粉体材料粒度选型做出客观、科学、准确的判断具有重要意义。在此背景下，《舰船推进系统关重件增材再制造粉体材料粒度选型方法》标准的制定解决了该领域粉体材料无标可循的局面，对于促进舰船推进系统关重件增材再制造技术的工程化应用，降低生产成本，整体提升我国增材再制造的技术水平起到重要的指导作用。本标准旨在提高粉末的质量和一致性，满足舰船推进系统关重件增材再制造领域的需求

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。

中国机械工程学会

舰船推进系统关重件增材再制造粉体材料粒度选型方法

1 范围

本标准规定了舰船推进系统关重件增材再制造粉体牌号表示、选用要求、选用方法和检验方法。

本标准适用于航空、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 FeCrMoPNiBCSi 粉末。

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 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 6003.1 试验筛 技术要求和检验 第1部分：金属丝编织网试验筛
- GB/T 1480 金属粉末的粒度分布测定
- GB/T 1482 金属粉末流动性的测定 标准漏斗法（霍尔流速计）
- GB/T 1479 金属粉末松装密度的测定 第一部分 漏斗法
- GB/T 5162 金属粉末-振实密度的测定
- YST 1491-2021 镍基高温合金粉末球形率测定方法 扫描电镜法
- 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
- GB/T 35351 增材制造 术语
- GB/T 3500 粉末冶金术语

3 术语和定义

GB/T 35351, GJB190-86 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 35351, GJB190-86 中的某些术语和定义。

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]

3.2 铁基非晶粉末 Iron-based amorphous powder

指通过粉体制备技术获得的铁基非晶合金粉末。

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]

4 牌号表示

铁基非晶合金成品粉的牌号采用“GAFG”加两位阿拉伯数字的形式表示，如 GAFG01。牌号中的“GAFG”为雾化铁基非晶合金粉体的标识代号，数字代表材料种类。示例如下：

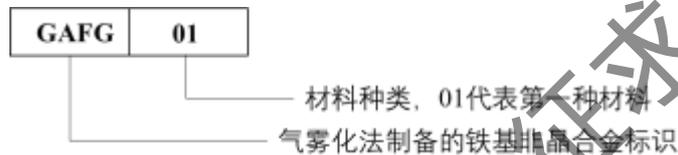


图 1 铁基非晶合金牌号表示方法示例

5 选用要求

5.1 化学成分

舰船推进系统关重件增材再制造非晶粉末的化学成分应符合表 1 和表 2 的要求。

表 1 铁基非晶合金粉末化学成分

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 铁基非晶合金杂质含量要求

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

5.2 粉末粒度

综合考虑舰船推进系统关重件增材再制造产品的技术特性(如强韧性、耐磨性、腐蚀及寿命等),铁基非晶粉末的规格应小于 250 μm 。按照粉末规格可分为 I 类、II 类和 III 类三个类别,具体如表 3 所示。

表 3 铁基非晶合金粉末粒度

类别	粉末规格 μm	粒度组成
I 类	15~53	$\leq 15\mu\text{m}$ 不大于 10% ; $\geq 53\mu\text{m}$ 不大于 5% ;
II 类	45~150	$\leq 45\mu\text{m}$ 不大于 10% ; $\geq 150\mu\text{m}$ 不大于 5% ;
III 类	30~250	$\leq 30\mu\text{m}$ 不大于 10% ; $\geq 250\mu\text{m}$ 不大于 5% ;

注：需方对产品粒度有特殊要求时，由供需双方协商确定，应在合同中注明

5.3 球形度

粉体球形度应大于 85%。

5.4 流动性

粉体流动性 $\leq 30 \text{ s}/50\text{g}$ ，也可由供需双方另行约定。

5.5 松装密度

粉末的松装密度 $> 3.8\text{g}/\text{cm}^3$ ；也可由供需双方另行约定。

5.6 振实密度

粉末的振实密度 $> 5.7\text{g}/\text{cm}^3$ ；也可由供需双方另行约定。

6 选用方法

6.1 总则

粉体粒度是衡量增材再制造材料物理性能的重要指标，其不仅直接影响成型产品的性能和质量，还关系到增材再制造过程的难易程度和生产成本。舰船推进系统关重件增材再制造用粉体粒度的选型应根据增材再制造的具体工艺选取。

6.2 粒度选用

舰船推进系统关重件增材再制造用粉体粒度的选用应符合表 3 要求

表 3 铁基非晶合金粉末粒度选用

类别	推荐增材再制造工艺
I 类	适用于粉末床熔融（选区激光熔融）增材再制造领域
II 类	适用于粉末床熔融（电子束熔化）增材再制造领域
III 类	适用于激光能量沉积增材制造领域

7 检验方法

7.1 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。

7.2 粒度分布检验方法

按 GB/T 1480-2012 执行。

7.3 球形度分布检验方法

按 YST 1491-2021 执行。

7.4 流动性检验方法

按 GB/T 1482-2010 执行。

7.5 振实密度检验方法

按 GB/T 5162 执行。

7.6 松装密度检验方法

按 GB/T 1479 执行。

中国机械工程学会标准征求意见稿