

# 团 体 标 准

T/CMES XXXX—XXXX

## 舰船推进系统关重件增材再制造材料 制备方法 粉体制备

Additive remanufacturing of key spare parts materials for ship  
propulsion systems Powder Preparation  
(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。

中国机械工程学会标准征求意见稿

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](http://www.cmes.org) 联系人：袁俊瑞 电子信箱：[yuanjr@cmes.org](mailto: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制备方法 粉体制备 .....	5
1 范围 .....	5
2 规范性引用文件.....	5
3 术语和定义.....	5
4 产品标准.....	6
5 雾化制粉工艺.....	7
6 粉末检验.....	8
7 安全防护.....	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。

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卓越潜力。然而，目前高性能粉体制备标准的缺失制约了相关基础研究及行业技术的发展。基于此，本文件特制定了《舰船推进系统关重件增材再制造材料制备方法 粉体制备》标准，旨在为科研或生产型企业提供一个可参照执行的技术标准文本，在解决气雾化非晶粉体应用企业和制造企业双方共同需求问题的同时，支撑我国舰船推进系统关重件增材再制造技术的高质量发展。

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。

中国机械工程学会标准

# 舰船推进系统关重件增材再制造材料制备方法 粉体制备

## 1 范围

本文件规定了采用真空惰性气体雾化法制备舰船推进系统铁基损伤关重件增材再制造修复专用 FeCrMoPNiBCSi 非晶粉末的术语和定义、产品标准、雾化制粉工艺、粉末检验和安全防护等要求。

本文件适用于航空、航天、舰船等领域增材再制造修复专用 FeCrMoPNiBCSi 铁基非晶粉末制备的工艺控制。

## 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 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

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

YS/T 1491 镍基高温合金粉末球形率测定方法 扫描电镜法

## 3 术语和定义

下列术语与定义适用于本文件。

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

舰船推进系统中具有关键重要特性的产品，如：汽轮机阀杆、叶片、气缸、轴瓦等。

### 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 真空惰性气体雾化法 vacuum induction melting inert-gas atomization

指利用高速气流（氩气）作用于熔融液流，使气体动能转化为熔体表面能，进而形成细小的液滴并凝固成粉末颗粒，最后通过集粉装置将粉末收集起来。

### 3.4 成品粉 finished powder

经过粉末处理后满足合同、技术协议要求的非晶合金粉末。

### 3.5 非晶含量 amorphous content

材料中非晶态成分所占的比例。

## 4 产品标准

### 4.1 成品粉分类和化学成分

4.1.1 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。

4.1.2 铁基非晶粉体的化学成分及杂质含量控制应符合表 1 和表 2 的规定。

表 1 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
GAFG01	余量	17~19	9~15	4~8	0.1~6	0.3~0.9	0.5~1.1	1~2

表 2 杂质含量

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

### 4.2 成品粉物理性能

本标准中铁基非晶合金粉体主要面向航空、航天、舰船等领域增材再制造修复领域，其物理性能需符合表 3 规定。

表 3 铁基非晶粉末特性

粉末特性	非晶含量, %	球形度, %	粒径范围			流动性 (s/50g)
			≥15μm, %	15μm~53μm, %	≥53μm, %	
铁基非晶粉末	≥60%	≥85%	≤10%	≥85%	≤5%	≤ 30 s/50g

注：若需方有特殊要求时，应由供、需双方商定。

### 4.3 外观要求

4.3.1 铁基非晶合金粉末呈银灰色或灰色。

4.3.2 粉末应质地均一、状态干燥、无夹杂物和粉块。

## 5 气雾化制粉工艺

### 5.1 原材料

铁基非晶合金原材料棒材的化学成分应符合表 4 规定，允许合同、协议中规定较为严格的化学成分范围、微量元素的添加值和有害元素的指标要求。制备铁基非晶粉末前棒料需去除表面的油污等。

表 4 铁基非晶合金棒材化学成分

	化学成分 wt%											
	Fe	Cr	Mo	P	Ni	B	C	Si	Ti	C	O	N
要求含量	余量	17~19	9~15	4~8	0.1~6	0.3~0.9	0.5~1.1	1~2	≤0.05	≤0.03	≤0.08	≤0.02

### 5.2 气雾化制粉工序

#### 5.2.1 工序流程

采用气雾化法制备铁基非晶粉末应遵循如下工序流程：

- (a) 清炉：使用水、酒精等清洗剂清洗雾化室与粉末分离器，做到光洁无污染。
- (b) 装炉：坩埚热烘除气，装填合金棒材，然后打开真空系统。
- (c) 熔炼：合金在熔炼炉中熔化并脱气。
- (d) 雾化：通入冷却水，待合金达到熔化温度后，通入雾化气体，利用高速气流将液态金属流击碎形成小液滴，并快速冷凝得到成形粉末。
- (e) 粉末收集：拆开旋风分离器，收集合金粉末，装入干净的收集盘中。
- (f) 粉末筛分：采用机械振动筛分机并在惰性气体保护下，将粉末筛分到所需粒度。

#### 5.2.2 主要参数

主要参数应符合下列要求：

- (a) 熔炼温度：高于合金熔点 100-200℃；
- (b) 熔炼时间：精炼时间不低于 30 min（针对铁合金）；
- (c) 气体压力：6-12MPa；
- (d) 气体类型：氩气（纯度高于 99.99%）和氮气；
- (e) 真空度：高于 5Pa。

### 5.3 人员要求

雾化制粉工序操作人员应接受必要的培训，具备真空雾化制粉相应的知识、能力和资质。

注：培训内容包括但不限于气雾化粉末制备设备和辅助设备的操作、维护、校准、安全防护、原材料处理、后处理、数据分析和异常情况处理等。

### 5.4 设备要求

5.4.1 雾化制粉设备应符合《GB/T 50278 机械设备安装工程施工及验收通用规范》的要求，验收合

格后方可使用。

5.4.2 雾化制粉设备应配备防爆吸尘器、环境氧含量报警装置、粉末筛分设备、打磨设备等。

5.4.3 雾化制粉设备的维护与保养应符合下列要求

- (a) 应符合 GB/T 39252-2020 中 4.2.3 的要求。
- (b) 保养校准周期宜为 6-12 个月，不同的设备厂家保养周期会有差异。
- (c) 维护保养结果应记录，并至少保存 12 个月。

## 5.5 环境要求

5.5.1 雾化制粉过程需要在通风良好的环境下进行操作，避免对操作人员造成影响。

5.5.2 环境温度应适宜，一般在 15℃~30℃ 之间，以确保设备的正常运行。

## 6 粉末检验

### 6.1 化学成分测定

成品粉的化学成分测定可按 GB/T 4336-2016、GB/T 14265-2017 规定执行，或供需双方认可的方式进行。

### 6.2 非晶含量测定

成品粉的非晶含量测定可参照 GB/T 19466.3-2004 标准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：

$$C = (\Delta H_{\text{coating}}) / (\Delta H_{\text{ribbon}}) \times 100\% \quad (1)$$

式中， $C$  为非晶相含量（%）；

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

$\Delta H_{\text{ribbon}}$  为与粉末同成分的完全非晶条带的热焓值。

### 6.3 粒度分布测定

成品粉的粒度分布测定方法可按 GB/T 1480-2012 规定执行。

### 6.4 粉体流动性

成品粉的流动性测定方法可按 GB/T 1482-2010 规定执行。

### 6.5 粉体球形度

成品粉的球形度检验方法可按 YS/T 1491 规定进行。

### 6.6 外观质量

成品粉的外观质量检验方法采用目视观察。

## 7 安全防护

7.1 安全防护应符合 GB/T 18490.1 中的相关规定。

**T/CMES XXXX—XXXX**

7.2 雾化制粉过程严禁将爆炸品或有害物件加入炉内，以免发生爆炸或其它事故。

7.3 填加炉料时要准确缓慢地放进炉中，严禁抛、扔，防止溶液飞溅伤人。

7.4 雾化时必须将工具预热、烤干方能使用。

7.5 雾化制粉前需开抽风除尘排毒设备。当抽风设备失效时，应采取措施或停止生产。经常清理工作场地，保持通道畅通。

7.6 雾化制粉工序相关操作人员应佩戴眼镜、手套、防护服等防护用品。