ICS 01.040.25

**J 04**

团体标准

T/CMES XXXX—2024

增材制造 连续纤维增强复合材料增材制造工艺规范

Additive manufacturing — Specification for additive manufacturing of continuous fiber reinforced composites

（征求意见稿）

2023-XX-XX 发布

2023-XX-XX 实施

中国机械工程学会 发布

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《中国机械工程学会团体标准管理办法》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.](http://www.cmes.)org 联系人：袁俊瑞 电子信箱：yuanjr@cmes.org

目 次

[目 次 II](#_Toc17806)

[前 言 IV](#_Toc30948)

[引 言 V](#_Toc25999)

[团体标准的结构与编写指南 1](#_Toc15928)

[1 范围 1](#_Toc49)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc7832)

[3 术语和定义 1](#_Toc32218)

[3.1 1](#_Toc14945)

[3.2 2](#_Toc6361)

[3.3 2](#_Toc6268)

[4 工艺分类和等级 2](#_Toc735)

[4.1 工艺分类 2](#_Toc6273)

[4.2 工艺等级 2](#_Toc26410)

[5 材料 2](#_Toc25263)

[5.1 分类 2](#_Toc14095)

[5.2 特性 3](#_Toc11476)

[5.3 包装、标志、运输和贮存 4](#_Toc23493)

[6 设备 4](#_Toc9061)

[6.1 一般要求 4](#_Toc32672)

[7 成形过程 4](#_Toc76)

[7.1 成形准备 4](#_Toc29220)

[7.2 成形参数 4](#_Toc25914)

[7.3 后处理 5](#_Toc1421)

[7.4 环保要求 5](#_Toc32131)

[7.5 安全 5](#_Toc31172)

[8 性能评价 5](#_Toc19398)

[8.1 试样制备 5](#_Toc26590)

[8.2 静态力学性能 6](#_Toc27123)

[8.3 动态力学性能 6](#_Toc31370)

[8.4 微观结构评价 7](#_Toc30321)

[8.5 精度检验 7](#_Toc25385)

[8.6 孔隙与纤维含量评价 7](#_Toc32617)

[9 合格证明 7](#_Toc14432)

[9.1 材料合格证明 7](#_Toc1416)

[9.2 设备合格证明 7](#_Toc4697)

[9.3 零件合格证明 8](#_Toc14775)

[10 检验 8](#_Toc6687)

[10.1 要求 8](#_Toc30097)

[10.2 复检 8](#_Toc11438)

[11 交付 8](#_Toc11433)

前 言

本标准依据 T/CAS 1.1—2017《团体标准的结构和编写指南》的有关要求编写。

本标准起草单位：西安交通大学、北京航空航天大学、陕西斐帛科技发展有限公司。

本标准起草人：田小永、朱伟军、刘腾飞、段玉岗、李涤尘、卢秉恒、罗盟。

考虑到本标准中的某些条款可能涉及专利，中国机械工程学会不负责对任何该类专利的鉴别。

本标准首次制定。

引 言

针对复合材料最新的发展需求以及随着增材制造技术的兴起，将增材制造技术应用于复合材料零件的制造成为克服复合材料发展瓶颈的有效途径之一，受到越来越多的关注和研究，其市场规模正逐步扩大。目前，国内外连续纤维增强复合材料增材制造相关技术标准处于空白状态。

团体标准的结构与编写指南

范围

本标准规定了连续纤维增强复合材料增材制造工艺的范围、规范性引用文件、术语和定义、分类和等级、材料、设备、工艺评价、成形过程、合格证明、检验和交付。

本标准适用于连续纤维增强复合材料的增材制造工艺，其他材料的增材制造工艺也可参考本标准。

注：连续纤维复合材料包括适于加工成零件的由树脂基体与连续纤维增强体组成的复合材料，可以包含特殊添加剂（例如阻燃剂、稳定剂、电磁功能调节剂等）。其中，树性脂基体可以是热塑性树脂或热固树脂；连续纤维增强体可以是碳纤维、玻璃纤维、尼龙纤维、凯夫拉（Kevlar）纤维等。

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 2035 塑料术语及其定义

GB 4943.1 信息技术设备 安全 第1部分：通用要求

GB 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件

GB 14554 恶臭污染物排放标准

GB/T 31539-2015 结构用纤维增强复合材料拉挤型材

GB/T 1040.5-2008 塑料 拉伸性能的测定 第5部分：单向纤维增强复合材料的试验条件

GB/T 1040.4-2006 塑料 拉伸性能的测定 第4部分：各向同性和正交各向异性纤维增强复合材料的试验条件

GB/T 35022 增材制造 主要特性和测试方法 零件和粉末原材料

GB/T 35351 增材制造 术语

GB/T 39328-2020 增材制造 塑料材料挤出成形工艺规范

术语和定义

GB/T 2035、GB/T 35351界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

连续纤维增强复合材料增材制造 Continuous Fiber Reinforced Composites Additive Manufacturing, CFRCAM

连续纤维增强复合材料3D打印 Continuous Fiber Reinforced Composites 3D printing, CFRC 3D Printing

基于材料挤出增材制造原理进行连续纤维增强复合材料成形的增材制造工艺技术。

复合材料丝材 Composite filament

连续挤出的线状材料，按照材料组成可分为树脂丝材、纤维丝材或复合丝材。其中，纤维丝材指纤维干丝，其特征是不含树脂或仅含少量保护性树脂；复合丝材指预浸丝材，由树脂和纤维一定比例均匀混合而成，通常为圆形截面。

注：常用碳纤维规格为1k、3k等，常用芳纶纤维规格为200D。

复合材料打印喷头 Print nozzle for composites

复合材料挤出打印的装置，可对复合材料丝材进行输送、成形、压紧等处理。

注：常用的成形方式包括加热熔融-冷却固结、热固化、光固化等。

工艺分类和等级

工艺分类

工艺按照树脂和纤维等原材料的复合方式，分为单步复合打印和多步复合打印；按照树脂固化方式，分为加热熔融-冷却固结打印、热固化打印和光固化打印等。其中，单步复合打印指纤维与树脂进行原位在线复合，一次从复合材料打印喷头挤出成形的打印方式；多步复合打印指纤维与树脂通过其他设备或工艺进行复合处理，然后通过复合材料打印喷头挤出成形的打印方式。常见工艺类别参见表1。

1. 连续纤维增强复合材料增材制造工艺分类

|  |  |
| --- | --- |
| 原材料复合方式 | 树脂固化方式 |
| 单步复合打印 | 加热熔融-冷却固结打印 |
| 加热固化；光固化打印 |
| 多步复合打印 | 加热熔融-冷却固结打印 |
| 加热固化；光固化打印 |

工艺等级

根据零件功能和应用场合，其成形工艺分为以下三个等级：

1. H：适用于工程用重要零件（安全优先）；
2. M：适用于非安全优先的功能零件；
3. L：适用于设计或原型阶段零件。

材料

分类

5.1.1 材料按照功能分为基体材料和增强材料。

5.1.2 材料按照组成的分类参考GB/T 1844.1。

5.1.3 基体材料通常是树脂，按照材料类型，可分为热塑性树脂和热塑性树脂。常用的热塑性树脂材料有聚乳酸（PLA）、聚醚醚酮（PEEK）、聚酰亚胺（TPI）、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯（ABS）、聚酰胺（尼龙，PA）、聚碳酸酯（PC）等，以及其相应的增强、改性材料。更细致的分类可参考表2中材料对应的标准。常用的热固树脂树脂材料有环氧树脂等。

注：该分类旨在促进材料供应商和用户之间的沟通。

1. 常用材料及其分类参考标准

|  |  |
| --- | --- |
| 材料 | 参考标准 |
| PEEK | YY/T 0660 |
| ABS | GB/T 20417.1 |
| PA | GB/T 32363.1 |
| PC | GB/T 35513.1 |
| 环氧树脂 | GB/T 1630.1-2008 |

5.1.4 增强材料通常是纤维，按照类型，常用的纤维材料有碳纤维（Carbon fiber）、玻璃纤维（Glass fiber）、尼龙纤维（Nylon fiber）、凯夫拉纤维（Kevlar fiber）等。

特性

5.2.1 基体材料的基本特性

5.2.1.1 热塑性基体材料的基本特性主要包括：

1. 玻璃化转变温度；
2. 熔融温度；
3. 热分解温度；
4. 熔融指数；
5. 收缩率；
6. 热变形温度；
7. 含水率。

5.2.1.2 热固性基体材料的基本特性主要包括：

1. 粘度；
2. 软化点；
3. 最低固化反应温度
4. 收缩率；
5. 热变形温度。

5.2.2　基体材料的形态特性

5.2.2.1 丝材的形态特性主要包括：

1. 公称直径及偏差；
2. 圆度；
3. 颜色。

注：可用色度计测量和色度卡对比。

5.2.2.2 颗粒料的形态特性主要包括：

1. 尺寸及分布；
2. 形状；
3. 颜色。

注：可用色度计测量和色度卡对比。

5.2.3 纤维的基本特性

——每束含丝量；

——拉伸强度。

5.2.4 复合材料预浸丝的基本特性

——纤维体积分数；

——纤维排列方向。

5.2.5 环境特性

环境特性主要包括热挥发性和人体有害性。

包装、标志、运输和贮存

5.3.1 材料包装袋上应有明显的标志。标志内容可包括：材料名称、生产厂名称、批号和制造日期、净重。为了便于追溯，包装应具有唯一的标志。

5.3.2 在常规的搬运和运输中应对材料提供充分的保护，参考GB/T 9174执行。

5.3.3 材料应贮存在干燥、通风、清洁并保持有良好消防设施的仓库内，应采取如密封包装等必要的措施防止材料潮湿。

设备

一般要求

6.1.1 设备应配备用户使用说明书，包含定期检查的项目、周期和标准。

6.1.2 用于连续纤维增强复合材料增材制造工艺过程控制的仪器仪表应按国家或企业的有关规定定期计量校准。

工艺参数

推荐使用设备出厂自带的工艺参数，或使用通过试验得出的工艺参数。

人员

操作者应接受培训，内容包括但不限于增材制造设备和辅助设备的操作、维护、校准、软件使用、安全防护、材料处理、后处理、数据处理、异常情况处理等。操作者经培训考核合格后才能操作设备，培训应由设备厂商或已接受培训并合格的人员来实施。

模型

在零件制造前，应确认零件的模型与增材制造设备的兼容性。

成形过程

成形准备

每次成形前应根据设备生产商的使用说明书对挤出喷头、成形平台等进行清洁和维护、加载材料等操作，根据零件生产商的经验准备打印路径控制代码，并将设备调试到待打印状态。

成形参数

成形参数主要用于对复合材料成形效率、制品成形精度与表面质量、纤维含量进行控制，成形过程应根据设备特征、工艺特性与客户需求选择并记录下列全部或部分参数以及客户要求的其他参数：

1. 挤出喷头温度：挤出喷头加热块或挤出螺杆、活塞熔融腔应达到的温度；
2. 填充率：零件内部实体材料填充比例；
3. 进料速率：材料进给速度；
4. 挤出喷头出口直径：挤出喷头末端出口处直径，影响堆积线间距离；
5. 分层厚度：单层材料堆积厚度；
6. 成形室温度：成形设备内部环境温度；
7. 成形平台温度：成形设备打印底板温度；
8. 打印速度：挤出喷头或成形平台移动速度。

后处理

7.3.1 成形完成后，应将支撑材料从制件中去除。

7.3.2 零件可通过钻孔、去毛刺、打磨或涂层等去除多余的材料使零件几何尺寸、表面质量等满足客户要求。

7.3.3 可通过外表目视检查零件的缺陷和异常（例如翘曲、增生、结节、变色、错层、变形、分层等）。可使用高强光检查内部特征。光源应对零件结构有足够的穿透性以满足检验。应注意避免光源损坏塑料零件。

7.3.4 如客户有特殊要求，应由供需双方协商确定后处理方案。

环保要求

成形过程产生的污染物排放应符合GB 14554的规定。

安全

按照设备的使用场景，成形过程的安全应符合GB 4943.1或GB 5226.1的规定。

性能评价

试样制备

用于评估各向异性性能的试样应与所成形零件采用同样工艺同步制作。测试试样的打印方式分为四种，如图1中①、②、③、④位置所示。具体为：①在*x-y*平面内，成形路径与试样长度方向平行，即0°夹角；②在*x-y*平面内，成形路径与试样长度方向垂直，即90°夹角；③在*x-y*平面内，成形路径与试样长度方向夹角在0°～90°范围内变化；④在*x-y*平面外，试样沿对试样性能最不利的方向摆放。除非客户另行规定或使用特别的测试方法，各成形路径方向试样数量至少3个。所有试样应为去除支撑后不经后处理的制件。

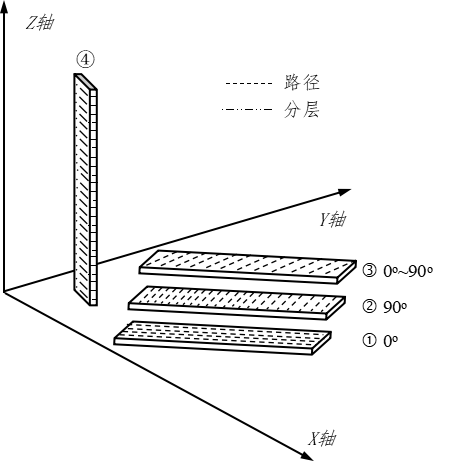


图1 试样制作示意图

静态力学性能

8.2.1　拉伸性能

根据4.2规定的工艺等级，用于评估拉伸性能的试样位置、成形路径和数量列于表3。

1. 塑料材料挤出成形力学性能测试规范

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 规范a b | H级 | M级 | L级 |
| 成形认证 | 采用①、②成形路径制备至少3个试样；采用④成形路径，制备至少3个试样 | 采用①、②成形路径制备至少3个试样 | 可按照客户要求制备拉伸试样 |
| 1. 对于零件方位记号，参见图1所示。 2. 拉伸性能的测定参考GB/T 1040.1。 | | | |

8.2.2　其他力学性能

按照表3规定的成形路径，每种路径制备至少3个试样，用于评估弯曲强度及模量、剪切强度及模量等力学性能。弯曲性能的测定参考GB/T 9341，短梁法测定层间剪切强度参考JC/T 773。

动态力学性能

8.3.1　疲劳性能

除非客户另行规定，应根据需求选择以下标准中的一项或者多项对复合材料的疲劳性能进行测定和评估：

应按照GB/T 35465.1-2017 《聚合物基复合材料疲劳性能测试方法 第1部分：通则》的要求，准备复合材料疲劳性能测试所需的试验设备、试样、试验条件等，应按照GB/T 35465.2-2017 《聚合物基复合材料疲劳性能测试方法 第2部分：线性或线性化应力寿命（S-N）和应变寿命（ε-N）疲劳数据的统计分析》的要求，对试验数据进行处理。

应按照GB/T 35465.3-2017 《聚合物基复合材料疲劳性能测试方法 第3部分：拉-拉疲劳》进行复合材料拉-拉疲劳性能测定。

应按照GB/T 35465.4-2020 《聚合物基复合材料疲劳性能测试方法 第4部分：拉-压和压-压疲劳》进行复合材料拉-压和压-压疲劳性能测定。

应按照GB/T 35465.5-2017 《聚合物基复合材料疲劳性能测试方法 第5部分：弯曲疲劳》进行复合材料弯曲疲劳性能测定。

8.3.2　抗冲击性能

除非客户另行规定，应根据需求选择以下标准中的一项或者多项对复合材料的抗冲击性能进行测定和评估：

应按照GB/T 1451-2005《纤维增强塑料简支梁式冲击韧性实验方法》进行简支梁冲击性能测定。

应按照GB/T 21239-2007《纤维增强塑料层合板冲击后压缩性能实验方法》进行落锤低速冲击性能及冲击后含损伤层合板剩余压缩性能测定。

微观结构评价

除非客户另行规定，应根据需要选择以下标准中的一项或多项对复合材料零件的微观结构进行检测与评价：

1. GB/T 37166-2018 《无损检测 复合材料工业计算机层析成像（CT）检测方法》；
2. GJB/T 1038.1A-2004 《纤维增强复合材料无损检验方法 第一部分 超声波检验》；
3. GJB/T 1038.2A-2004 《纤维增强复合材料无损检验方法 第二部分X射线照相检验》；

精度检验

除非客户另行规定，应按照GB/T XXXX《增材制造 测试方法 标准测试件及其精度检验》（计划号20191939-T-604）的规定进行精度检验

孔隙与纤维含量评价

除非客户另行规定，可按照以下两种方式之一对复合材料零件孔隙与纤维含量进行检测与评价：

a）图像法：按照GB/T3365-2008 《碳纤维增强塑料孔隙含量和纤维体积含量试验方法》；

b）燃烧法：按照ASTM D3171-2015 《复合材料组分含量测试方法》。

合格证明

材料合格证明

材料供应商应按照要求向客户提供合格证明，确认每批的取样、测试及检测均依据本规范进行，且满足要求。证明文件应包含用户对材料的特性要求，包括材料的生产批号等信息，以及交付产品的特性要求。

设备合格证明

塑料材料挤出成形设备交付前应有合格证明，且各项技术指标参数符合工艺相关要求。

零件合格证明

9.3.1　零件生产商在交货时应向客户提供一份包含完整测试报告的合格证明。

9.3.2　合格证明中应包括详细的材料批次信息。

9.3.3　合格证明中应包括必要的力学性能数据（例如拉伸数据等）。

9.3.4　合格证明中应包含客户要求的特殊尺寸信息和化学性能等数据。

9.3.5　L级零件可不出具合格证明。

检验

要求

10.1.1　零件交付前应进行必要的质量检验，由供需双方协商确定抽检方式、检测项目以及技术指标作为交付和验收条件。

10.1.2　零件主要特性和测试方法应满足但不限于GB/T 35022《增材制造 主要特性和测试方法 零件和粉末原材料》的规定。

复检

需方可根据双方协定按10.1的要求进行复检，复检结果不合格时，由供需双方协商解决。

交付

交付的零件应包含但不限于以下信息：

1. 供应商信息（名称、地址和联系方式）；
2. 零件名称和材料组成；
3. 合格证明；
4. 执行标准编号；
5. 零件数量；
6. 生产日期；
7. 后处理记录；
8. 产品包装、运输、贮存等要求。

参考文献

1. GB/T 1040.1 塑料 拉伸性能的测定 第1部分：总则
2. GB/T 1844.1 塑料 符号和缩略语 第1部分：基础聚合物及其特征性能
3. GB/T 1043.2 塑料 简支梁冲击性能的测定 第2部分：仪器化冲击试验
4. GB/T 1040.4-2006 塑料 拉伸性能的测定 第4部分：各向同性和正交各向异性纤维增强复合材料的试验条件
5. GB/T 1040.5-2008 塑料 拉伸性能的测定 第5部分：单向纤维增强复合材料的试验条件
6. GB/T 31539-2015 结构用纤维增强复合材料拉挤型材
7. GB/T 9341 塑料 弯曲性能的测定
8. B/T 20417.1 塑料 丙烯腈-丁二烯-苯乙烯（ABS）模塑和挤出材料 第1部分：命名系统和分类基础
9. GB/T 32363.1 塑料 聚酰胺模塑和挤出材料 第1部分：命名系统和规范基础
10. GB/T 35513.1 塑料 聚碳酸酯（PC）模塑和挤出材料 第1部分：命名系统和分类基础
11. GB/T 1630.1-2008 塑料 环氧树脂 第1部分：命名
12. HG/T 5500 热塑性聚氨酯（TPU）颗粒料
13. HJ/T 364 废塑料回收与再生利用污染控制技术规范（试行）
14. JC/T 773 纤维增强塑料 短梁法测定层间剪切强度
15. YY/T 0660 外科植入物用聚醚醚酮（PEEK）聚合物的标准规范
16. GB/T 35465.1-2017 聚合物基复合材料疲劳性能测试方法 第1部分：通则
17. GB/T 35465.2-2017 聚合物基复合材料疲劳性能测试方法 第2部分：线性或线性化应力寿命（S-N）和应变寿命（ε-N）疲劳数据的统计分析
18. GB/T 35465.3-2017 聚合物基复合材料疲劳性能测试方法 第3部分：拉-拉疲劳
19. GB/T 35465.4-2020 聚合物基复合材料疲劳性能测试方法 第4部分：拉-压和压-压疲劳
20. GB/T 35465.5-2017 聚合物基复合材料疲劳性能测试方法 第5部分：弯曲疲劳
21. GB/T 1451-2005 纤维增强塑料简支梁式冲击韧性实验方法
22. GB/T 21239-2007 纤维增强塑料层合板冲击后压缩性能实验方法
23. GB/T3365-2008 碳纤维增强塑料孔隙含量和纤维体积含量试验方法
24. ASTM D3171-2015 复合材料组分含量测试方法
25. GB/T 9174 一般货物运输包装通用技术条件
26. GB 4943.1 信息技术设备 安全 第1部分：通用要求
27. GB 5226.1 机械电气安全 机械电气设备 第1部分：通用技术条件
28. GB 14554 恶臭污染物排放标准
29. GB/T 35351 增材制造 术语
30. GB/T 35022 增材制造 主要特性和测试方法 零件和粉末原材料
31. GB/T 39328-2020 增材制造 塑料材料挤出成形工艺规范
32. GB/T XXXX 增材制造 测试方法 标准测试件及其精度检验（计划号20191939-T-604）

ICS 01.040.25

**J 04**

**关键词：复合材料、连续纤维、树脂、增材制造、3D打印、工艺规范**