|  |  |
| --- | --- |
| ICS | 25.030 |
| CCS | |  | | --- | |  |   J 39 |

团体标准

T/CASMES XXXX—2024

增材制造 立体光固化成形陶瓷型芯制备技术规范

Additive Manufacturing—Technical specification for the production of stereo lithography forming ceramic core

2024 - XX - XX发布

2024 - XX - XX实施

中国中小企业协会  发布

目次

[前言 II](#_Toc182904353)

[引言 III](#_Toc182904354)

[1 范围 1](#_Toc182904355)

[2 规范性引用文件 1](#_Toc182904356)

[3 术语和定义 1](#_Toc182904357)

[4 一般要求 1](#_Toc182904358)

[4.1 人员 1](#_Toc182904359)

[4.2 仪器设备 1](#_Toc182904360)

[4.3 原材料 2](#_Toc182904361)

[4.4 环保与安全 2](#_Toc182904362)

[5 制备流程 2](#_Toc182904363)

[5.1 浆料制备 2](#_Toc182904364)

[5.2 模型设计 2](#_Toc182904365)

[5.3 数据处理 3](#_Toc182904366)

[5.4 参数设定 3](#_Toc182904367)

[5.5 光固化成形 4](#_Toc182904368)

[5.6 后处理 4](#_Toc182904369)

[6 质量检验 6](#_Toc182904370)

[7 技术资料交付 6](#_Toc182904371)

1. 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。

本文件由中国科学院金属研究所提出。

本文件由中国中小企业协会归口。

本文件起草单位：中国科学院金属研究所、佛山市陶瓷研究所检测有限公司、中国航发沈阳黎明航空发动机有限责任公司、贵阳航发精密铸造有限公司、东方电气集团东方汽轮机有限公司、中国联合重型燃气轮机技术有限公司、中国航发燃气轮机有限公司、武汉三维陶瓷科技有限公司、西安交通大学、西北工业大学、华中科技大学、中国机械总院集团沈阳铸造研究所有限公司、武汉因泰莱激光科技有限公司、通标亿泽标准化技术服务(北京)有限公司。

本文件主要起草人：李金国、李乔磊、章鸣、何金达、吴汉昌、刘西河、赵代银、梁静静、李有佳、苏海军、闫春泽、张朝威、马涛、刘荣臻、蔡志祥、于瑞龙、唐海、李昂、李翔、彭威、张为亮、李志伟。

1. 引言

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可能涉及到第 5 章与下列相关的专利的使用。

1. ZL202111364392.6，一种光固化3D打印改性陶瓷型芯及其制备方法
2. ZL202111362650.7，一种光固化3D打印浸渍增强陶瓷型芯及其制备方法
3. ZL202111397616.3，一种光固化3D打印铝基陶瓷型芯及其制备方法
4. ZL202111362469.6，一种光固化3D打印复合陶瓷型芯及其制备方法
5. ZL02111325715.0，一种光固化3D打印硅基陶瓷型芯及其制备方法
6. ZL202211445224.4，一种层状界面强化的光固化3D打印陶瓷型芯及制备方法

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下， 就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得：

专利持有人姓名：李金国、李乔磊、梁静静、周亦胄、孙晓峰。

地址：辽宁省沈阳市沈河区文化路 72 号。

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

增材制造 立体光固化成形陶瓷型芯制备技术规范

* 1. 范围

本文件规定了增材制造立体光固化成形陶瓷型芯（以下简称“陶瓷型芯”）制备的一般要求、制备流程、质量检验和技术资料交付。

本文件适用于采用立体光固化技术制备陶瓷型芯的过程控制。

* 1. 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 14554 恶臭污染物排放标准

GB 25493 以激光为加工能量的快速成形机床 安全防护技术要求

GB/T 35351 增材制造 术语

GB/T 35352 增材制造 文件格式

GB/T 37698 增材制造 设计 要求、指南和建议

GB∕T 39331—2020 增材制造 数据处理通则

GB/T 43481 增材制造 三维工艺模型数据质量要求

JB/T 14627—2023 增材制造 点光源立体光固化工艺规范

HB 5353 熔模铸造陶瓷型芯性能试验方法

* 1. 术语和定义

GB/T 35351、GB/T 39331 界定的术语和定义适用于本文件。

* 1. 一般要求
     1. 人员

陶瓷型芯制备人员应具有相关工艺基础知识，熟悉相关设备操作，掌握完整制备工艺操作流程。

设备操作人员应经过专业培训、考核，取得资格证后方可上岗。

陶瓷型芯制备过程中，操作人员应按规定正确佩戴劳保用品。

* + 1. 仪器设备

陶瓷型芯制备所用测量仪器应定期进行校验。

所用设备应按照设备手册及相关设备要求进行安装调试、使用及维护保养，确保设备使用时的正常运转。

光固化增材制造设备应能够满足工艺参数的调整需要，能在设定的参数下稳定地工作，并在成形周期内保持完好状态。

光固化增材制造设备打印幅面应不小于80 mm×80 mm，打印高度应不小于120 mm；打印层厚应在25 um～200 um 内可调。

光固化增材制造设备激光器波长为355 nm～405 nm。

光固化增材制造设备应配有加热装置对型芯浆料进行加热保温，加热温度30 ℃～80 ℃。

光固化增材制造设备软件、系统开放可调，包括但不限于激光输出功率、扫描路径、扫描速度、曝光时间、扫描方式、不同图形补偿方式、轮廓补偿值、扫描补偿值，以充分适配不同复杂结构陶瓷型芯的材料性能和结构特点确保打印成形精度。

* + 1. 原材料

原材料在首次使用、供方变更及生产过程中主要工艺方法和主要设备变更的情况下，均应进行工艺验证和首件检查，应按照HB 5353 的规定进行型芯标准样件检测，性能达标后方可使用。

原材料应按照贮存条件存放，并经检验合格且在有效期内。

* + 1. 环保与安全

增材制造陶瓷型芯光固化成形过程中产生的污染物排放应符合GB 14554的规定。

光固化增材制造设备的安全防护应符合GB 25493的相关规定。

光固化增材制造设备区域及陶瓷型芯处理区域应采用不含紫外光的照明设备。

光固化增材制造设备所用激光器输出的光束包含有可见的和不可见的辐射，对人眼有害，禁止直视激光光束。

光固化增材制造设备区域严禁放置易燃易爆物品，也不允许放置挥发性溶剂如酒精、丙酮、汽油等。

光固化增材制造设备区域及增材制造陶瓷型芯处理区域温度应保持在20 ℃～25 ℃，相对湿度应不超过50％。

* 1. 制备流程
     1. 浆料制备

应按照相关标准和工艺文件要求制备陶瓷型芯增材制造光固化成形所用浆料,浆料特性应符合表 1 的规定。

1. 浆料特性要求

| 项目 | 条件 | 要求 |
| --- | --- | --- |
| 剪切黏度 | 温度 25 ℃，剪切速率 25 s-1 | 0.8 Pa.s～8.2 Pa.s |
| 固化宽度 | 激光功率 10 mw/cm2 | ≤±3％ |
| 固化深度 | 0.09 mm～0.18 mm |
| 固相含量 | — | ≥50 vol.％ |
| 稳定性 | 浆料放置 24 h | 应无明显沉降 |
| 外观 | — | 应均一、无明显色差，无肉眼可见气泡、夹杂物 |

* + 1. 模型设计
       1. 一般要求

模型设计应符合 GB/T 37698 的规定。

* + - 1. 模型格式

应包括陶瓷型芯素坯表面完整的三角形网格信息，还可包括陶瓷型芯素坯的材料、结构等信息，并按 GB/T 35352 的规定，将信息存储为 STL 格式文件或 AMF 格式文件或 XT 格式文件或 IGS 格式文件或 STP 格式文件。

* + - 1. 薄壁厚度尺寸及精度设计

基于光固化增材制造成形精度要求，陶瓷型芯最小壁厚宜不小于 0.2 mm，尺寸精度宜不低于±0.04 mm。

* + - 1. 最小圆柱尺寸及精度设计

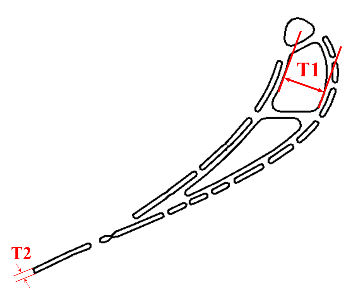
基于光固化增材制造成形精度要求，陶瓷型芯的最小圆柱直径宜不小于0.4 mm，尺寸精度宜不低于±0.04 mm。

* + - 1. 最小孔尺寸及精度设计

基于光固化增材制造成形精度及后处理要求，陶瓷型芯的最小孔直径宜不小于0.3 mm，尺寸精度宜不低于±0.04mm。

* + - 1. 支撑结构设计

为了防止陶瓷型芯脱脂烧结过程中出现变形等缺陷问题，宜设计与型芯薄壁结构过渡的支撑托，支撑托的壁厚如图 1 所示，按公式（1）进行计算。



1. 型芯截面壁厚示意图

()

式中：

— 增材制造陶瓷型芯支撑托壁厚，单位为毫米（mm）；

— 增材制造陶瓷型芯最薄壁厚，单位为毫米（mm）；

— 增材制造陶瓷型芯最厚壁厚，单位为毫米（mm）；

— 增材制造陶瓷型芯支撑托设计系数，宜根据型芯结构特点取值 0.5～1.5。

* + 1. 数据处理

模型的数据处理流程应符合GB/T 39331—2020中第 4 章的规定。

切片处理之前，应该进行模型数据质量检查，数据质量应满足GB/T 43481的规定。

切片分层处理时，根据光固化设备参数，选择合适的切片厚度，预判成形时间，形成成形文件。

* + 1. 参数设定

工艺参数设定应符合表 2 的规定。

1. 工艺参数

| 项目 | 参数 |
| --- | --- |
| 成形激光功率（mW/cm²） | 3～45 |
| 打印层厚/μm | 25～200 |
| 扫描速度（mm/s）/单层曝光时间（s） | 4 000～10 000 /3～20 |

* + 1. 光固化成形

光固化成形流程应符合JB/T 14627—2023 中 6.5 的规定。

光固化成形结束后，应对成形素坯进行初检。目视检查素坯，外表不应有变形、错层、缺失等缺陷。

* + 1. 后处理
       1. 素坯清洗

应选用与未固化的残余浆料中树脂兼容的无挥发性、无味的安全环保有机类清洗剂对素坯进行清洗，直至素坯表面与内部无残留浆料。

在选择清洗剂时，应考虑产品的安全性、环保性、挥发性、清洗效果以及是否兼容有机树脂体系等因素。

* + - 1. 素坯脱脂
         1. 氧化物类陶瓷型芯宜在空气气氛下脱脂，非氧化物类陶瓷型芯宜在惰性气体气氛下脱脂，不同壁厚陶瓷型芯的脱脂参考压力值见表 3 。

1. 不同壁厚陶瓷型芯脱脂参考压力值

| 壁厚 | 参考压力值 |
| --- | --- |
| ≤1 mm | 0.1 KPa～0.5 MPa |
| 1 mm～3 mm | 0 |
| ≥3 mm | ≤1 MPa |

将素坯宜按表 4 的规定由室温先升温、后降温进行脱脂处理。

1. 脱脂处理

| 步骤 | | 速率  ℃/h | 到达温度  ℃ | 保温时间  h |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 升温 | 第一阶段 | 60～100 | 300±20 | 1～2 |
| 第二阶段 | 60～80 | 400±20 | 1～2 |
| 第三阶段 | 100～120 | 550±20 | 2～3 |
| 第四阶段 | 100～120 | 580～700 | 2～4 |
| 降温 | | 5～100 | 常温 | - |

* + - 1. 陶瓷型芯烧结
         1. 不同壁厚陶瓷型芯的烧结参考压力值应符合表5的规定。

1. 不同壁厚陶瓷型芯烧结参考压力值

| 壁厚 | 参考压力值 |
| --- | --- |
| ≤1 mm | 0.1 KPa～0.5 MPa |
| 1 mm～3 mm | 0 |
| ≥3 mm | ≤1 MPa |

* + - * 1. 脱脂坯体宜按表 5 的规定由室温先升温、后降温进行烧结处理。

1. 烧结处理

| 步骤 | | 速率  ℃/h | 到达温度  ℃ | 保温时间  h |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 升温 | 第一阶段 | 60～120 | 700±20 | 1～4 |
| 第二阶段 | 120～200 | 1 000±20 | 1～6 |
| 第三阶段 | 120～200 | 1 000～1 100 | 2～6 |
| 第四阶段 | 60～120 | 1 100～1 700 | 6～10 |
| 降温 | | 5～120 | 常温 | - |

* + - 1. 陶瓷型芯清理、修整

经烧结处理后的陶瓷型芯应根据技术文件要求进行表面清理和修整,常见的表面处理方法有打磨、抛光等。

表面处理过程中，应与三维模型对照，不应破坏陶瓷型芯本身结构。

* + - 1. 高温强化

高温强化处理的主要目的是进一步提高型芯的高温强度和抗热变形能力，提高型芯在浇注过程中抵抗金属冲击的抗变形能力。

高温强化的处理方法按如下步骤进行：

1. 将型芯浸入特定的强化剂进行浸渍处理；
2. 待气泡消除后取出，加热干燥或自然干燥 0.5 h～24 h。

常见的强化剂类型见表 7，包括硅溶胶、铝溶胶、氧化物前驱体溶液及硅酸乙酯水解液等；浸渍工艺可选择常压浸渍也可选择真空浸渍；干燥方式一般为加热干燥、自然干燥，特殊工艺也可选择气氛干燥。

1. 高温强化处理方式

| 强化剂类型 | 浸渍方式 | 干燥方式 |
| --- | --- | --- |
| 硅溶胶 | 常压浸渍  真空浸渍 | 加热干燥  自然干燥  气氛干燥 |
| 铝溶胶 |
| 氧化物前驱体溶液 |
| 硅酸乙酯水溶液 |
| 钇溶胶 |
| 锆溶胶 |

* + - 1. 低温强化

低温强化处理的主要目的是提高陶瓷型芯的室温强度和韧性，防止型芯在修整、搬运和制模时损坏。

低温强化的处理方法按如下步骤进行：

1. 将已高温强化后的陶瓷型芯浸入低温强化剂（常压浸渍或真空浸渍均可）；
2. 取出滴尽溶液或经溶剂冲洗后表干；
3. 进行加热固化、室温固化或真空失水固化。

常见的低温强化剂见表 8，主要是热固性树脂、多元醇及水溶性聚合物。

1. 低温强化处理方式

| 强化剂类型 | | 浸渍方式 | 干燥方式 |
| --- | --- | --- | --- |
| 热固性树脂 | 酚醛树脂 | 常压浸渍  真空浸渍 | 加热干燥  自然干燥  气氛干燥 |
| 环氧树脂 |
| 多元醇 | 甘露醇 |
| 季戊四醇 |
| 水溶性聚合物 | 聚乙烯醇 |
| 聚乙二醇 |

* + - 1. 包装和运输

陶瓷型芯应先进行内包装，然后再用填充料将内包装件紧固在外包装箱内，最后完成外包装。外包装应能够保护陶瓷型芯免受潮湿和污染，例如使用密封袋或防潮箱。此外，外包装应有足够的强度，以承受运输过程中的堆叠和搬运，例如使用坚固的纸箱、木箱等。

运输过程中避免剧烈震动、碰撞、直接雨淋或受到腐蚀。

* 1. 质量检验

陶瓷型芯交付前应进行必要的质量检验，检验项目及要求应符合表 9 的规定。

1. 质量检验

| 项目 | 要求 |
| --- | --- |
| 外观 | 表面光洁，无明显气泡、裂纹、流痕等缺陷 |
| 表面粗糙度 | ≤6.0μm |
| 尺寸精度 | ±0.3 mm |
| 高温抗弯强度（1 500 ℃） | 8 MPa～25 MPa |
| 室温抗弯强度 | ≥10 MPa |
| 热变形量 | ≤2 mm |
| 烧成收缩率 | 0.5％～6％ |
| 显气孔率 | ≥20％ |

* 1. 技术资料交付

随陶瓷型芯交付的技术资料应包括但不限于如下内容：

1. 制造商信息（名称、地址、联系方式等）；
2. 产品名称；
3. 合格证明文件；
4. 产品执行标准编号；
5. 产品数量；
6. 生产日期；
7. 产品包装、运输、贮存等要求。

