

团 体 标 准

T/CAMMT XXXX—XXXX

金属熔融三维直写成形工艺规范

Specification of metal melting 3D direct writing process

XXXX - XX - XX 发布

XXXX - XX - XX 实施



中国机械制造工艺协会 发布

目 录

1 范围	5
2 规范性引用文件	5
3 术语和定义	5
4 成形工艺质量控制要求	6
5 成形工艺过程	7
6 质量检验	4
7 交付	4
附录 A5（规范性附录） 锌铝合金样件成形工艺参数	5

金属熔融三维直写成形工艺规范

1 范围

本标准规定了金属熔融三维直写成形工艺的一般要求、工艺过程、质量检验与交付。

本标准适用于以电阻、电磁感应等为能源、激光辅助预热的低熔点金属、中高熔点金属熔融三维直写成形工艺。

2 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，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 35351-2017 增材制造 术语

GB/T 37698-2019 增材制造设计要求、指南和建议

GB/T 35022-2018 增材制造主要特性和测试方法零件和粉末原材料

GB/T 13298-2015 金属显微组织检验方法

GB/T8063-2017 铸造有色金属及其合金牌号表示方法

GB/T1173-2013 铸造铝合金

GB/T1175-1997 铸造锌合金

3 术语和定义

GB/T 35351界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

金属熔融三维直写

金属熔融三维直写成形是一种金属件3D打印直接制造工艺，金属在密闭腔体内被高效加热熔化，熔融金属液在保护气体压力作用下以连续液流或液滴的形式向下堆积，成形基板按照预制零件的截面轮廓和填充轨迹运动，使金属液流或液滴有选择性地逐层堆积在基板上，最终完成直写成形，获得三维金属零件。

3.2

低熔点金属

金属熔化温度低于232℃（Sn的熔点）以下的易熔金属合金，如铋锡合金、锡铅合金等。

3.3

中高熔点金属

金属熔化温度高于232℃且低于1000℃以下的金属合金，如镁合金、锌合金、铝合金等。

3.4

辅助设备

金属熔融三维直写成形工艺所用到的除成形主体设备以外的其他起辅助性作用的设备，如保护气生成设备、辅助预热设备、原材料预处理设备、冷却设备和加热设备等。

3.5

辅助材料

金属熔融三维直写成形工艺所用到的除原材料以外的其他起辅助性作用的材料，如保护气体、成形基板等。

3.6

保护气体

金属熔融三维直写成形工艺所用到的防止成形零件成形过程中氧化的气体，如氮气、氩气等。

4 成形工艺质量控制要求

4.1 人员

操作者需接受金属熔融三维直写成形工艺相关专业培训，培训合格后才能操作设备，未经培训的人员禁止操作设备。主要培训过程包括金属熔融三维直写成形设备和辅助设备的操作、维护和校准、软件使用、安全防护、原材料处理、成形前数据模型预处理、成形零件后处理、异常情况处理、设备易耗零部件检修及更换和故障排除等。其中保护气生成设备的操作人员必须持有固定式压力容器（R1）证书。

4.2 设备

4.2.1 主体设备

金属熔融三维直写成形设备包括金属熔融加热系统、运动系统、激光辅助预热系统、气氛保护系统、运动控制系统、温度控制及反馈调节系统、成形过程视频监控系统、冷却系统和照明系统。

4.2.2 辅助设备

保护气生成设备包括空气压缩机、空气储气罐、保护气制备设备。

辅助预热设备包括激光器产生系统及其运动系统。

原材料预处理设备包括原材料切割设备、原材料清洗设备、原材料烘干设备。

冷却设备包括成形底板冷却系统和激光器冷却系统。

加热设备包括成形底板的加热、金属熔融系统的加热。

4.3 材料

4.3.1 原材料

金属的牌号和化学成分应符合有关标准的规定。金属牌号和成分按《铸造有色金属及其合金牌号表示方法GB/T8063-2017》、《铸造铝合金GB/T1173-2013》和《铸造锌合金GB/T1175-1997》有关标准执行。

4.3.2 辅助材料

- a) 保护气体其纯度不应小于99.9%。
- b) 成形基板的材料应于原材料具有良好的冶金相容性，厚度与平面度满足要求，在使用前保证其表面的洁净。

4.4 环境

4.4.1 工作环境

金属熔融三维直写成形设备应在下列环境条件下正常运行：

环境温度：+5℃~35℃；

湿度：75%以下（相对），无凝露。

4.4.2 场地要求

安装金属熔融三维直写成形设备的场地应具备良好的通风和照明条件，地面承载力应符合设备的要求。地面需洁净平整可进行垫铁的调节，无需打地基。

4.5 安全

4.5.1 保护气制备设备为固定式压力容器，其操作规程应符合TSG R0004-2009《固定式压力容器安全技术监察规程》。

4.5.2 空气压缩机、空气储气罐、保护气制备设备中所使用的安全阀应有标牌、合格证书和相关技术文件，并定期进行年检和维护。

4.5.3 空气压缩机、空气储气罐、保护气制备设备中所使用的压力表应有合格证书和相关技术文件，每半年必须经计量部门校验一次。

4.5.4 激光器的安全防护应符合GB 25493的规定。

4.5.5 金属熔融三维直写设备应保持良好接地，高压电源和成形腔室的接地电阻不大于4Ω。

4.6 人员防护

4.6.1 使用保护气体的操作场所应为操作人员配备呼吸保护装置，防止保护气体吸入过多引起窒息。

4.6.2 金属熔融三维直写成形过程和成形完毕后零件温度较高，需穿戴劳保服、佩戴防护镜、戴防高温隔热手套进行操作，防止烫伤。

5 成形工艺过程

5.1 流程图

金属熔融三维直写成形典型工艺流程见图1，包括模型设计、数据处理、工艺参数设置、成形准备、成形过程、清理、初次检验、后处理、质量检验和交付等过程。

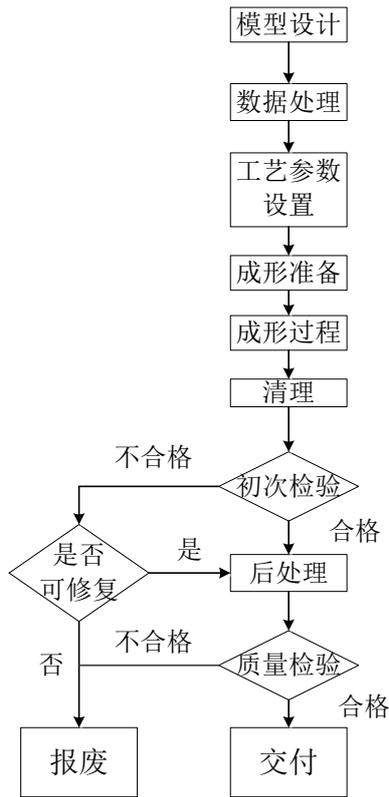


图 1 典型工艺流程图

5.2 模型设计

a) 设计者可通过三维建模软件或对实体进行扫描等方式获得零件模型，模型零件应该能转换为金属熔融三维直写成形设备软件可识别的数据格式，如PRT、AMF、3MF、STL、X-T、OBJ等。

b) 测试零件可在零件上直接进行取样，也可以单独进行取样。但是应该与零件在同一成形周期内成形。直接取样的试样应在零件上或者图样中进行标记；单独成形的试样形状尺寸应符合有关测试标准的要求并确保试样留有足够的加工余量。

c) 金属熔融三维直写成形零件设计应符合GB / T37698的有关规定。

5.3 数据处理

根据成形零件的复杂程度设定零件成形方向，将设计完成的模型在金属件熔融直写成形专用成形软件下转换为设备可识别的成形代码。

5.4 成形工艺参数控制要点

应根据成形材料种类、成形零件复杂程度、成形件最小壁厚、成形零件尺寸、性能要求、成形时间等设定成形工艺热参数、冷参数以及辅助工艺参数。

5.4.1 成形工艺热参数

根据成形材料的种类设定成形工艺热参数中的金属熔融温度、基板加热温度、金属熔融时间、底板加热时间、激光器功率、光斑大小、激光焦点距成形件距离、激光器运动速度，按照成形要求进行依次进行设定。

5.4.2 成形工艺冷参数

成形工艺冷参数包括喷头直径、喷嘴距成形基板高度、扫描速度、气体压力（流量）、扫描方式、扫描层数和搭接率，按照成形要求进行依次进行设定。

5.4.3 辅助工艺热参数

辅助工艺参数包括保护气纯度、冷却速度，按照成形要求进行依次进行设定。

5.5 成形前准备

5.5.1 原材料及喷头

将原材料切割为20mm×20mm的方块，去除表面氧化皮。根据目标产品的重量计算所需材料数量，一次性紧密放置于加热熔融装置内进行熔化。根据成形需要选择相应尺寸的喷头，将切割完成的原材料和喷头置于超声波清洗设备中清洗，直至表面洁净无明显油污和杂质为止。取出后用热风等对其进行烘干后备用。

5.5.2 加热熔融装置

成形前配制氧化锌和氧化钛水溶液，氧化锌、氧化钛和水比例为1:1:20。将加热熔融装置预热至100℃以上后，将上述混合溶液用刷子均匀刷涂于加热熔融装置内壁，待水分完全蒸发后备用。

5.5.3 设备初始状态检查

- a) 检查成形运动系统和激光辅助预热运动系统是否处于原点位置，若否则进行复位。
- b) 检查空气压缩机、空气储气罐、保护气制备设备压力表指针是否处于初始位置，若否则进行复位。

5.5.4 保护气生成设备

本规范中保护气以氮气为例进行说明。首先打开保护气制备设备制氮机，待制氮机启动2-3min后，打开空气压缩机、空气储气罐、制氮机之间的气体阀门，再打开空气压缩机开关。上述开启顺序不可颠倒。待制氮机氮气压力值大于0.4MPa且纯度大于99.9%时备用。

5.5.5 主体设备

依次打开主体设备中照明系统、成形过程视频监控系统、气氛保护系统、温度控制及反馈调节系统、金属熔融加热系统、激光辅助预热系统和冷却系统。

金属熔融加热系统加热温度加热至设定温度后备用保温。气氛保护系统开启后0.5h内成形设备成形腔内部氧气含量应不大于1000ppm备用。

5.6 成形参数设置

成形参数设置包括：

- a) 金属熔融温度、基板加热温度、金属熔融时间、喷头直径、喷嘴距成形基板高度、扫描速度、气体压力、扫描方式。附录A给出了成形ZA4-1锌铝合金、简单单道多层试样的部分关键工艺参数参考设置范围。
- b) 按照上述工艺参数参考设置范围设置完成成形参数后，打开金属熔融三维直写成形专用软件，将处理好的模型数据成形代码下载至成形软件界面，立即打开金属熔融装置的保护气体阀门，待熔融金属液从喷头底部流出触及成形基板后，即刻点击软件中“开始成形”按钮，直至成形程序结束。成形过程中需
- c) 要密切关注喷头底部液流的流出情况是否连续可控，成形工艺参数是否发生变化，如成形中断立即停止成形程序。
- d) 待成形零件成形程序结束后，关闭金属熔融装置的保护气体阀门，点击“成形结束”按钮，依次关闭空气压缩机开关、制氮机开关、空气压缩机和空气储气罐以及制氮机之间的气体阀门、气氮保护系统。上述关闭顺序不可颠倒。
- e) 依次关闭金属熔融加热系统中金属熔融加热装置加热开关、底板加热开关，关闭激光辅助预热系统和冷却系统。待成形零件冷却至100℃以下时打开成形腔室，戴好专用隔热手套采用专用工具将成形零件从成形基板上取出。
- f) 最后关闭成形软件，将运动系统复位。依次关闭照明系统、成形过程视频监控系统 and 总控制电源。

5.7 清理

待成形零件冷却至室温后，去除样件周围多余的金属。

清理金属熔融加热装置内部多余的金属。

5.8 初次检验

成形完成后对零件进行初步检验，包括但不限于外观缺陷、外形尺寸等。

在不影响使用要求的前提下，可通过对零件进行修补、变形矫正、机加工等方式以满足要求。

5.9 后处理

5.9.1 表面处理

成形后的零件表面会产生氧化皮，根据需要可进行打磨、喷砂、抛光、精磨、机加工、电化学腐蚀等。

5.9.2 热处理

采用专用金属热处理设备对零件进行相应的热处理（以ZA4-1锌铝合金为例进行时效）以改善组织性能。

对内部性能要求较高或者层间结合性能不良的零件，采用温等静压设备对成形零件进行处理。

6 质量检验

6.1 表面质量

零件表面不允许有肉眼可见的分层、毛刺、裂纹、错层和翘曲等缺陷。

6.2 内部质量

零件的内部质量检验方法根据使用要求进行，常见内部缺陷包括裂纹、层间不连续、空隙等。常见的检测方法有层析成像、射线检测等。

6.3 几何形状检测

零件的集合形状和尺寸应符合模型设计要求。

6.4 性能检测

6.4.1 机械性能

零件的主要特性和推荐检测方法包括但不限于GB/T35022-2018中的规定。

6.4.2 显微组织

根据需要按照GB/T 13298-2015的规定进行显微组织检验。

6.4.3 化学成分

零件的化学成分应满足设计要求。

7 交付

零件的交付信息包括但不限于以下信息：

- 生产商信息（名称、地址和联系方式等）；
- 零件数量；
- 生产日期；
- 后处理记录。

附录 A
(规范性附录)
锌铝合金样件成形工艺参数

参数名称	设置范围	备注
金属熔融温度	410℃~450℃	/
基板加热温度	≤200℃	/
金属熔融时间	15min~20min	原材料质量500g之内
喷头直径	0.2mm~1.0mm	喷头直径越小成形精确相对越高
喷嘴距成形基板高度	30mm~70mm	50mm左右精度相对较高
扫描速度	≤4000mm/min	/
气体压力	<0.1MPa	/

中国机械制造工艺协会

团体标准

标准名称

T/CAMMT xxx—20xx

※

中国机械制造工艺协会标准化工作委员会编印

北京市海淀区首体南路 2 号 1207 室

(100044)

电话：010-88301523

网址：www.cammt.org.cn

邮箱：cammt_standard@163.com

打印日期：20xx年xx月xx日