

# 基于3D打印的微通道液冷散热器敏捷制造技术浅析

于春涛 贾建中

无锡江南计算技术研究所 江苏 无锡 214000

**摘要:** 随着电子器件散热需求的提升,微通道液冷散热器能够解决规模化的散热难题,可形成有效的冷却能力。微通道散热器传统的工艺路线冗长,制备周期长,运用3D打印成型技术可实现数模一体成型技术,通过比对不同加工方法,探究3D打印技术铝合金微通道液冷散热器敏捷制造成型技术,为散热器制备领域开拓新思路和新方法。

**关键词:** 3D打印;微通道冷板;加工制造

随着电子技术的飞速发展,当今电子设备趋于小型化和高集成化发展,各类电子元器件的集成度和封装密度逐渐增大,系统级结构紧凑程度更高,势必会带来电子设备的热流密度急剧上升,这就对其散热功能部件提出了更高的要求。若电子设备长期处于临界或高于设计额定温度工况运转,会对其工作性能产生不良影响,最终会导致设备器件损坏失效<sup>[1]</sup>。以当前超算领域而言,计算性能需求日益提高,处理器频率也据日剧增,加之现今大数据、云计算、量子计算等新兴领域的崛起,都对系统级散热能力提出了新的挑战。传统的风冷技术已无法满足高热流密度器件的散热需求,需采用更为高效的液冷冷却技术,而液冷冷却技术的关键部件为液冷冷板,其整体性能的优劣是影响超级计算机系统的直接因素。微通道液冷散热器能够解决规模化的散热难题,可形成的冷却能力大幅度提升,有效满足电子设备与日俱增的散热需求,目前较为成熟的工艺路线为先通过精密数控铣削加工出微通道结构,再运用相关焊接工艺对其进行密封成型。常见的焊接方式有真空钎焊、真空扩散焊、搅拌摩擦焊等,对于真空钎焊需在焊缝处辅以钎焊料,由于其熔融态钎料利用毛细作用填充焊缝,但其流动性易造成微通道的堵塞和焊缝封闭不连续,导致内部冷却介质渗漏的风险;对于真空扩散焊属于无钎料压力焊的一种,焊接过程中需施加一定数量级的压力,易造成焊接结构的形变导致焊缝出现缺陷出现渗漏风险;对于搅拌摩擦焊针对焊接工艺存在一定的局限性,仅可焊接微通道线性焊缝,无法对微通道翅片式、针肋式等结构进行焊接。3D打印技术即快速成型技术,属于增材制造技术,其主要利用激光热源逐层熔覆合金粉体从而实现复杂结构致密金属零件的快速、无模具的一体成型技术。微通道液冷散热器采用3D打印技术成型,可实现模型数据一体成型为实体零件,其基体致密度可达到同材质铸造合金程度,不会出现液态介质泄漏问题,并且具有敏捷制造的加工成型特点。本文主要重点对3D打印技术成型铝合金微通道液冷散热器的敏捷制造成型技术进行探究分析。

## 1 3D打印技术(SLM)的优势

3D打印技术是基于微积分的原理,将所设计的数据模型通过修复、离散等前处理进行分层切割,规划好扫描路径,以金属球形粉末颗粒作为基材,采用激光分层扫描,逐层累积,最终将三维设计模型直接成型于实体零件。SLM即选择性激光熔化技术,是目前较为成功应用于微通道液冷散热器上的一项增材制造技术。

3D打印技术将材料科学、机械加工和激光技术多学科融合的综合性技术,被视为实现敏捷制造的一项重要技术手段,对传统机械制造技术相比,其具有特有的技术优势<sup>[2]</sup>:

- (1) 可实现零件的敏捷、智能、一体成型制造;
- (2) 金属粉末烧结成型,基材利用率高,所需传统机加工作量较少;
- (3) 能够进行零件柔性制造,无需开模,省去模具高昂

的费用;

(4) 可实现复杂异形零件的制造,工艺流程简单,制造周期短;

(5) 可实现多质异种合金材料的复合制造,提高零件材料机械性能。

3D打印作为第三次工业革命制造领域的典型代表技术,其发展备受各界的广泛关注。该技术具有高柔性、快速响应、制造成本与产品复杂程度关联性较小、适用材料广泛等特点,已成为推动智能敏捷制造的主线,具有广阔的应用前景。3D打印技术与传统的减材制造具有截然不同的加工模式和技术特点,为敏捷制造技术领域奠定了产业化技术基础,成为国家制造产业有力的助推器。

3D打印增材制造技术针对微通道液冷散热器制造相比传统机械加工主要有以下两点优势:

(1) 微通道结构一般具有复杂异构、内部流动立体布局的特点,通过传统的机加工手段工艺路线复杂,且难以实现其结构完整性和尺寸精度要求;

(2) 传统机械加工人为因素干预程度较高,且工艺路线冗长,零件生产周期长,相对而言时间成本和人力成本较高,对于微通道液冷散热器的批产加工需求不契合。

基于以上优势,3D打印技术较为适用于加工外部形貌复杂、内部结构异构的微通道液冷散热器。

## 2 微通道液冷散热器敏捷制造应用案例和可行性分析

微通道液冷散热器的工作原理是将热量传递到微通道结构冷板,再通过液态冷却介质将热量转移散失。热量传递的过程中微通道冷板起到了热量转换的核心作用。此类结构冷板具有体积小、热流接触面积大、热阻较小等优点,该结构冷板可实现更为高效的散热效果<sup>[3]</sup>。因此,针对计算电子器件散热领域而言,微通道散热器有着非常广阔的科研价值和市场前景,开辟敏捷制造模式能够为散热器制备领域提供新的思路。

### 2.1 微通道冷板结构设计

本文采用NX10.0软件进行微通道液冷散热器3D打印模型建模(内部结构如图1所示),冷板结构设计采用翅片式微通道结构,翅片高度为3mm,厚度为0.5mm,宽厚比达6,材料选用为6061-H112(A1-Mg-Si系合金)铝基材。

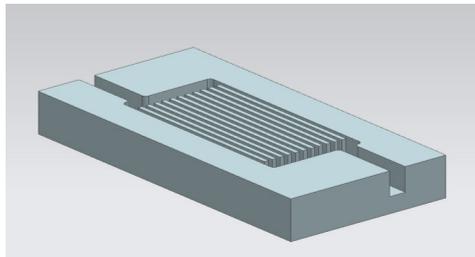


图1 微通道冷板模型

作者简介:于春涛,(1984.2-),男,黑龙江省海伦市人,汉族,硕士研究生,高级工程师,主要研究方向:机械工艺技术研究。

贾建中,(1975.11-),男,山西代县人,汉族,大学本科,高级工程师,主要研究方向:液冷散热器工艺。

## 2.2 3D打印加工时间和传统机械加工时间对比

### 2.2.1 传统工艺

(1) 主要工艺路线:

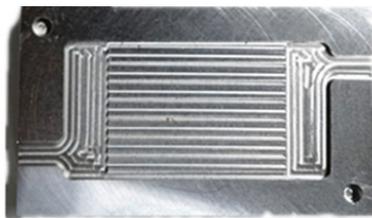
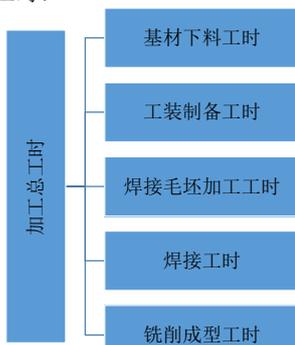


图2 采用传统工艺制备焊接毛坯

采用传统工艺加工主要从原材料下料为单件毛坯, 制备铣削加工和钎焊专用工装, 数控加工中心铣削单件焊接毛坯, 钳工去毛刺钻打焊接定位销孔, 钎焊前处理, 装炉焊接成型, 焊接毛坯最终进行铣削加工, 钳工去毛刺。

(2) 加工工时:



经过实测统计, 包含各工序间周转辅助工时和工具准备工时等附加因素, 单件样品理论加工总工时为 12.6h。

### 2.2.2 3D打印工艺

3D 打印技术直接将基材合金粉末利用激光光源层层熔覆实现复杂微通道液冷散热器的快速一体成型, 成型后经过简单的后置处理可达到产品的使用要求。3D 打印数据模型如图 2 所示。

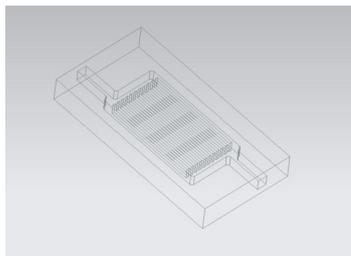


图3 3D 打印数据模型

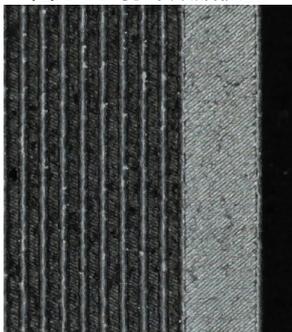


图4 3D 打印阶段微通道局部放大图

上图为 3D 打印样品局部放大图, 使用常规参数进行打印工件尺寸精度能够满足图纸技术要求, 表面粗糙度能够满足使用要求。

### (1) 3D 打印制造流程



### (2) 加工工时

3D 打印样品加工工时为打印程序准备时间、样品打印时间和后置处理时间, 单件打印工时为 5.2h。

### 2.3 性能检测

为有效验证 3D 打印样件的致密性, 采用蔡司工业 CT 扫描设备对其内部质地进行检测, 其基材的致密度可达到同种材质铸造铝合金程度。

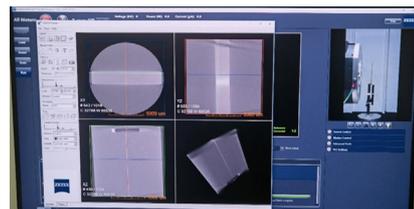


图5 3D 打印样品工业 CT 检测

为验证其耐压密封性能, 对其进行水密保压检测, 测试参数要求: 6MPa, 保压时间为 20min。



图6 水密保压检测

综上采用 3D 打印技术加工的工时仅为传统工艺加工工时的 1/3, 样品尺寸精度能够满足图样技术要求, 对其进行性能测试均能满足产品使用性能要求。

## 3 结束语

本文通过对微通道液冷散热器 3D 打印技术的应用, 用以解决在传统机械工艺制备过程中存在的加工周期长、工艺路线复杂以及加工装配约束多等问题, 3D 打印技术可实现设计图纸和数字化模型结构向微通道液冷散热器实体无失真的一体成型, 形成快速响应敏捷制造技术能力。此项技术的应用可有效避免传统制备方法中因多工序焊接而引入的焊接界面热阻, 从而可提高微通道散热器的散热性能。此项技术的应用能够大大缩短结构优化和产品制造的周期, 简化工艺流程, 可见 3D 打印技术在微通道液冷散热器制造方面具有独特的加工优越性。然而传统的机械制造经过长期的经验积累, 已经形成了固定的标准和体系, 基于 3D 打印敏捷制造技术手段势必需要后续对行业标准逐步进行深入的研究, 构成新体系, 为散热器制备领域开拓新思路和新方法。

### 参考文献

- [1] 余冬梅, 方奥, 张建斌. 3D 打印: 技术与应用 [J], 金属世界, 2013 (6): 6-11.
- [2] 李怀学, 巩水力, 孙帆, 等. 金属零件激光增材制造技术的发展及应用 [J]. 航空制造技术, 2012, 20: 26-31.
- [3] 宋占军, 冷板加工工艺研究 [c], 第十七届全国钎焊及特种连接技术交流会论文集 [J]. 394-395.