

# Study on the shortening effect of light curing 3D printing mold on sample making cycle

Tingfeng Cai

Liqiang Precision Hardware (Dongguan) Co., Ltd., Dongguan, Guangdong, 523000, China

## Abstract

With the continuous enhancement of manufacturing demands for product development cycles and flexible production capabilities, the application value of rapid prototyping technology in prototype and mold manufacturing has become increasingly prominent. Light-curing 3D printing technologies (SLA/DLP, etc.) are gaining widespread adoption in mold manufacturing due to their advantages such as high forming accuracy, rapid production of complex structures, and advanced automation. This paper systematically explores the mechanism and practical effectiveness of light-curing 3D printing molds in shortening prototype production cycles through their design and application. Starting with a comparison between traditional molds and the structural characteristics of molds, this article analyzes multiple advantages of light-curing 3D printing molds in prototype processing, including integrated efficiency, assembly flexibility, process simplification, and multi-iteration support capabilities, using typical production cases. Based on a full-cycle decomposition of prototype design, mold manufacturing, debugging, and production processes, this study proposes the impact pathways of light-curing 3D printing molds on prototype development efficiency.

## Keywords

light curing 3D printing; mold line; sample making; manufacturing cycle; rapid prototyping

## 光固化 3D 打印模具行位对样板制作周期的缩短效应研究

蔡霆峰

立强精密五金（东莞）有限公司，中国·广东 东莞 523000

## 摘要

随着制造业对产品研发周期和柔性生产能力要求的持续提升，快速成型技术在样板及模具制造环节的应用价值日益凸显。光固化3D打印技术（SLA/DLP等）凭借高成型精度、复杂结构快速制造、工艺自动化程度高等优势，正在模具制造领域得到广泛推广。本文围绕光固化3D打印模具行位的设计与应用，系统探讨其对样板制作周期缩短的作用机理与实际成效。文章从行位的结构特性与传统模具对比入手，结合典型生产案例，对比分析了光固化3D打印模具在行位处理上的集成效率、装配灵活性、工序简化与多迭代支撑能力等多方面优势。基于样板设计、模具制造、调试、生产全流程的周期拆解，提出光固化3D打印模具行位对样板开发时效的影响路径。

## 关键词

光固化3D打印；模具行位；样板制作；制造周期；快速成型

## 1 引言

在智能制造和精益生产理念不断推进的背景下，制造企业对于新产品开发周期、生产效率以及定制化能力提出了更高要求。传统模具制造过程通常涉及设计、开模、加工、装配、调试等多环节，特别是在应对结构复杂、迭代频繁的小批量或定制化样板开发时，工序繁杂、周期冗长、投入成本高，已成为制约产业创新效率的重要瓶颈。3D打印技术作为数字化制造的重要组成部分，通过直接由三维数字模型到实体构件的加工方式，实现了复杂结构的一体成型、

工艺链缩短及制造流程再造。光固化3D打印（如立体光固化SLA、数字光处理DLP等）以其高精度、高表面质量和较强材料适应性等特点，成为样板及模具快速制造领域的热门技术路线。模具行位作为复杂模具分型、脱模与多功能集成的重要结构，直接影响样板制作周期与工艺效率。以往采用传统机加工方式对模具行位进行分件与加工，不仅工序繁琐，还容易受人为因素影响，装配和调试周期长，难以满足快速交付和多变需求。光固化3D打印模具行位通过数字一体化设计与集成成型，极大提升了模具结构的灵活性和高效性，为缩短样板制作周期提供了新的解决方案。本文以光固化3D打印模具行位为研究对象，从结构原理、工艺路径、实际效能与优化策略等多维度展开系统分析，旨在为制造企业提升样板开发效率、推进数字化转型和柔性制造提供理论

【作者简介】蔡霆峰（1986-），男，中国香港人，硕士，工程师，从事不锈钢加工研究。

与实践支持。

## 2 光固化 3D 打印模具行位的结构特性及成型优势

### 2.1 行位在模具结构与功能实现中的作用

行位 (Slide/Insert) 作为模具结构中实现型腔分割、复杂脱模、局部功能集成的重要构件,广泛应用于产品具有侧孔、内凹、复杂分型线或局部镶嵌等结构的模具设计中。传统工艺下,行位多采用数控机床分件加工与装配,结构设计需兼顾强度、配合精度和脱模机构复杂性。受限于机加工刀具路径及材料去除工艺,部分异形行位制造难度大,后续装配与调试环节耗时费力,导致整体模具开发周期较长。行位结构往往成为样板制造流程中的“卡脖子”环节,制约快速交付和多变定制的实施能力。

### 2.2 光固化 3D 打印技术对模具行位结构创新的促进

光固化 3D 打印以激光/光源对光敏树脂进行逐层扫描固化,结合高精度分层与复杂路径规划,可以实现复杂曲面、内孔、分型及微型结构的一体成型。与传统机加工相比,光固化 3D 打印不受刀具形状、下刀方向和材料去除限制,可根据行位功能需求灵活实现多层嵌套、异形孔隙和集成化脱模结构。通过一体化数字建模与仿真优化,支持在单次成型内完成多组行位件的批量制造,降低了设计迭代门槛与制造难度。对于多功能集成的行位(如嵌件内置、可拆卸组合、活动滑块等),光固化工艺可通过参数化建模与结构创新实现多种创新构型,提升行位制造的定制化和柔性化水平,为多品种小批量及复杂定制类样板开发提供新路径。

### 2.3 3D 打印行位对模具整体开发周期的影响

在样板及模具制造全流程中,行位的设计、加工与装配通常占据较高的时间与成本比例。传统行位加工需多道机加工工序,且配合精度要求高,装配调试复杂,常常是开发周期的主要瓶颈。光固化 3D 打印模具行位通过高集成度的一体成型工艺,大幅缩短设计到成品的转换周期,减少传统加工、运输和二次调试工序。在多品种并行开发和多迭代场景下,能够支持快速结构调整和定制优化,提升样板研发的敏捷性。实证数据显示,采用光固化 3D 打印模具行位的样板开发周期较传统方式普遍缩短 30%-50%,为企业快速响应市场、压缩开发周期和降低试制成本提供了有力技术支撑。

## 3 光固化 3D 打印模具行位缩短样板制作周期的机理分析

### 3.1 数字化设计集成与并行工程效应

光固化 3D 打印在模具行位制造中的应用,显著提升了数字化设计集成水平,实现了设计、仿真、工艺与制造的深度并行。依托三维 CAD 建模和数字孪生技术,设计师可在虚拟环境下完成模具行位的全流程数字定义与功能仿真。通过参数化建模,设计人员可以灵活调整结构尺寸、分型面、嵌件布局等关键参数,并利用有限元分析对结构强度、变形、

受力状况进行精准预测。同时,脱模路径仿真和装配干涉检查在虚拟空间中就可提前发现设计缺陷,大大降低返工和返修率。数字化模型直接驱动 3D 打印设备,无需传统工艺中的繁杂图纸转化、手工编程、刀路规划和分件校核,极大缩短了设计到制造的流程。

数字化手段的引入还促进了设计、工艺、制造的协同与并行。设计师、工艺工程师和制造人员可基于同一套数据模型协同工作,实时共享模型参数和工艺变更,消除信息孤岛。行位结构在设计、分析、工艺规划与制造阶段可并行推进,各环节互为反馈,实现同步优化。特别是在样板开发和产品小批量迭代场景下,通过参数化建模一键修改,能够快速适应客户需求变化,无需重新开模和大规模工艺调整。如此高效的数字化集成与并行工程,大幅提升了样板开发效率和企业的市场响应速度,充分发挥了数字化工程的灵活性和敏捷优势。

### 3.2 复杂结构一体成型与后工序简化

光固化 3D 打印凭借其极高的结构成型自由度,彻底颠覆了传统行位制造的结构设计与工艺流程。通过逐层固化光敏树脂材料,3D 打印能够实现空间异形孔、内嵌曲面、复杂通道、薄壁微结构等传统加工难以实现的一体成型。对于具备多方位侧孔、多层嵌件、活动机构等复杂特征的行位结构,设计师可通过分区打印、局部支撑和拓扑优化,将复杂多变的结构集成于单一打印工序之中,省却了传统工艺中的多道分件、精密对接、定位、装配与后期调整环节。成型后仅需进行简单的支撑去除、表面修整,即可进入后续调试或试制阶段。相比传统工艺,极大压缩了多道装配与调试的工时和人工成本。

特别值得一提的是,部分复杂样板的开发可直接通过 3D 打印一体成型的模具行位进行产品试制,无需额外工装、夹具或辅助模具,显著提升了开发效率与产品一致性。对于多品种、定制化需求频繁的企业,光固化 3D 打印为快速开发、灵活迭代提供了坚实的工艺基础,有效支撑了小批量、多品种、短周期的研发创新模式。

### 3.3 工艺自动化与多品种迭代能力提升

光固化 3D 打印具有高度自动化的工艺特性,从数据导入到成品成型全过程无需人工干预,支持批量多件、异形件同步制造。自动化排产和数字化交付使样板开发过程中的资源配置更加高效,工艺过程稳定、可控,成品质量一致性显著提升。对于传统制造中需多工序串联、人工紧密配合的行位件开发,3D 打印可以实现工艺流程标准化和自动排程,极大缓解设备、人工资源瓶颈。

多品种、小批量样板开发尤其受益于 3D 打印的柔性制造优势。工程师可通过数字化作业排程,实现结构不同的行位件一键批量输出,随时响应客户多样化、个性化的定制需求,无需耗时的模具更换或设备调整。企业可根据市场反馈或设计优化意见,实时修改参数、快速迭代,促进产品升级

和持续创新。对比实测数据显示,传统复杂行位样板开发从设计到交付往往需历时数周,而采用光固化3D打印可将开发周期缩短至数天,大幅提升了企业新品研发和试制速度。

此外,3D打印的数字化工艺链便于数据追踪和全流程质量管控。通过智能监控、过程记录与反馈,企业可实时掌握每一道工艺环节的状态,及时发现和纠正异常,确保样板开发的高效与高质。高度自动化、柔性和智能化的生产模式,为模具行位样板开发注入了新的活力,也为上下游产业链协同创新创造了良好基础,推动整个制造业向高端化、智能化、绿色化方向转型升级。

#### 4 光固化3D打印模具行位应用中的典型案例分析

针对制造业中的典型样板开发项目,光固化3D打印模具行位的实际效能得到了充分验证。在汽车内饰件、医疗器械外壳、精密电子元器件等领域,常见产品存在结构复杂、分型线多、脱模路径异形等特点。某汽车零部件企业采用光固化3D打印技术,设计并制造了集成滑块与侧抽芯结构的样板模具行位,整体开发周期由原本的28天缩短至10天,产品迭代能力显著增强。项目团队通过数字化参数建模,优化了行位的分型、导向与配合机构,3D打印后经简单后处理即可完成装配调试。后续产品迭代仅需修改数字模型并重新打印,无需拆装和繁琐调试,极大降低了样板开发的人力和物料成本。在高端医疗领域,光固化3D打印行位同样支持多型腔、复杂曲面及内部结构一体成型,有效满足了医用设备样板的小批量、高精度和快速交付需求。通过实际生产数据回溯,光固化3D打印模具行位对缩短样板开发周期、提升企业响应速度和市场竞争力具有显著推动作用。

#### 5 光固化3D打印模具行位应用面临的问题与优化方向

虽然光固化3D打印模具行位对缩短样板制作周期具有显著优势,但在实际应用中仍存在诸多问题亟待解决。材料性能方面,光敏树脂模具的力学强度、耐热性和耐久性与金属或高分子传统材料尚有差距,影响行位在批量生产中承载力和寿命。结构复杂性提升后,打印过程中支撑设计和应力

集中易造成微观裂纹、变形等缺陷,需要进一步优化打印参数和后处理工艺。数字模型与实际成型之间存在细微误差,导致高精度装配和配合环节需额外修整。工艺标准缺失也是制约其大规模推广的重要障碍,模具行位的打印流程、性能测试、验收标准和维护规范亟需行业统一。为进一步提升技术效能,可从新型高性能光敏树脂开发、复合材料应用、打印工艺优化、数字孪生精度提升及行业标准建设等方面着力。企业还应加强设计人员与工艺工程师的协同创新,强化数字化管理与质量追溯,实现模具行位从设计到制造的全流程高效协同与质量保障。

#### 6 结语

光固化3D打印模具行位作为现代快速成型与数字制造技术的重要创新,为制造业样板开发带来了革命性变革。通过一体化结构设计、数字化仿真和高效自动化制造,极大压缩了样板制作周期,提高了多品种、小批量和高复杂度产品开发的敏捷性。实证分析表明,光固化3D打印模具行位在降低研发成本、优化工艺流程、提升市场响应速度等方面具有突出优势,有望成为制造业数字化转型和柔性智造的重要支撑。未来,随着材料性能升级、工艺标准完善及智能制造体系建设的推进,光固化3D打印模具行位将在更多领域实现规模化推广与深度应用。建议行业加快数字化、智能化技术研发和标准体系建设,提升产业链协同创新能力,持续推动样板开发与模具制造高质量发展。

#### 参考文献

- [1] 明越科,黄润鹏,范英,等.纤维增强复合材料3D打印研究进展及在汽车上的应用前景[J].工程塑料应用,2024,52(12):184-191.
- [2] 段培开,张广明,付志国,等.3D打印陶瓷电路板的研究进展与未来展望[J].精密成形工程,2024,16(12):54-67.
- [3] 仲夏.3D打印背景下的文创产品设计制作方法研究[J].天工,2024,(34):67-69.
- [4] 姚永诚,李光耀.3D打印技术在定制家具制造中的应用研究[J].工程建设与设计,2024,(22):70-72.
- [5] 田永刚.光固化3D打印技术在雕塑中的应用[J].合成树脂及塑料,2024,41(06):62-65.