

尤其是在较低负载条件下表现更为优异。纳米二氧化硅作为一种常见的纳米填料,其具有良好的化学稳定性、热稳定性和力学性能^[9]。通过合理控制纳米二氧化硅的分散性和聚丙烯的相容性,可以有效提高复合材料的拉伸强度、抗冲击性和耐热性。此外,纳米粘土也具有较高的强化效果,其独特的层状结构使其能够与聚丙烯基体形成较好的界面,从而提高复合材料的综合性能。纳米材料的加入不仅提升了聚丙烯的力学性能,还改善了材料的热稳定性、加工性能和抗紫外线能力,使其能够适应更多的工业需求。除此之外,功能化填料也是新型增韧材料的重要发展方向。通过表面改性和功能化设计,填料的性质得到了极大优化。例如,功能化的碳纳米管、金属氧化物、导电填料等,能够赋予聚丙烯复合材料除韧性以外的其他功能,如导电性、阻燃性、抗菌性等。这种多功能复合材料不仅在传统工业中具有广泛应用前景,在高端制造和高技术领域也表现出巨大的潜力。

4.2 绿色增韧技术的推广

随着环境保护和可持续发展的理念深入人心,绿色增韧技术逐渐成为聚丙烯增韧改性研究的主流方向。绿色增韧材料主要包括天然高分子材料、可降解塑料以及利用废弃物资源进行改性等。天然橡胶、天然植物纤维、海藻胶、淀粉等天然高分子材料作为增韧剂,不仅能够改善聚丙烯的力学性能,还能降低对环境的影响,符合环保要求。通过天然橡胶或植物纤维的加入,聚丙烯的冲击韧性和延展性得到了显著提升,同时天然材料本身具有较好的生物降解性,有助于减少塑料污染。可降解塑料的加入也成为一种绿色增韧技术。例如,将聚乳酸(PLA)、聚己内酯(PCL)等可降解材料与聚丙烯共混,能够在保持聚丙烯力学性能的同时,提高其环境友好性。这些可降解材料不仅能够提供所需的增韧效果,还能够在使用后实现生物降解,减少塑料垃圾对环境的负担。此外,废弃物资源的回收利用也是绿色增韧技术的重要方向。通过利用废弃塑料、废旧橡胶或其他工业副产品作为增韧剂,不仅能够减少资源浪费,还能降低生产成本。这种回收利用技术不仅具有环境保护意义,还有助于推动塑料产业的可持续发展。

4.3 多功能复合材料的研究

未来聚丙烯基复合材料的研究将越来越重视材料的多

功能性,特别是在要求高性能和多重功能的领域。传统的增韧改性通常只注重单一的韧性提升,而在现代工业应用中,材料的多功能性已成为一个重要的研究方向。例如,在汽车行业,除了需要高韧性和高强度的复合材料外,还需要考虑材料的阻燃性、导电性、抗紫外线性能等。因此,复合材料的功能化改性逐渐成为一个热点。未来的聚丙烯基复合材料可能不仅仅具备优异的力学性能,还能够具备其他特殊功能,如电导、磁性、抗紫外线、抗菌等特性。通过将导电填料(如碳纳米管、石墨烯等)或其他功能性材料引入聚丙烯中,可以实现复合材料在导电、电磁屏蔽等方面的应用。此外,复合材料还可以通过加入阻燃剂、抗菌剂等,赋予其阻燃性和抗菌性,从而满足不同领域对材料的特殊需求。随着研究的深入,多功能复合材料不仅能在常规应用中提供增强的力学性能,还可以为高端领域提供更加个性化的解决方案。例如,在航空航天、电子电器以及医疗器械等高技术领域,复合材料的多功能性将成为推动材料创新和产业发展的关键。

5 结语

本文综述了聚丙烯基复合材料的增韧改性方法及其对材料性能的影响。通过无机填料、有机高分子增韧剂和共混改性等手段,可以显著改善聚丙烯的力学性能、热稳定性和加工性能。未来,随着新型增韧材料和绿色增韧技术的出现,聚丙烯基复合材料的性能有望得到进一步提升,应用领域也将更加广泛。

参考文献

- [1] 鞠惠丞.SiO₂和OMMT对聚丙烯基复合材料的电学性能影响[D].哈尔滨理工大学,2024.
- [2] 李志远.马来酸酐接枝改性聚丙烯基复合材料力学与直流电性能研究[D].哈尔滨理工大学,2023.
- [3] 贾二文.聚丙烯基复合材料结构调控及增韧研究[D].浙江大学,2018.
- [4] 孙静,李剑,黄安荣,等.聚丙烯基原位微纤复合材料研究进展[J].塑料科技,2024,52(05):145-150.
- [5] 王锦清,谢紫龙,张琴,等.聚丙烯基介电复合材料的研究进展[J].塑料工业,2023,51(07):8-15.

A strategy for plastic mold rapid response to small batch market demand based on light curing 3D printing technology

Tingfeng Cai

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

Abstract

In recent years, the consumer market has witnessed intensified trends of diversification and personalization. The growing demand for small-batch customization of plastic products has exposed traditional mold manufacturing's limitations in cost efficiency, production cycle, and flexibility. Light-curing 3D printing technology, with its advantages in high precision, operational efficiency, and automation capabilities, offers innovative solutions for rapid plastic mold production and small-scale manufacturing. This paper comprehensively analyzes the core strengths and current applications of this technology in plastic mold development. Through examining process innovations, material performance, design optimization, and workflow integration, it explores effective strategies to address evolving small-batch market demands, aiming to achieve efficient, flexible, and intelligent mold manufacturing. By analyzing technical bottlenecks and practical case studies, the paper proposes forward-looking strategies and development recommendations for small-batch responsive manufacturing. Research findings demonstrate that light-curing 3D printing can significantly shorten product development cycles, reduce costs, and empower enterprises to build flexible manufacturing systems, thereby providing new momentum for industrial transformation and high-quality development.

Keywords

light curing 3D printing; plastic mold; small batch production; flexible manufacturing; rapid response

基于光固化 3D 打印技术的塑胶模具快速响应小批量市场需求策略

蔡霆峰

立强精密五金（东莞）有限公司，中国·广东 东莞 523000

摘 要

近年来，消费市场多样化和个性化趋势加剧，塑胶制品小批量定制需求愈发突出，传统模具制造在成本、周期和灵活性上的不足日益明显。光固化3D打印技术凭借高精度、高效率与自动化优势，为塑胶模具快速制造及小批量生产带来新思路。本文全面剖析该技术在塑胶模具开发中的核心优势与应用现状，从工艺创新、材料性能、设计优化、流程集成等多方面，探讨应对小批量市场需求变化的有效方法，以实现模具制造高效、柔性、智能化。通过深入研究技术瓶颈与案例实践，文章提出面向未来的小批量响应策略与发展建议。研究表明，光固化3D打印可大幅缩短产品开发周期、降低成本，助力企业构建柔性制造体系，为制造业转型升级和高质量发展提供新动力。

关键词

光固化3D打印；塑胶模具；小批量生产；柔性制造；快速响应

1 引言

随着全球消费结构的变化和制造业数字化转型进程的加快，塑胶制品行业正迎来从大批量、标准化生产向小批量、多样化和个性化定制生产的深刻转型。传统塑胶模具制造以机械加工、数控雕刻和人工装配为主，尽管成型质量高、生产效率高，但其开模成本高、开发周期长、设计更改不便等缺陷严重制约了企业在小批量、快速迭代产品市场的竞争力。近年来，以光固化 3D 打印为代表的增材制造技术

凭借其成型速度快、精度高、结构复杂件制造灵活等优点，在模具行业逐渐崭露头角。光固化 3D 打印技术通过逐层固化树脂材料，实现复杂结构塑胶模具的数字化直接制造，有效突破了传统加工的物理约束，为小批量定制市场提供了全新的制造解决方案。在当前产品生命周期不断缩短、市场需求多变的环境下，如何充分发挥光固化 3D 打印技术在塑胶模具制造中的独特价值，快速响应小批量市场需求，已成为企业持续创新和提升核心竞争力的关键课题。本文在回顾技术发展脉络和市场趋势基础上，结合典型案例，对基于光固化 3D 打印的塑胶模具快速响应策略进行深入分析，为行业提供理论支持和实践借鉴。

【作者简介】蔡霆峰（1986-），男，中国香港人，工程师，从事通过智能技术改善不锈钢加工工艺研究。

2 光固化 3D 打印技术在塑胶模具制造中的应用优势与瓶颈分析

2.1 光固化 3D 打印工艺特性及其对小批量生产的适应性

光固化 3D 打印,主要包括 SLA(光固化立体打印)、DLP(数字光处理)等工艺,采用光敏树脂在特定波长激光或投影光源作用下逐层固化成型。相比传统 CNC 加工,光固化工艺无需复杂夹具和模具,能直接由三维数字模型快速生成实体模具原型,显著提升了开发效率与结构复杂件制造能力。对于小批量和定制化塑胶件生产,光固化 3D 打印实现了模具制造的按需即制,有效减少库存和试错成本,提升产品迭代速度。其高分辨率、良好的表面质量和微细结构还原能力,为高精度、高要求的塑胶模具设计提供了强大技术支撑。该技术特别适用于多品种、少批量、周期紧迫或结构复杂的产品开发与打样场景,能够最大限度缩短从设计到成型的时间窗口。

2.2 塑胶模具光固化 3D 打印的材料及性能限制

尽管光固化 3D 打印技术在精度和灵活性上具有优势,但其材料体系目前仍以光敏树脂为主,力学性能、耐温性和耐腐蚀性较金属材料及传统高分子材料存在差距,难以满足部分高强度、高温或高频次生产的工业化需求。受限于光敏树脂的固化深度、收缩率、耐久性等因素,光固化 3D 打印模具更适合短周期、小批量、功能验证、试制打样及工装夹具等应用领域,而难以全面替代大批量、高强度的传统钢制或铝制模具。此外,后处理工艺复杂,如表面打磨、树脂残留去除、加固处理等均影响生产效率和模具使用寿命。当前研究主要集中在新型复合树脂、高性能光敏材料和纳米增强材料开发等方向,以期拓展其工业化应用范围。对于生产企业来说,需结合实际需求权衡技术路线与成本收益,发挥光固化 3D 打印的优势并规避其局限性。

2.3 数字化设计与工艺流程一体化带来的管理变革

光固化 3D 打印实现了模具制造从“数字模型”到“直接制造”的一体化流程,显著提升了生产柔性和企业对市场变化的敏捷响应能力。借助 CAD/CAE 等数字化设计工具与 3D 打印设备的无缝集成,产品的设计更改、结构优化和参数调整可以实时在线完成,使产品开发、工艺制定与实际制造高度耦合。传统模具制造往往涉及多工序切换和反复沟通,而数字化一体化流程有效简化了环节,减少了中间环节的时间和成本损耗。企业因此可以根据市场和客户需求,动态调整生产计划和工艺路线,灵活应对个性化、小批量订单,实现资源配置的最优化。这种高度集成的数字化流程,不仅提升了企业运作效率,还推动了组织结构的扁平化和管理模式创新。更重要的是,数字化一体化为设计-制造-检测-优化的闭环创新提供了有力支撑,推动模具制造向智能化、网络化和高质量发展迈进,为企业实现持续创新和高效协同打下坚实基础。

3 面向小批量市场需求的光固化 3D 打印模具柔性制造策略

3.1 小批量定制市场对模具制造的多元化要求

随着消费升级和市场细分趋势加剧,用户对产品的个性化、定制化需求日益增长,传统以大批量、标准化为核心的生产模式已难以满足现代市场需求。小批量定制市场对模具制造提出了更高要求—不仅要求交付周期更短、经济性更高,还要求企业具备快速响应和灵活调整的能力。在保证生产效率与产品质量的基础上,企业还需不断降低开模成本、提升产品迭代速度和创新能力。光固化 3D 打印技术以其支持复杂结构成型、快速更改设计和低成本开发的天然优势,极大契合了小批量市场的需求。企业可通过 3D 打印实现按需定制、批量灵活调整,为客户提供高附加值的专属解决方案。结合并行工程与敏捷制造理念,企业可在设计环节实现多方案快速迭代,在制造环节通过自动化和数字化缩短交付周期,全面提升从订单到交付的全过程柔性响应能力。这不仅加快了新产品上市步伐,也助力企业赢得差异化竞争优势,推动制造业向高质量、定制化、智能化转型升级。

3.2 快速响应策略的工艺集成与智能调度

光固化 3D 打印模具的柔性制造能力,根本上依赖于高效的信息流与工艺流集成。企业应积极建设面向客户需求的快速定制平台,打通产品设计、工艺分析、3D 打印、后处理与质量检测等全流程,实现业务数据的互联互通与高效传递。通过模块化设计理念和参数化建模方法,企业可迅速将不同客户需求转化为可 3D 打印的模具结构,利用工艺库和标准件数据库提升结构设计与工艺选择的自动化和标准化水平。智能调度系统则根据订单优先级、设备利用率和生产节点动态分配生产任务,实现生产计划的最优排程,保障各环节的高效衔接,显著减少工序等待和资源浪费。同时,自动化后处理及在线质量检测技术的引入,大幅压缩整体生产周期,提高模具成品的一致性和可追溯性。通过上述集成与优化,企业能够多品种、小批量订单实现敏捷响应与精益管控,不仅提升了生产效率和交付速度,也增强了对市场变化的快速适应能力,为客户提供高质量、高附加值的定制化服务,推动模具制造向数字化、智能化和高端化迈进。

3.3 质量控制与性能优化的关键技术

小批量定制生产对产品的一致性与性能稳定性提出了更高要求,尤其是在光固化 3D 打印模具制造中。为确保模具的尺寸精度、表面质量和结构强度,企业需建立完善的质量管理体系和技术标准,覆盖设计、制造、检测到交付的全过程。采用高分辨率三维扫描和非接触式测量等先进检测技术,实现模具全流程的质量追溯和数据留存,有效把控每一道工序。结合拓扑优化与仿真分析等数字化设计手段,可提前评估并优化模具结构的承载能力和使用寿命,减少结构薄弱点。针对光敏树脂材料易老化、强度有限的特点,企业可引入纤维增强、颗粒填充等复合材料技术,并采用局部加固、