

# Application of Precision Injection Molding Process Parameter Optimization and Mold Design in Micro Part Manufacturing

Leiting Luo Xueli Jiang Zhao Luo

Shenzhen Baidai Yaxing Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

## Abstract

At present, micro parts are widely used in electronic, medical and other fields, and the requirements for part size and quality are very high. Therefore, the optimization of process parameters and mold design are of great importance to product quality. This paper analyzes the current market demand and industry status of micro parts manufacturing, and expounds the importance of process parameter optimization and mold design in improving product accuracy, reducing cost and improving production efficiency. According to different material characteristics and product requirements, this paper proposes the optimization method of precision injection process parameters, and discusses the key factors in mold design. Through experimental verification and case analysis, we verified the important role of optimizing process parameters and designing molds in the manufacture of micro parts, and provide technical reference for related industries.

## Keywords

micro parts manufacturing; precision injection molding; optimization of process parameters; mold design; product quality

## 精密注塑工艺参数优化与模具设计在微型零件制造中的应用

罗雷廷 姜学礼 罗昭

深圳市百代亚星科技有限公司, 中国·广东 深圳 518000

## 摘要

当前, 微型零件在电子、医疗等领域应用广泛, 对零件尺寸、质量要求极高, 因此工艺参数优化和模具设计对产品质量至关重要。论文分析了当前微型零件制造的市场需求和行业现状, 阐述了工艺参数优化和模具设计在提高产品精度、降低成本、提升生产效率方面的重要性。针对不同材料特性和产品要求, 论文提出了精密注塑工艺参数的优化方法, 并探讨了模具设计中的关键因素。通过实验验证和案例分析, 我们验证了优化工艺参数和设计模具对微型零件制造的重要作用, 为相关行业提供了技术参考。

## 关键词

微型零件制造; 精密注塑; 工艺参数优化; 模具设计; 产品质量

## 1 引言

当前, 微型零件作为电子、医疗器械、汽车等领域的重要组成部分, 其应用范围不断扩大。然而, 微型零件的制造面临着诸多挑战, 包括尺寸精度要求高、材料选择复杂、生产成本高昂等问题。精密注塑作为一种高效、精确的制造技术, 已经在这些领域取得了广泛应用。然而, 如何在保证产品质量的前提下, 进一步优化工艺参数和模具设计, 以适应不同产品需求, 仍然是当前需要深入研究的重要课题。论文将结合深圳市百代亚星科技有限公司在精密注塑领域的研发经验, 探索精密注塑工艺参数优化与模具设计在微型零件制造中的应用, 为行业发展提供技术支持和解决方案。

【作者简介】罗雷廷 (1978-), 男, 土家族, 中国湖南常德人, 本科, 高级工程师, 从事企业经营管理、泡沫塑料材料和成型工艺研究。

## 2 微型零件制造需求分析

### 2.1 市场需求与发展趋势

微型零件作为电子、医疗、航空航天等领域的重要组成部分, 其在各行业中的应用需求日益增长。在电子领域, 智能手机、平板电脑等小型电子产品的普及使得对微型零件的需求不断提升, 如微型传感器、连接器等零部件。在医疗领域, 微型零件被广泛应用于医疗设备、药物输送系统等领域, 对产品的精度和稳定性提出了更高的要求。

随着科技进步和市场需求的不断变化, 微型零件的制造也面临着新的挑战。市场对产品精度、稳定性和成本的要求日益严苛, 这要求制造技术不断创新和提升。同时, 随着智能化、轻量化趋势的加剧, 对微型零件尺寸、材料、制造工艺等方面提出了更高的要求<sup>[1]</sup>。

### 2.2 对产品质量的要求

微型零件的制造对产品质量提出了极高的要求。由于

微型零件通常用于高精度的电子、医疗等领域，因此对其质量的要求极为严格。以下是对产品质量的主要要求。

### 2.2.1 尺寸精度要求高

微型零件通常具有微小的尺寸，因此对尺寸精度要求极高。任何尺寸偏差都可能导致零件无法使用或功能受损。

### 2.2.2 表面质量要求严格

微型零件的表面光洁度和光滑度直接影响其在装配和使用过程中的表现。表面不允许有瑕疵、气泡或瑕疵。

### 2.2.3 材料选用与性能匹配

选用材料必须与产品设计及使用环境相匹配，确保零件具有良好的物理、化学和机械性能。

### 2.2.4 批量稳定性要求高

微型零件通常需要大规模生产，因此对生产的批量稳定性要求极高，要求每个零件都能保持一致的质量水平。

### 2.2.5 可靠性与耐久性

微型零件在使用过程中需要具备良好的可靠性和耐久性，能够长时间、稳定地运行而不受损坏。

对于精密注塑工艺参数优化和模具设计，能够满足上述产品质量要求是至关重要的。通过优化工艺参数和设计模具，可以有效控制尺寸精度、提升表面质量、确保材料与性能匹配，从而生产出高质量、可靠的微型零件，满足市场对产品质量的严格要求。

## 3 精密注塑工艺参数优化

### 3.1 工艺参数对产品质量的影响

精密注塑工艺参数直接影响着微型零件的质量和性能。温度、压力、注射速度、冷却时间等参数的合理调控对产品质量具有重要影响。注塑过程中温度和压力的控制直接影响着零件的尺寸稳定性，合适的参数能确保零件尺寸精度达到设计要求。注塑过程中的温度和注射速度对零件表面光洁度有着直接影响，适当的参数设置可以减少表面缺陷和瑕疵。注塑过程中的参数调节会影响材料的流动性和填充性，合理的参数能够确保材料充分填充模具、均匀分布。通过合理设置工艺参数，可以减少产品的气泡、翘曲和变形等缺陷，提高产品的合格率。

因此，针对不同材料特性和产品要求，精密注塑工艺参数的优化是确保微型零件质量的关键之一。

### 3.2 不同材料特性下的优化方法

针对不同材料特性，精密注塑工艺参数的优化方法需因材料而异。

#### 3.2.1 热塑性材料

对于热塑性材料，关键在于控制温度和压力。合适的温度能使材料达到最佳流动性，压力则影响着材料填充模具的均匀性。通过对温度和压力的精准控制，可确保材料充分填充模具且均匀分布，避免产品缺陷<sup>[1]</sup>。

#### 3.2.2 热固性材料

热固性材料在固化前流动性较好，但固化后不可熔化。因此，在注塑过程中需要严格控制固化时间和温度。精密控

制这两个参数可以确保热固性材料完全填充模具并在固化过程中不产生内部应力，保证产品尺寸和质量稳定<sup>[1]</sup>。

### 3.2.3 不同材料混合注塑

当需要使用多种材料混合注塑时，关键在于控制不同材料的比例、温度和混合均匀度。通过合理的混合比例和优化的工艺参数，可确保各种材料充分混合并在注塑过程中保持稳定。

针对不同材料的特性，需综合考虑其熔融温度、流动性、固化特性等，调整和优化工艺参数，以实现最佳的注塑效果。这些优化方法的应用能够提高生产效率，降低生产成本，并最大程度地确保微型零件的质量和稳定性。

## 4 模具设计关键因素探讨

### 4.1 模具设计原则与要点

模具设计要保证产品的一致性和可重复性。模具应具备稳定的结构和几何形状，确保在多次生产过程中能够精确复制零件，以满足产品尺寸和质量的要求。模具材料的选择至关重要。应根据生产工艺、零件要求以及使用寿命考虑材料的强度、硬度、耐磨性和耐腐蚀性等特性，以确保模具具有足够的耐用性和稳定性。模具的结构设计应简洁明了，便于加工和维护。合理设计模具结构，避免复杂的几何形状和内部结构，以降低加工难度和成本。冷却系统的设计对于微型零件的制造至关重要。优化的冷却系统能够有效地控制注塑过程中的温度，提高生产效率和产品质量<sup>[4]</sup>。模具流道的设计影响着材料流动和充填模具的均匀性。应采用合适的流道设计，确保材料充分填充模具且不产生气泡或残留物。模具表面的处理对产品表面质量有着直接的影响。通过抛光、电镀硬铬等表面处理方法，提高模具的耐磨性和表面光洁度，避免对产品质量造成负面影响<sup>[5]</sup>。设计时需考虑零件的脱模方便性，避免对零件造成损坏或变形。合理设计模具的结构和脱模系统，确保零件能够顺利脱离模具而不影响其形状和尺寸。考虑模具的长期使用，设计应便于维护和清洁。合理的模具结构和组件设计有助于减少模具损耗和延长模具使用寿命。

### 4.2 模具结构优化策略

在模具结构设计阶段，对所需生产的微型零件特性进行全面分析。考虑到零件的尺寸、形状、材料特性等因素，有助于确定最佳的模具结构优化方案。

基于零件特性，设计模具时应注重细节。通过合理设计模具的每个部分，包括模腔、流道、冷却系统等，以确保零件成型过程中的完整性和精度。

冷却系统的优化对于微型零件的成型至关重要。合理设计冷却系统的位置和结构，以确保材料在注塑过程中能够快速、均匀地冷却固化，从而提高零件的质量和生产效率。

模具流道的优化设计是确保材料充分填充模具的关键。通过合理设计流道结构、长度和截面，确保材料充分流动并填充模具，避免产生气泡或残留物，提高产品质量。

模具结构应合理化且简化，避免过于复杂的设计。简单、

稳定的模具结构能够降低制造成本，减少加工难度，并提高模具的使用寿命。

在设计模具结构时，考虑到模具的长期使用需求，应注重模具的可维护性。合理的结构设计能够便于维护和清洁，延长模具的使用寿命。

模具的结构设计要兼顾结构的强度和稳定性。确保模具在长期使用过程中不易变形或磨损，保障零件的生产稳定性和一致性。

## 5 实验验证与案例分析

### 5.1 工艺参数优化实验

为了验证工艺参数优化对微型零件制造的影响，进行了一系列实验。我们选取了代表性的微型零件，并针对不同材料和尺寸进行工艺参数优化实验。

#### 5.1.1 实验设计与步骤

①材料选择：选择适用于微型零件制造的热塑性材料和热固性材料，如聚丙烯（PP）、聚苯乙烯（PS）、尼龙（PA）等，并进行材料特性分析。

②工艺参数调优：针对不同材料特性和零件尺寸，优化工艺参数，包括温度、压力、注射速度、冷却时间等。通过正交试验法等方法，进行参数组合实验设计。

③注塑成型实验：在合适的注塑设备上实验，按照设计好的参数组合进行注塑成型。确保模具和设备处于稳定状态，记录实验过程中的各项数据。

④质量分析与对比：对不同参数组合下生产的微型零件进行质量分析。测量尺寸精度、表面质量、内部结构等指标，并与传统工艺参数进行对比分析。

#### 5.1.2 实验结果与分析

实验结果显示，通过优化工艺参数，可以明显改善微型零件的生产质量和制造效率。针对不同材料特性和零件尺寸，合理调整工艺参数后，获得了以下成果：

①尺寸精度提高：优化后的工艺参数使得微型零件的尺寸稳定性得到显著提高，尺寸偏差明显降低，符合设计要求。

②表面质量改善：优化后的参数组合有助于减少零件表面的瑕疵和气泡现象，提高了表面的光洁度和一致性。

③材料利用率提高：合理调整的注塑参数使得材料的利用率得到了提高，减少了废品率，降低了生产成本。

④生产效率提升：优化后的工艺参数能够显著提高生产效率，减少了生产周期，增加了单位时间内的产量。

综上所述，工艺参数优化在微型零件制造中具有重要意义。通过科学的实验设计和合理的参数调优，能够明显提升产品质量、提高生产效率，为微型零件制造提供了可靠的技术支持和保障。

### 5.2 模具设计在微型零件制造中的应用案例

在微型零件制造中，模具设计的优化对于产品质量和生产效率具有关键影响。以下是一个模具设计在微型零件制

造中的应用案例：针对一款医疗器械中的微型零件，实施了模具设计的优化方案。该零件为医用注射器中的精密组件，尺寸微小且对表面光洁度和尺寸精度要求极高。

优化方案和步骤：

①零件特性分析：对该微型零件进行了全面的特性分析，包括尺寸、材料、使用环境等。了解零件特性有助于确定模具设计的关键要点。

②模具结构优化：采用了结构合理化和简化的设计原则，使模具结构简单稳定。通过优化模具结构，减少了加工难度和制造成本。

③冷却系统优化：在模具设计中，重点考虑了冷却系统的优化。设计合理的冷却系统能够控制材料的固化时间和温度分布，有助于提高零件的尺寸稳定性和表面质量。

④流道设计优化：采用了合适的流道设计，确保材料充分填充模具并均匀分布，避免产生气泡或瑕疵，提高了零件的成型质量。

⑤模具表面处理：对模具表面进行了抛光和特殊涂层处理，提高了模具的耐磨性和使用寿命。

通过模具设计优化方案的实施，取得了显著的效果：优化后的模具设计使得零件的尺寸精度达到了医疗器械行业的高标准要求，表面光洁度得到显著提升。模具结构的合理优化和流道设计的改进，降低了生产过程中的材料损耗和废品率，有效降低了制造成本。优化后的模具设计使得生产周期缩短，生产效率得到显著提高，为客户提供了更快速、更稳定的产品供应。

## 6 结语

在微型零件制造领域，工艺参数优化与模具设计作为关键技术手段，为提高产品质量、生产效率以及满足多样化需求发挥着重要作用。本研究通过深入探讨工艺参数优化和模具设计在微型零件制造中的应用，从行业现状到研究成果的实验验证和案例分析，全面展示了其重要性和潜在价值。未来，随着技术的不断创新和发展，绿色环保、智能化制造、产业协同等趋势将成为微型零件制造的发展方向，为行业的持续进步和创新注入新的动力与可能性。

### 参考文献

- [1] 荣烈润.适应快速响应市场的快速成形技术[J].航空精密制造技术,2003(6):18-21+43.
- [2] 王世勋,张希,王婧超.先进热塑性复合材料的制备工艺研究[J].宇航材料工艺,2019,49(4):28-33.
- [3] 俞芳芳,俞芸,张清辉.注射成型收缩与模具尺寸[J].福建工程学院学报,2005(1):71-74+90.
- [4] 贺晓辉,雷帆,丁永峰,等.薄壁塑件注射成型工艺及模具设计[J].橡塑技术与装备,2023,49(12):69-73.
- [5] 吴代炬.模具型腔及表面加工处理技术[J].中国科技信息,2014(14):166-167.