

# 热塑性塑料与热固性塑料的加工工艺比较

胡梁

1 金达科技股份有限公司, 河北省沧州市, 061001;

2 河北省塑料包装材料工程技术创新中心, 河北省沧州市, 061001;

**摘要:** 本文系统比较了热塑性塑料与热固性塑料的分子结构、加工机理、工艺方法、工艺参数及质量控制要点, 重点分析了二者在成型周期、设备投资、能耗、回收利用率等方面的差异, 并探讨了性能、经济性及可持续发展的综合优势。研究表明, 热塑性塑料具有加工灵活、可回收性强、适合大规模连续化生产的特点, 而热固性塑料则以高强度、耐热性和尺寸稳定性见长, 更适合高性能结构件。研究结论可为材料选型、工艺优化和绿色制造提供参考。

**关键词:** 热塑性塑料; 热固性塑料; 加工工艺; 性能比较; 可持续制造

**DOI:** 10.69979/3029-2727.25.12.073

## 1 热塑性塑料概述

### 1.1 分子结构与性能特点

热塑性塑料的分子结构主要是线性或者有少量支化。分子链之间主要靠范德华力或者氢键连着, 没有化学交联点。所以受热的时候, 分子链能自由运动, 材料就有明显的可熔融性和可塑性。这种结构让热塑性塑料有可逆的加工特性。就是加热的时候, 它会从玻璃态或者高弹态变成黏流态, 冷却后又变回固态。而且它能多次加热 - 冷却循环, 不会有明显降解。在性能方面, 热塑性塑料一般密度比较低, 电绝缘性、耐化学腐蚀性和成型加工性都不错, 还有一定的韧性和延展性, 适合做形状复杂的制品。不过, 因为它没有交联结构, 所以耐热性和尺寸稳定性比较差, 热变形温度和耐蠕变能力都不如热固性塑料。要是用在高温环境里, 就得对它进行改性或者选高性能工程塑料。

### 1.2 常见类型及应用

热塑性塑料有很多种, 按照结晶性可以分成无定形塑料和结晶型塑料。无定形塑料有聚苯乙烯 PS、聚碳酸酯 PC、丙烯腈 - 丁二烯 - 苯乙烯共聚物 ABS 这些。结晶型塑料有聚乙烯 PE、聚丙烯 PP、聚甲醛 POM、尼龙 PA 这些。无定形热塑性塑料一般透明度高, 尺寸精度高, 成型收缩率小, 适合用来制造光学元件、透明外壳还有精密结构件<sup>[1]</sup>。结晶型热塑性塑料有比较高的耐磨性、耐疲劳性和化学稳定性, 在承力结构件和耐腐蚀管道方面用得很多。在应用领域上, 热塑性塑料用在日用消费品、汽车零部件、电子电器外壳、管道、薄膜、医疗器械等很多行业。特别是在注塑、挤出、吹塑等能连续化、

大规模生产的场合。

## 2 热固性塑料概述

### 2.1 分子结构与性能特点

热固性塑料的分子结构主要是高度交联的三维网状结构。在加工的时候, 它会经历不可逆的化学反应, 像缩聚、加成或者交联, 从低分子量的预聚物变成空间交联的固体材料。一旦固化好了, 分子链就被化学键牢牢固定住, 受热也不会重新熔化, 只能在高温下分解或者炭化, 有很好的热稳定性和尺寸稳定性。交联结构让热固性塑料刚性高、强度大、耐热性和耐溶剂性都不错, 能在比较高的温度下保持力学性能不怎么下降, 还有良好的电绝缘性和耐化学腐蚀性, 不过这种不可逆交联也有缺点, 即脆性大、冲击韧性差, 无法再加工回收。加工的时候必须在规定的温度和时间条件下完成固化, 不然制品性能就不好或者直接报废了。

### 2.2 常见类型及应用

常见的热固性塑料有酚醛树脂 (PF)、环氧树脂 (EP)、不饱和聚酯树脂 (UP)、氨基树脂 (UF、MF) 还有有机硅树脂等。酚醛树脂耐热、耐腐蚀, 经常用在制动片、耐热电器部件和模塑粉上。环氧树脂黏结性和机械强度都很好, 在电子元器件灌封、结构胶黏剂、复合材料基体方面用得很广。不饱和聚酯树脂固化收缩小, 适合做玻璃钢制品、汽车船舶部件。氨基树脂表面硬度高、耐刮擦, 用在装饰板材、涂料上。有机硅树脂耐高温、耐候性特别好, 用在航空航天和高温电气绝缘方面。热固性塑料大多用在需要高强度、耐热性和长期尺寸稳

定性的地方,像电子电气、汽车发动机舱、化工设备内衬、航空航天结构件等,是高性能复合材料重要的基体树脂。

### 3 加工工艺比较

#### 3.1 成型原理比较

热塑性塑料的成型原理主要靠物理相变。它的分子结构是线性或者轻度支化的,受热的时候会进入黏流态,冷却之后又会恢复到玻璃态或者半结晶态。所以,热塑性塑料的成型过程就是一个“熔融—充模—冷却—脱模”的物理过程,不会涉及化学反应。这个特点让材料可以多次循环加热和成型,回收再利用率高,适合大规模连续化生产。成型时的关键工艺参数主要有熔体温度、模具温度、注射或者挤出压力、保压时间、冷却时间等,要综合考虑流动性、收缩率和残余应力,这样才能保证制品的尺寸精度和力学性能。

热固性塑料是依靠化学交联反应来实现成型的,属于“化学反应固化”过程。在模腔里,预聚物通过加热或者催化剂的作用,开始缩聚或者交联,逐渐形成不可逆的三维网络结构,然后完成固化。成型过程中必须严格控制升温速率、保温时间和固化压力,不然会出现交联不完全、有气泡夹杂或者内应力过大的问题。和热塑性塑料不一样,热固性塑料一旦固化就没办法再次熔融了,所以对一次成型的精度和工艺控制要求更高,加工窗口比较窄,对操作规范和设备精度的要求也更严格。

#### 3.2 工艺方法比较

热塑性塑料常用的成型方法有注塑、挤出、吹塑、真空成型、热压成型等,其中注塑和挤出是最常见的工艺。注塑成型的优点是生产效率高、自动化程度高、制品精度好,适合做复杂形状的制品;挤出成型适合连续生产管材、型材、薄膜等制品,效率非常高。因为材料可以重复加热,生产过程中的废料可以回收再利用,降低了综合成本。工艺方法比较灵活,这让热塑性塑料能在汽车、家电、电子等行业大规模应用。

热固性塑料大多采用模压、传递模塑、反应注射成型(RIM)、层压成型和浇注成型等方法。其中模压工艺是通过加热模具和施加高压,让材料在模腔里固化成型,适合生产耐热、高强度的制品;反应注射成型可以把低黏度预聚物高速混合后注入模腔原位反应,成型周期短、制品性能均匀,在汽车保险杠、复合材料外壳等方面应用很广泛。热固性塑料的工艺普遍成型周期比较长,而且不能回收再加工,不过它的制品耐热性、尺寸稳定性比热塑性制品好,更适合做高端结构件<sup>[2]</sup>。

#### 3.3 工艺参数与设备差异

热塑性塑料的加工设备大多是注塑机、挤出机、吹塑机等,重点在于螺杆塑化能力、模具温控和锁模力。关键工艺参数有熔体温度、螺杆转速、注射压力、模温以及冷却速率,控制好了可以减少收缩变形、内应力和翘曲。生产线可以实现高度自动化,适合大批量生产。设备投资成本相对比较高,但是因为生产节拍短、能耗低、材料可以回收利用,综合生产成本比较低。

热固性塑料成型设备有模压机、RIM 设备、热压釜等。这些设备得有比较精确的温控系统和压力控制系统,这样才能保证化学反应完全固化。固化过程一般会伴随放热反应,所以要精确控制升温速率和模腔温度,不然会出现局部过热或者固化不均匀的情况。热固性塑料成型设备比热塑性塑料成型设备更复杂,能耗也更高,而且模具得耐高温、耐腐蚀,模具制造成本挺高的。成型周期长也让单件生产成本增加了,所以热固性塑料一般用在高附加值制品或者性能要求很高的场合。

#### 3.4 缺陷及质量控制

热塑性塑料成型常见的缺陷有气泡、缩孔、流痕、翘曲和应力开裂。要控制质量,主要是优化浇口和流道设计,合理设置注射速度和保压压力,控制模温和冷却速率,还可以通过退火工艺消除残余应力。另外,在线监控熔体压力和温度,能让制品质量更稳定,提高成品率。

热固性塑料的缺陷大多是固化不完全、有气泡夹杂、有内应力裂纹或者表面焦化。控制热固性塑料质量的关键是精确控制固化工艺参数,保证反应充分又均匀,避免因局部过热导致降解或者脆化。真空辅助脱泡、分段升温固化和模具排气设计对提高制品质量很重要。和热塑性塑料比起来,热固性塑料的质量控制更依靠工艺工程师的经验和固化曲线优化,生产过程得建立严格的工艺规范和监控体系。

#### 3.5 工艺适应性与自动化水平比较

从工艺适应性来说,热塑性塑料的加工窗口比较宽,二次加工性能也不错,能适应多种成型方式和不同规模的生产线。因为热塑性塑料可以重复加热软化,所以制品能通过焊接、热弯、二次注塑等工艺进行装配和修复,这大大提高了设计灵活性和材料利用率。在自动化方面,热塑性塑料成型设备已经高度模块化了,可以和机器人、传感器和 MES 系统集成,实现在线监控和闭环控制,让生产稳定性和良品率大幅提升。相比之下,热固性塑料的成型工艺窗口比较窄,对温度、压力和固化时间的偏

差特别敏感,稍微有点不当就可能导致固化不完全或者性能下降,最后产品就报废了。热固性塑料的固化过程是不可逆的,二次加工或者返修很难,所以设计和生产的时候必须一次成型达标,对工艺管理水平要求更高。

### 3.6 环境影响与可持续性分析

在绿色制造和可持续发展的大环境下,热塑性塑料有很大的环保优势。它可以回收再利用,废料还能重新熔融使用,这样就能降低原材料的消耗,也能减轻废弃物处理的压力,很符合循环经济的要求。现在,部分高性能热塑性复合材料,像碳纤维增强 PA、PEEK,已经成了可回收航空航天复合材料的重要发展方向。

而热固性塑料就有所不同,固化之后,因为有三维交联结构,没办法再熔融。它的回收主要靠机械粉碎后填充利用,或者热解化学回收。不过这些工艺很复杂,能耗也高,回收率还低,这就成了制约它可持续发展的大问题。

### 3.7 工艺优化与智能化趋势

近年来,制造业朝着智能化和数字化转型,热塑性和热固性塑料的加工工艺也在不断优化升级。热塑性塑料的注塑、挤出等设备,已经逐步引入了闭环控制系统。通过实时监测熔体温度、压力、螺杆扭矩和模具温度,就能动态调整工艺参数,这样能大大减少制品的尺寸偏差和内应力。同时,计算机辅助工程(CAE)仿真软件也用得很广泛,它可以用来分析熔体流动、预测翘曲和设计冷却系统,能帮助工程师在设计阶段优化浇口位置、流道布局和模具温控方案,缩短试模周期,降低废品率。

热固性塑料工艺的优化,更多是集中在固化动力学和固化曲线设计上。通过差示扫描量热(DSC)和流变学分析,能建立精确的固化动力学模型,实现模压或反应注射成型的精准温控与分段固化。真空辅助固化、微波加热、光固化等新技术的应用,让固化时间大大缩短,提高了树脂浸润性和制品内部质量。未来,随着工业互联网和 AI 技术的发展,热固性塑料的固化工艺能实现智能监测和预测控制,让制品的一致性和可靠性进一步提高。

## 4 性能与经济性比较

### 4.1 力学性能与热性能差异

热塑性塑料的分子结构主要是线性链或者少量支化链,分子链之间的作用力比较弱。所以这种材料的韧性、延展性和抗冲击性都很好,在低温环境下也能保持

一定的塑性和韧性。它适合用来制造需要吸收冲击能量或者承受动态载荷的制品,像汽车保险杠、运动器材壳体、管道这些。不过,热塑性塑料的耐热性和尺寸稳定性比较差。当使用温度接近它的玻璃化转变温度或者熔点时,它很容易软化变形,力学强度也会明显下降。长时间承载的话,还可能会发生蠕变。相比之下,热固性塑料有高度交联的三维网状结构,它的刚性大、硬度高、热变形温度高。在较高温度下,它能保持力学性能,不会有明显的衰减,尺寸稳定性很好,耐蠕变性能也很突出。所以它特别适合制造在高温环境下长期使用的结构件和绝缘部件。但是它的脆性比较大,缺口冲击韧性差,很容易发生脆性断裂。在受到强冲击或者振动的情况下,需要通过改性或者增强纤维复合来提高韧性

### 4.2 加工成本与生产周期

热塑性塑料的加工主要是物理相变,成型周期短,生产效率高。而且废料和边角料可以回收再利用,材料利用率高,这样有利于降低综合成本。注塑、挤出、吹塑这些工艺可以实现连续化、自动化生产,单位时间的产出高,适合大批量生产,综合经济性比较好。虽然它的成型设备投资成本比较高,但是因为生产节拍快,能耗相对较低,算到单件产品成本的时候更有优势。

热固性塑料就不一样了,它的加工需要经历化学反应固化过程,成型周期长,能耗高。而且制品一旦固化就没法重新加工,废品报废率对生产成本影响很大。模具制造成本也高,对温控和压力控制要求很严格,这就增加了设备维护和操作成本。所以,热固性塑料更适合生产批量中等、性能要求高的制品,不太适合超大规模、低成本的通用制品生产。

## 5 结语

通过对热塑性塑料与热固性塑料的加工工艺、性能和经济性的全面比较,可以看出二者各有优势和局限。热塑性塑料适合大批量、快速成型及可回收利用场景,而热固性塑料更适合高强度、耐高温和尺寸稳定性要求严苛的应用。

### 参考文献

- [1] 郑红伟,张泽凯,郭增贤,等.碳纤维增强热塑性工程塑料研究进展[J].塑料科技,2025,53(1):180-185.
- [2] 关明宇.热固性塑料注射模具烧焦问题浅析[J].机械工业标准化与质量,2024(8):41-43.