




第一篇

模具工程师必备的 基础知识



1

模具塑料及成型工艺

1.1 模具塑料

塑料在日常用品和工业上被广泛应用，在有些环境下还可以替代钢铁，比如有些弯管，发动机里以前用铸铁制造的零件，现在有些也可用塑料代替，工业上经常会提出“以塑代钢”设计，这样会使模具产品更轻便、耐用。

1.1.1 塑料的概述

塑料是以高分子合成树脂为主要成分，加入其它助剂而构成的人造材料，具有质量轻，强度高，耐腐蚀性好，耐热性、耐寒性、绝缘性能好，具有良好的力学性能，可塑性良好，易于成型，无污染等特点。因此在机械、医学、日常生活等领域中得到了广泛的应用。

1.1.2 塑料的分类

目前，塑料品种已达 300 多种，常见的约 30 多种。根据塑料的成型用途、工艺性能和加工方法可以对塑料进行分类。

1. 按“用途”分类

塑料可分为通用塑料、工程塑料和特种塑料三种。通用塑料常见的如 PE（聚乙烯）、PP（聚丙烯）、PS（聚苯乙烯）、PVC（聚氯乙烯）等；工程塑料常见的如 ABS、PA（俗称尼龙）、PC（聚碳酸酯）、POM（聚甲醛）、PMMA（有机玻璃）等；特种塑料是指具有特种功能（如导电、导磁和导热等），可用于航天航空等特殊应用领域的塑料，常见的如

氟塑料盒有机硅等。

2. 按“成型工艺性能”分类

塑料可分为热固性塑料和热塑性塑料两种。热固性塑料指冷却凝固成型后不可以重新融化的塑料，如酚醛塑料、脲醛塑料和环氧树脂等；热塑性塑料指在特定温度范围内能反复加热软化和冷却硬化的塑料，通用塑料和工程塑料都属于热塑性塑料。

3. 按“加工方法”分类

根据各种塑料不同的加工成型分类，可以分为膜压、层压、注塑、挤出、吹塑和反应注塑塑料等多种类型。膜压塑料多为物性的加工性能与一般固性塑料相类似的塑料；层压塑料是指浸有树脂的纤维织物，经叠合、热压而结合成为整体的塑料；注塑、挤出和吹塑多为物性和加工性能与一般热塑性塑料相类似；反应注塑塑料是将液态原料注入型腔内，使其反应固化成一定形状制品的塑料，如聚氨酯。

1.1.3 塑料的性能

塑料的性能主要是指塑料在成型工艺过程中所表现出来的成型特征。在模具设计过程中，要充分考虑这些因素对塑料成型过程和成型效果的影响。

1. 塑料的收缩性

塑料制品的收缩不仅与塑料本身的热胀冷缩有关，而且与模具结构及成型工艺条件等因素有关，将塑料制品的收缩称为成型收缩，以收缩率表示收缩性的大小，即单位长度塑料制品收缩量的百分数。

设计模具型腔尺寸时，应该按塑料的收缩性进行设计，在注塑成型过程中控制好模型、注塑压力、注塑速度及冷却时间等因素以控制零件成型后的最终尺寸。

2. 塑料的流动性

塑料的流动性是指在流动过程中，塑料熔体在一定温度和压力作用下填充型腔的能力。

流动性差的塑料，在注塑成型时不易填充型腔，易产生缺料，在塑料熔体交汇处不能很好地熔接而产生熔接痕。这些缺陷会导致零件的报废，反之，若材料的流动性好，注塑成型时容易产生飞边和流延现象。浇注系统的形式、尺寸和布置，包括型腔的表面粗糙度、浇道截面厚度、型腔形式、排气系统和冷却系统等模具结构都对塑料的流动性有重要影响。

3. 塑料的取向和结晶

取向是由于各向异性导致塑料在各个方向上收缩不一致的现象。影响取向的因素主要有塑料品种、制品壁厚和温度等。除此之外，模具的浇口位置、数量和断面大小对塑料制品的取向方向、取向程度和各个部位的取向分子情况也有重大影响，是模具设计时必须重视的问题。

结晶是塑料中树脂大分子的排列呈三向远程有序的现象，影响结晶的主要因素有塑料

类型、添加剂、模具温度和冷却速度。结晶对于塑料的性能有重要影响，因此，在模具设计和塑件成型过程中应予以特别注意。

4. 热敏性

热敏性是指塑料在稳定变化后，对塑料性能的改变情况，如热稳定性。热稳定性差的塑料，在高温受热条件下，若浇口截面过小，剪切力过大或料温增高就容易发生变色、降解和分解等情况。为防止热敏性塑料材料出现过热分解现象，可以采取加入稳定剂、合理选择设备、合理控制成型温度及成型周期和及时清理设备等措施。

1.2 模具成型工艺

模具成型工艺主要包括原理、过程及参数三个部分。

1.2.1 注塑成型工艺原理

注塑成型又称注射成型，是热塑性材料常用的加工方法之一。借助螺杆（或柱塞）的推力，将已塑化好的熔融状态（即粘流态）的塑料注射入闭合好的模腔内，经固化定型后取得制品的工艺过程，如图 1.2.1 所示为塑料的熔化原理图。

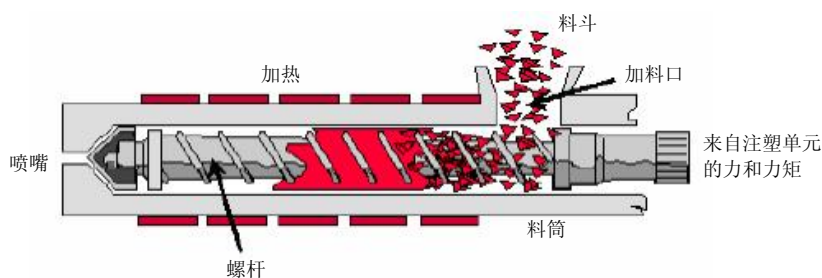


图 1.2.1 塑料熔化原理图

注射成型是一个循环过程，每一周期主要包括：定量加料—熔融塑化—施压注射—充模冷却—起模取件，取出塑件后又再闭模，进行下一个循环。

1.2.2 注塑成型工艺过程

塑件的注塑成型工艺过程主要包括填充—保压—冷却—脱模等 4 个阶段，这 4 个阶段直接决定着制品的成型质量，而且这 4 个阶段是一个完整的连续过程。

1. 填充阶段

填充是整个注塑循环过程中的第一步，时间从模具闭合开始注塑算起，到模具型腔填充到大约 95% 为止。理论上，填充时间越短，成型效率越高，但是实际中，成型时间或者

注塑速度要受到很多条件的制约。

(1) 高速填充。高速填充时剪切率较高, 塑料由于剪切变稀的作用而存在粘度下降的情形, 使整体流动阻力降低; 局部的粘滞加热影响也会使固化层厚度变薄。因此在流动控制阶段, 填充行为往往取决于待填充的体积大小。即在流动控制阶段, 由于高速填充, 熔体的剪切变稀效果往往很大, 而薄壁的冷却作用并不明显, 于是速率的效用占了上风。

(2) 低速填充。热传导控制低速填充时, 剪切率较低, 局部粘度较高, 流动阻力较大。由于热塑料补充速率较慢, 流动较为缓慢, 使热传导效应较为明显, 热量迅速为冷模壁带走。加上较少量的粘滞加热现象, 固化层厚度较厚, 又进一步增加壁部较薄处的流动阻力。

由于喷泉流动的原因, 在流动波前面的塑料高分子链排向几乎平行在流动波前。因此两股塑料熔胶在交汇时, 接触面的高分子链互相平行; 加上两股熔胶性质各异(在模腔中滞留时间不同, 温度、压力也不同), 造成熔胶交汇区域在微观上结构强度较差。在光线将零件摆放在适当的角度用肉眼观察, 可以发现有明显的接合线产生, 这就是熔接痕的形成机理。熔接痕不仅影响塑件外观, 同时由于微观结构的松散, 易造成应力集中, 从而使得该部分的强度降低而发生断裂。

一般而言, 在高温区产生熔接的熔接痕强度较佳, 因为高温情形下, 高分子链活动性较佳, 可以互相穿透缠绕, 此外高温区域两股熔体的温度较为接近, 熔体的热性质几乎相同, 增加了熔接区域的强度; 反之在低温区域, 熔接强度较差。

2. 保压阶段

保压阶段的作用是持续施加压力, 压实熔体, 增加塑料密度(增密), 以补偿塑料的收缩行为。在保压过程中, 由于模腔中已经填满塑料, 背压较高。在保压压实过程中, 注塑机螺杆仅能慢慢地向前作微小移动, 塑料的流动速度也较为缓慢, 这时的流动称作保压流动。由于在保压阶段, 塑料受模壁冷却而固化加快, 熔体粘度增加也很快, 因此模具型腔内的阻力很大。在保压的后期, 材料密度持续增大, 塑件也逐渐成型, 保压阶段要一直持续到浇口固化封口为止, 此时保压阶段的模腔压力达到最高值。

在保压阶段, 由于压力相当高, 塑料呈现部分可压缩特性。在压力较高区域, 塑料较为密实, 密度较高; 在压力较低区域, 塑料较为疏松, 密度较低, 因此造成密度分布随位置及时间发生变化。保压过程中塑料流速极低, 流动不再起主导作用; 压力为影响保压过程的主要因素。保压过程中塑料已经充满模腔, 此时逐渐固化的熔体作为传递压力的介质。模腔中的压力借助塑料传递至模壁表面, 有撑开模具的趋势, 因此需要适当的锁模力进行锁模。涨模力在正常情形下会微微将模具撑开, 对于模具的排气具有帮助作用; 但若涨模力过大, 易造成成型品毛边、溢料, 甚至撑开模具。因此在选择注塑机时, 应选择具有足够大锁模力的注塑机, 以防止涨模现象并能有效进行保压。

3. 冷却阶段

在注塑成型模具中，冷却系统的设计非常重要。这是因为成型塑料制品只有冷却固化到一定刚性，脱模后才能避免塑料制品因受到外力而产生变形。由于冷却时间约占整个成型周期的 70%~80%，因此设计良好的冷却系统可以大幅缩短成型时间，提高注塑生产率，降低成本。设计不当的冷却系统会使成型时间拉长，增加成本；冷却不均匀更会进一步造成塑料制品的翘曲变形。

根据实验，由熔体进入模具的热量大体分两部分散发，一部分有 5% 经辐射、对流传递到大气中，其余 95% 从熔体传导到模具。塑料制品在模具中由于冷却水管的作用，热量由模腔中的塑料通过热传导经模架传至冷却水管，再通过热对流被冷却液带走。少数未被冷却液带走的热量则继续在模具中传导，至接触外界后散溢于空气中。

注塑成型的成型周期由合模时间、充填时间、保压时间、冷却时间及脱模时间组成。其中以冷却时间所占比重最大，大约为 70%~80%。因此冷却时间将直接影响塑料制品成型周期长短及产量大小。脱模阶段塑料制品温度应冷却至低于塑料制品的热变形温度，以防止塑料制品因残余应力导致的松弛现象或脱模外力所造成的翘曲及变形。

影响制品冷却速率的因素有：

(1) 塑料制品设计方面。主要是塑料制品壁厚。制品厚度越大，冷却时间越长。一般而言，冷却时间约与塑料制品厚度的平方成正比，或是与最大流道直径的 1.6 次方成正比。即塑料制品厚度加倍，冷却时间增加 4 倍。

(2) 模具材料及其冷却方式。模具材料，包括模具型芯、型腔材料以及模架材料对冷却速度的影响很大。模具材料热传导系数越高，单位时间内将热量从塑料传递而出的效果越佳，冷却时间也越短。

(3) 冷却水管配置方式。冷却水管越靠近模腔，管径越大，数目越多，冷却效果越佳，冷却时间越短。

(4) 冷却液流量。冷却水流量越大（一般以达到紊流为佳），冷却水以热对流方式带走热量的效果也越好。

(5) 冷却液的性质。冷却液的粘度及热传导系数也会影响到模具的热传导效果。冷却液黏度越低，热传导系数越高，温度越低，冷却效果越佳。

(6) 塑料选择。塑料的热传导系数是指塑料将热量从热的地方向冷的地方传导速度的量度。塑料的热传导系数越高，代表热传导效果越佳，或是塑料比热低，温度容易发生变化，因此热量容易散逸，热传导效果较佳，所需冷却时间较短。

(7) 加工参数设定。料温越高，模温越高，顶出温度越低，所需冷却时间越长。

冷却系统的设计规则：所设计的冷却通道要保证冷却效果均匀而迅速。设计冷却系统的目的在于维持模具适当而有效率的冷却。冷却孔应使用标准尺寸，以方便加工与组装。

设计冷却系统时,模具设计者必须根据塑件的壁厚与体积决定下列设计参数——冷却孔的位置与尺寸、孔的长度、孔的种类、孔的配置与连接以及冷却液的流动速率与传热性质。

4. 脱模阶段

脱模是一个注塑成型循环中的最后一个环节。虽然制品已经冷固成型,但脱模还是对制品的质量有很重要的影响,脱模方式不当,可能会导致产品在脱模时受力不均,顶出时引起产品变形等缺陷。脱模的方式主要有两种:顶杆脱模和脱料板脱模。设计模具时要根据产品的结构特点选择合适的脱模方式,以保证产品质量。对于选用顶杆脱模的模具,顶杆的设置应尽量均匀,并且位置应选在脱模阻力最大以及塑件强度和刚度最大的地方,以免塑件变形损坏。而脱料板一般用于深腔薄壁容器以及不允许有推杆痕迹的透明制品的脱模,这种机构的特点是脱模力大且均匀,运动平稳,无明显的遗留痕迹。

1.2.3 注塑成型工艺参数

塑件的注塑成型工艺中影响产品质量的参数包括压力、时间与温度等。

1. 注塑压力

注塑压力是由注塑系统的液压系统提供的。液压缸的压力通过注塑机螺杆传递到塑料熔体上,塑料熔体在压力的推动下,经注塑机的喷嘴进入模具的竖流道(对于部分模具来说也是主流道)、主流道、分流道,并经浇口进入模具型腔,这个过程即为注塑过程,或者称之为填充过程。压力的存在是为了克服熔体流动过程中的阻力,或者反过来说,流动过程中存在的阻力需要注塑机的压力来抵消,以保证填充过程顺利进行。

在注塑过程中,注塑机喷嘴处的压力最高,以克服熔体全程中的流动阻力。其后,压力沿着流动长度往熔体最前端波前处逐步降低,如果模腔内部排气良好,则熔体前端最后的压力就是大气压。

影响熔体填充压力的因素很多,概括起来有 3 类:①材料因素,如塑料的类型、黏度等;②结构性因素,如浇注系统的类型、数目和位置,模具的型腔形状以及制品的厚度等;③成型的工艺要素。

2. 注塑时间

这里所说的注塑时间是指塑料熔体充满型腔所需要的时间,不包括模具开、合等辅助时间。尽管注塑时间很短,对于成型周期的影响也很小,但是注塑时间的调整对于浇口、流道和型腔的压力控制有着很大作用。合理的注塑时间有助于熔体理想填充,而且对于提高制品的表面质量以及减小尺寸公差有着非常重要的意义。

注塑时间要远远低于冷却时间,大约为冷却时间的 $1/10\sim 1/15$,这个规律可以作为预测塑件全部成型时间的依据。在作模流分析时,只有当熔体完全是由螺杆旋转推动注满型腔的情况下,分析结果中的注塑时间才等于工艺条件中设定的注塑时间。如果在型腔充满

前发生螺杆的保压切换，那么分析结果将大于工艺条件的设定。

3. 注塑温度

注塑温度是影响注塑压力的重要因素。注塑机料筒有 5~6 个加热段，每种原料都有其合适的加工温度（详细的加工温度可以参阅材料供应商提供的数据）。注塑温度必须控制在一定的范围内。温度太低，熔料塑化不良，影响成型件的质量，增加工艺难度；温度太高，原料容易分解。在实际的注塑成型过程中，注塑温度往往比料筒温度高，高出的数值与注塑速率和材料的性能有关，最高可达 30℃。这是由于熔料通过注料口时受到剪切而产生很高的热量造成的。在作模流分析时可以通过两种方式补偿这种差值，一种是设法测量熔料对空注塑时的温度，另一种是建模时将射嘴也包含进去。

4. 保压压力与时间

在注塑过程接近尾声时，螺杆停止旋转，只是向前推进，此时注塑进入保压阶段。保压过程中注塑机的喷嘴不断向型腔补料，以填充由于制件收缩而空出的容积。如果型腔充满后不进行保压，制件大约会收缩 25% 左右，特别是筋处由于收缩过大而形成收缩痕迹。保压压力一般为充填最大压力的 85% 左右，当然要根据实际情况来确定。

5. 背压

背压是指螺杆反转后退储料时所需要克服的压力。采用高背压有利于色料的分散和塑料的融化，但同时延长了螺杆回缩时间，降低了塑料纤维的长度，增加了注塑机的压力，因此背压应该低一些，一般不超过注塑压力的 20%。注塑泡沫塑料时，背压应该比气体形成的压力高，否则螺杆会被推出料筒。有些注塑机可以将背压编程，以补偿熔化期间螺杆长度的缩减，这样会降低输入热量，令温度下降。不过由于这种变化的结果难以估计，故不易对机器作出相应的调整。