


21世纪模具设计与制造系列教材 

# 注塑模具设计

王树勋 朱亚林 梅 伶 龙国梁 编



华南理工大学出版社

21 世纪模具设计与制造系列教材(高职高专)

# 注塑模具设计

王树勋 朱亚林 梅 伶 龙国梁 编

华南理工大学出版社

·广州·

### 内 容 简 介

本书全面地、系统地介绍了注塑模具设计过程中的总体构思及具体动作机构的设计,如模具的结构形式和零部件、分型面和浇注系统、热流道、抽芯机构和顶出机构等,同时对于模具材料的选择也作了详细的介绍。对于设计注塑模具所必须了解的方面,如注塑成型原理和工艺、常用热塑性塑料特性及应用、注塑成型设备等也作了一定的介绍。最后还以一典型实例贯穿整个设计过程。

本书可作为技工、中专和高职的模具专业、数控加工专业教材,也可作为模具短训班的速成培训教材,还可供模具加工专业技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

注塑模具设计/王树勋,朱亚林,梅伶,龙国梁编. —广州:华南理工大学出版社,2005.5(2006.1重印)

(21世纪模具设计与制造系列教材)

ISBN 7-5623-2133-7

I. 注… II. ①王… ②朱… ③梅… ④龙… III. 注塑-塑料模具-设计 IV. TQ320.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2004)第055329号

总发行:华南理工大学出版社(广州五山华南理工大学17号楼,邮编510640)

发行部电话:020-87113487 87110964 87111048(传真)

E-mail: scutc13@scut.edu.cn

http://www.scutpress.com.cn

责任编辑:王魁葵

印刷者:湛江日报社印刷厂

开本:787×1092 1/16 印张:15.25 字数:316千

版次:2006年1月第1版第2次印刷

印数:3001~6000册

定价:25.00元

**版权所有 盗版必究**

## 前 言

模具是制造业的基础工艺装备，被广泛应用于制造业的各个领域。在我国制造业不断发展的今天，模具制造显得越来越重要，社会对模具专业技术人员及模具技工的需求也越来越大。

为了适应模具制造业人才培养的需要，由王树勋和龙国梁组织广东白云职业技术学院、广东阳江职业技术学院和江西工业工程职业技术学院部分专业教师，在结合模具专业教学实践和模具行业多年生产实践的基础上，编写了模具设计与制造系列教材。

本系列教材包括：《注塑模具设计》、《冷冲压模具设计》和《模具制造工艺》三个分册，详细阐述了注塑模具和冷冲压模具设计与制造的相关知识。《注塑模具设计》分册主要介绍了：注塑成型原理、热塑性塑料特性、注塑机的选择、注射模具的结构和零部件设计、分型面和浇注系统的设计、抽芯机构和顶出机构的设计、热流道模具设计、模具材料的选择等，最后以一个典型实例说明整个设计的全过程。《冷冲压模具设计》分册主要介绍了：压力机和冲压材料、冲裁模、弯曲模、拉深模、成型模以及管材冲压和冷挤压的设计，最后以实例介绍冲压规程的编制。《模具制造工艺》分册主要介绍了：模具的一般机械加工过程、仿形加工、成形磨削方法、特种加工工艺、模具装配工艺等。

本系列教材在选材上注意了系统性和实用性、文字上深入浅出、力求通俗易懂，大量的典型图例直观清晰。本系列教材可作为技工、中专和高职的模具专业、数控加工专业的系统完整的教材，也可作为模具短训班的速成培训教材，还可供模具加工专业技术人员参考。

本分册《注塑模具设计》是由王树勋组织编写，其中第一、二章由龙国梁编写，第三、四、五章由王树勋编写，第六、七章由梅伶编写，第八、九、十章由朱亚林编写，全书由王树勋统稿。

在本书的编写过程中，难免有疏漏之处，敬请读者不吝指出，以便改正和交流。

编 者  
2005年3月

# 目 录

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| <b>第一章 注塑成型原理和工艺</b> .....       | 1   |
| 第一节 注塑成型原理.....                  | 1   |
| 第二节 注塑工艺过程.....                  | 2   |
| 第三节 塑件的工艺性 .....                 | 10  |
| <b>第二章 热塑性塑料的特性</b> .....        | 33  |
| <b>第三章 注塑成型设备</b> .....          | 40  |
| 第一节 注射成型机的分类 .....               | 40  |
| 第二节 常用注射成型机技术规范 .....            | 41  |
| 第三节 注射成型机与注射模具的关系 .....          | 41  |
| <b>第四章 注射模具的结构形式和零部件设计</b> ..... | 57  |
| 第一节 注射模具的结构形式 .....              | 57  |
| 第二节 成型零件的设计 .....                | 62  |
| 第三节 结构零件的设计与标准件的选用 .....         | 87  |
| 第四节 加热和冷却装置的设计.....              | 108 |
| <b>第五章 分型面的选择与浇注系统的设计</b> .....  | 116 |
| 第一节 分型面的选择.....                  | 116 |
| 第二节 浇注系统的设计.....                 | 121 |
| <b>第六章 抽芯机构的设计</b> .....         | 143 |
| 第一节 概述.....                      | 143 |
| 第二节 斜销抽芯机构.....                  | 147 |
| 第三节 斜滑块抽芯机构.....                 | 169 |
| <b>第七章 顶出机构的设计</b> .....         | 176 |
| 第一节 概述.....                      | 176 |
| 第二节 一级顶出机构.....                  | 184 |
| 第三节 二级顶出机构.....                  | 198 |
| <b>第八章 热塑性塑料的热流道</b> .....       | 205 |
| 第一节 概述.....                      | 205 |
| 第二节 热流道注射模的常见结构.....             | 206 |
| <b>第九章 塑料模具材料及其选用</b> .....      | 221 |
| 第一节 塑料模具常用钢材及热处理.....            | 221 |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| 第二节 常用国外优质钢材简介·····            | 226        |
| <b>第十章 注射模具的设计程序和典型示例·····</b> | <b>229</b> |
| 第一节 注射模具的设计程序·····             | 229        |
| 第二节 模具结构设计典型示例·····            | 232        |
| <b>参考文献·····</b>               | <b>237</b> |

## 第一章 注塑成型原理和工艺

### 第一节 注塑成型原理

注塑成型又称注射成型,是热塑性塑件生产的一种重要方法,几乎所有的热塑性塑料都可以用注射成型方法生产塑件。注塑不仅用于热塑性塑料的成型,而且还可应用于热固性塑料的成型。

注塑是通过注射机来实现的。注射机分为两大类:柱塞式注射机和螺杆式注射机。注射机的基本作用有两个:①加热熔融塑料,使其达到粘流状态;②对粘流的塑料施加高压,使其射入模具型腔。由于螺杆式注射机应用较多,下面简述螺杆式注射机的注塑工作原理。

螺杆式注射机注射成型的工作原理如图 1-1 所示。

首先是动模与定模闭合,接着油缸活塞带动螺杆按要求的压力和速度,将已经熔融并积存于料筒端部的塑料经喷嘴射入模具型腔中,此时螺杆不转动(图 a)。当熔融塑料充满模具型腔后,螺杆对熔体仍保持一定压力(即保压),以阻止塑料的倒流,并向型腔内补充因制品冷却收缩所需要的塑料(图 b)。经一定时间的保压后,活塞的压力消失,螺杆开始转动。此时,由料斗落入料筒的塑料随着螺杆的转动沿着螺杆向前输送。在塑料向料筒前端输送的过程中,塑料受加热器加热和螺杆剪切摩擦热的影响而逐渐升温直至熔融成粘流状态,并形成了一定压力。当螺杆头部的熔体压力达到能够克服注射油缸活塞退回的阻力时,在螺杆转动的同时逐步向后退回,料筒前端的熔体逐渐增多,当螺杆退到预定位置时即停止转动和后退。以上过程称为预塑(图 c)。

在预塑过程或再稍长一些时间内,已成型的塑件在模具内冷却硬化。当塑件完全冷却硬化后,模具打开,在推出机构作用下,塑件被推出模具(图 c),即完成一个工作循环。

与柱塞式注塑相比,螺杆式注射机注射成型可使塑料在料筒内得到良好的混合与塑化,改善了注塑工艺,提高了塑件质量,同时还扩大了注射成型所使用塑料品种的范围和最大注射量。对于热敏性塑料和流动性差的塑料以及大、中型塑件,一般可用移动螺杆式注射机注射成型。

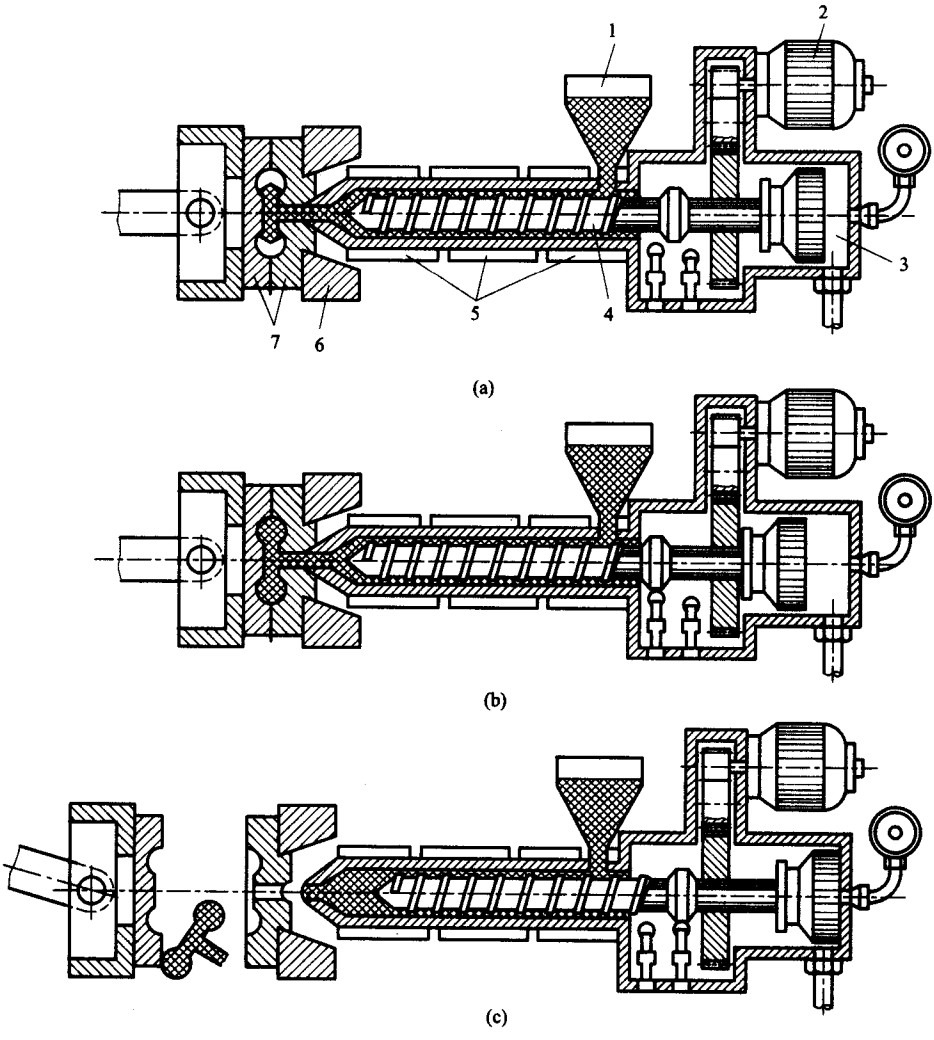


图 1-1 螺杆式注射机注塑原理图

1—料斗；2—螺杆转动传动装置；3—注射油缸；4—螺杆；5—加热器；6—喷嘴；7—模具

## 第二节 注塑工艺过程

注塑工艺过程的确定是注射工艺规程制定的中心环节,它包括成型前的准备、注射过程、制品的后处理等。



## 一、注射成型前的准备

为了使注射成型顺利进行,保证塑件质量,在注射成型之前应进行如下工作。

### 1. 原料的检验和预处理

在成型前应对原料进行外观和工艺性能检验,内容包括色泽、粒度及均匀性、流动性(熔体指数、粘度)、热稳定性、收缩性、水分含量等。有的制品要求不同颜色或透明度,在成型前应先为原料中加入所需的着色剂,若在原料中加入颜色母料则效果更好。

对于吸水性强的塑料(如聚碳酸酯、聚酰胺、聚砜、聚甲基丙烯酸甲酯等),在成型前必须进行干燥处理,否则塑件表面将会出现斑纹、银丝和气泡等缺陷,甚至导致高分子在成型时产生降解,严重影响制品的质量。而对不易吸水的塑料(如聚乙烯、聚丙烯、聚甲醛等塑料)只要包装、运输、储存良好,一般可以不必干燥处理。对于聚苯乙烯、ABS塑料往往也进行干燥处理。

干燥处理的方法应根据塑料的性能和生产批量等条件进行选择。小批量生产用塑料,大多采用热风循环干燥烘箱和红外线加热烘箱进行干燥;大批量生产用塑料,宜采用负压沸腾干燥或真空干燥,效果好,时间短。干燥效果与温度和时间关系很大,一般来说,温度高、时间长,干燥效果好,但温度不宜过高,时间不宜过长,如果温度超过玻璃化温度或熔点,会使塑料结块,造成成型时加料困难,对于热稳定性差的塑料,还会导致变色、降解。干燥后的塑料应马上使用,否则要加以妥善储存,以防再受潮。

### 2. 嵌件的预热

为了满足装配和使用强度的要求,塑件内常要嵌入金属嵌件。由于金属和塑料收缩率差别较大,因而在制品冷却时嵌件周围产生较大的内应力,导致嵌件周围强度下降和出现裂纹。因此,除了在设计塑件时加大嵌件周围的壁厚外,成型前对金属嵌件进行预热也是一项有效措施。

嵌件的预热应根据塑料的性能和嵌件大小而定,对于成型时容易产生应力开裂的塑料(如聚碳酸酯、聚砜、聚苯醚等),其制品的金属嵌件,尤其较大的嵌件一般都要预热。对于成型时不易产生应力开裂的塑料,且嵌件较小时,则可以不必预热。预热的温度以不损坏金属嵌件表面所镀的锌层或铬层为限,一般为 $110\sim 130^{\circ}\text{C}$ ;对于表面无镀层的铝合金或铜嵌件,预热温度可达 $150^{\circ}\text{C}$ 。

### 3. 料筒的清洗

在注射成型之前,如果注射机料筒中原来残存的塑料与将要使用的塑料不同或颜色不一致时,一般都要进行清洗。

对于螺杆式注射机通常采用直接换料清洗。换料清洗时,必须掌握料筒中的塑料和欲换的新料的特性,然后采用正确的清洗步骤。例如,新料成型温度高于料

筒内残存塑料的成型温度时,应将料筒温度升高到新料的最低成型温度,然后加入新料(也可以是新料的回料)，“连续对空注射”,直到残存塑料全部清洗完毕,再调整温度进行正常生产。如果新料的成型温度比料筒内残存塑料的成型温度低,应将料筒温度升高到残存塑料的最好流动温度后切断电源,用新料在降温下进行清洗。如果新料成型温度高,而料筒中残存塑料又是热敏性塑料(如聚氯乙烯、聚甲醛和聚三氟氯乙烯等),则应选热稳定性好的塑料(如聚苯乙烯、低密度聚乙烯等)作为过渡换料,先换出热敏性塑料,再用新料换出热稳定性好的过渡料。

注射机料筒还可用料筒清洗剂进行清洗。

#### 4. 脱模剂的选用

注射成型时,塑件的脱模主要依赖于合理的工艺条件和正确的模具设计,但由于制品本身的复杂性或工艺条件控制不稳定,可能造成脱模困难,所以在实际生产中通常使用脱模剂。

常用的脱模剂有三种:硬脂酸锌,除聚酰胺外的一般塑料均可采用;液体石蜡(白油),用于聚酰胺塑件的脱模效果较好;硅油,润滑效果良好,但价格较贵,使用较麻烦,需配制成甲苯溶液涂抹在模腔表面,还要加热干燥。使用脱模剂时,喷涂应均匀、适量,以免影响塑件的外观及性能,尤其注射成型透明塑料时更应注意。

## 二、注射过程

注射过程一般包括加料、塑化和注射几个步骤。

### 1. 加料

由于注射成型是一个间歇过程,因而需定量(定容)加料,以保证操作稳定,塑料塑化均匀,最终获得良好的塑件。加料过多、受热的时间过长等容易引起塑料的热降解,同时注射机功率损耗增多;加料过少,料筒内缺少传压介质,型腔中塑料熔体压力降低,难于补塑(即补压),容易引起塑件出现收缩、凹陷、空洞甚至缺料等缺陷。

### 2. 塑化

塑料在料筒中受热,由固体颗粒转换成粘流态并且形成具有良好可塑性的均匀熔体的过程,称为塑化。决定塑料塑化质量的主要因素是物料的受热情况和所受到的剪切作用。通过料筒对物料加热,使聚合物分子松弛,出现由固体向液体转变,一定的温度是塑料得以形变、熔融和塑化的必要条件。而剪切作用则以机械力的方式强化了混合和塑化过程,使混合和塑化扩展到聚合物分子的水平(而不仅是静态的熔融),它使塑料熔体的温度分布、物料组成和分子形态都发生改变,并趋于均匀。同时,螺杆的剪切作用能在塑料中产生更多的摩擦热,促进了塑料的塑化,因而螺杆式注射机对塑料的塑化比柱塞式注射机要好得多。总之,对塑料的塑化要求是:塑料熔体在进入型腔之前要充分塑化,既要达到规定的成型温度,又要使

塑料各处的温度尽量均匀一致,还要使热分解物的含量达到最小值,并能提供上述质量要求的足够的熔融塑料以保证生产连续并顺利地进行。这些要求与塑料的特性、工艺条件的控制及注射机塑化装置的结构等密切相关。

### 3. 注射

不论何种形式的注射机,注射的过程均可分为充模、保压、倒流、浇口冻结后的冷却和脱模等几个阶段。

#### (1) 充模

塑化好的熔体被柱塞或螺杆推挤至料筒前端,经过喷嘴及模具浇注系统进入并充满型腔。这一阶段称为充模。

#### (2) 保压

在模具中熔体冷却收缩时,继续保持施压状态的柱塞或螺杆迫使浇口附近的熔料不断补充入模具中,使型腔中的塑料能成型出形状完整而致密的塑件。这一阶段称为保压。

#### (3) 倒流

保压结束后,柱塞或螺杆后退,型腔中压力解除,这时型腔中的熔料压力将比浇口前方的高,如果浇口尚未冻结,就会发生型腔中熔料通过浇口流向浇注系统的倒流现象,使塑件产生收缩、变形及质地疏松等缺陷。如果保压结束之前浇口已经冻结,那就不存在倒流现象。

#### (4) 浇口冻结后的冷却

当浇口冻结后,继续保压已不再需要,因此可退回柱塞或螺杆,卸除对料筒内塑料的压力,对模具进行进一步的冷却。这一阶段称为浇口冻结后的冷却,实际上冷却过程从塑料注入型腔起开始。

#### (5) 脱模

塑件冷却到一定的温度即可开模,在推出机构的作用下将塑件推出模外。

## 三、塑件的后处理

由于塑化不均匀或由于塑料在型腔中的结晶、定向和冷却不均匀,造成制品各部分收缩不一致,或因为金属嵌件的影响和制品的二次加工不当等原因,塑件内部不可避免地存在一些内应力。而内应力的存在往往导致制品在使用过程中产生变形或开裂,因此,应该设法消除之。

根据塑料的特性和使用要求,塑件可进行退火处理和调湿处理。

退火处理的方法是把制品放在一定温度的烘箱中或液体介质(如热水、热矿物油、甘油、乙二醇和液体石蜡等)中一段时间,然后缓慢冷却。退火的温度一般控制在高于塑件的使用温度 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 或低于塑料热变形温度 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。温度不宜过高,否则制品会产生翘曲变形;温度也不宜过低,否则达不到后处理的目的。退火

的时间取决于塑料品种、加热介质的温度、制品的形状和壁厚、塑件精度要求等因素。

退火处理的结果,消除了塑件的内应力,稳定了尺寸。对于结晶型塑料还能提高结晶度,稳定结晶结构,从而提高其弹性模量和硬度,但却降低了断裂伸长率。

调湿处理主要是用于聚酰胺类塑料的制品。因为,聚酰胺类塑件脱模时,在高温下接触空气容易氧化变色;另外,这类塑件在空气中使用或存放又容易吸水而膨胀,需要经过很长时间,尺寸才能稳定下来。所以,将刚脱模的这类塑件放在热水中处理,不仅可隔绝空气,防止氧化,消除内应力,而且还可加速达到吸湿平衡,稳定其尺寸,故称为调湿处理。经过调湿处理,还可以改善塑件韧性,使冲击强度和拉伸强度有所提高。调湿处理的温度一般为  $100\sim 120^{\circ}\text{C}$ ,热变形温度高的塑料品种取上限;相反,则取下限。调湿处理的时间取决于塑料的品种、制品形状与壁厚和结晶度的大小。达到调湿处理时间后,应缓慢冷却至室温。

当然,并非所有塑件一定要经过后处理,像聚甲醛和氯化聚醚塑料的制品,虽然存在内应力,但由于高分子本身柔性较大和玻璃化温度较低,内应力能够自行缓慢消除,如果对制品要求不严格时,可以不必后处理。

#### 四、注射成型的工艺条件

在塑件的生产中,工艺条件的选择和控制在保证成型顺利进行和保证塑件质量的关键因素之一,注射成型最主要的工艺条件是温度、压力和时间。

##### 1. 温度

在注射成型中需要控制的温度有料筒温度、喷嘴温度和模具温度。

##### (1) 料筒温度

关于料筒温度的选择,涉及的因素很多,主要有以下几方面:

##### ① 塑料的粘流温度或熔点

不同塑料,其粘流温度或熔点是不同的。对于非结晶型塑料,料筒末端温度应控制在它的粘流温度( $T_f$ )以上;对于结晶型塑料,则应控制在熔点( $T_m$ )以上。但不论是非结晶型或结晶型塑料,料筒温度均不能超过塑料本身的分解温度( $T_d$ )。也就是说,料筒温度应控制在粘流温度(或熔点)与分解温度之间( $T_f\sim T_d$ 或  $T_m\sim T_d$ )。对于粘流温度与分解温度之间范围较窄的塑料(如硬聚氯乙烯),为防止塑料分解,料筒温度应取偏低一些,即取稍高于粘流温度。但温度低,流动性差,成型加工困难。像硬聚氯乙烯,即使料筒温度取接近于  $T_d$  的温度,并在高压作用下成型,其流动性仍较差。对于粘流温度与分解温度之间范围较宽的塑料(如聚苯乙烯、聚乙烯、聚丙烯),料筒温度可选择比粘流温度高得多一些。

塑料在高温下会产生热降解。一般来说,温度越高,时间越长(即使在温度不

十分高的情况下),降解量越大,尤其是热敏性塑料(如聚甲醛、聚氯乙烯、聚三氟氯乙烯等)。因此,对于热敏性塑料,必须特别注意控制料筒的最高温度和在料筒中停留的时间。

### ②注射机类型

在柱塞式注射机中,塑料的加热仅靠料筒壁和分流梭表面传热,而且料层较厚,升温较慢,因此,料筒的温度要高些;在螺杆式注射机中,塑料受到螺杆的搅拌混合,获得较多的剪切摩擦热,料层较薄,升温较快,因此,料筒温度可以低于柱塞式的 $10\sim 20^{\circ}\text{C}$ 。

### ③塑件及模具结构特点

对于薄壁塑件,其相应的型腔狭窄,熔体充模的阻力大,冷却快,为了提高熔体流动性,便于充满型腔,料筒温度应选择高些。相反,对于厚壁塑件,料筒温度可取低一些。对于形状复杂或带有嵌件的塑件,或熔体充模流程较长、曲折较多的,料筒温度也应取高一些。

料筒的温度分布,一般从料斗一侧(后端)起至喷嘴(前端)止,是逐步升高的。粘流温度较高的塑料可适当提高料筒后端温度。螺杆式注射机料筒中的塑料,由于受螺杆剪切摩擦作用,有助于塑化,故料筒前段的温度可略低于中段,以防塑料的过热分解。

### (2)喷嘴温度

喷嘴温度通常比料筒的温度低,以防熔体在直通式喷嘴上可能发生的“流涎”现象。虽然喷嘴温度低,但当塑料熔体由狭小喷嘴经过时,会产生摩擦热,使进入模具的熔体温度升高,在快速注射时尤其是这样。喷嘴温度也不能太低,否则,喷嘴处的塑料可能产生凝固而将喷嘴堵死,或将凝料注入型腔成为零件的一部分而影响塑件的质量。

料筒和喷嘴的温度还应与其他工艺条件结合起来考虑,如采用较高的注射压力,则料筒温度可以低些,相反,料筒温度应高些。如果成型周期长,塑料在料筒中受热时间长,料筒温度应稍低些;如果成型周期较短,则料筒温度应高些。

可见,选择料筒和喷嘴温度需要考虑的因素很多,在生产中可根据经验数据,结合实际条件,初步确定适当的温度,然后通过对塑件的直观分析和熔体的“对空注射”进行检查,进而对料筒和喷嘴温度进行调整。

### (3)模具温度

模具温度对塑料熔体的充型能力及塑件的内在性能和外观质量影响很大。模具温度的高低取决于塑料结晶性的有无、塑件的尺寸和结构、性能要求以及其他工艺条件(熔料温度、注射速度、注射压力及模塑周期等)。

模具温度由通入定温的冷却介质来控制,也有靠熔料注入模具自然升温 and 自然散热达到平衡而保持一定模温的。一般地,根据不同塑料成型时所需的模具温

度,确定需要设冷却还是加热系统。

无定形塑料熔体注入模腔后,随着温度的不断降低而固化,但并不发生相变,模温主要影响熔料的粘度和充模速率,如果充模顺利,采用低模温是可取的。因为,这样可以缩短冷却时间,从而提高生产效率。因此,对于熔融粘度较低或中等的无定型塑料(如聚苯乙烯、醋酸纤维素等),模具的温度常偏低;反之,对于熔融粘度高的塑料(如聚碳酸酯、聚苯醚、聚砜等),则必须采取较高的模温(聚碳酸酯为 $90\sim 120^{\circ}\text{C}$ ,聚苯醚为 $110\sim 130^{\circ}\text{C}$ ,聚砜为 $130\sim 150^{\circ}\text{C}$ )。不过应该说明的是,对于软化点较高的塑料,提高模温可以调整塑件的冷却速率,使其均匀一致,以防因温差过大而产生凹痕、内应力和裂纹等缺陷。

结晶性塑料注入模腔后,当温度降低到熔点以下即开始结晶。结晶的速率受冷却速率的控制,而冷却速率是由模具温度控制的,因而模具温度直接影响到塑件的结晶度和结晶构型。模具的温度高时,冷却速率小,但结晶速率可能大,因为一般塑料产生最大结晶速率的温度都在熔点下的高温一边;其次,模具温度高时有利于分子的松弛过程,分子取向效应小,这种条件仅适于结晶速率很小的塑料,如聚对苯二甲酸乙二酯等,在实际注射中很少采用,因为模温高也会延长成型周期和使塑件变脆。模具温度适当时,冷却速度适宜,塑料分子的结晶和定向也都适中,这是通常用得最多的条件。模具温度低时,冷却速率大,熔体的流动与结晶同时进行,但熔体在结晶温度区间停留时间缩短,结晶速率小,同时也不利于充模。此外,模具的结构和注射条件也会影响冷却速率,例如提高料筒温度和增加塑件厚度都会使冷却速率发生变化,对高压聚乙烯可达 $2\%\sim 3\%$ ,低压聚乙烯可达 $10\%$ ,聚酰胺可达 $40\%$ ,即使是同一塑件,其中各部分的密度也可能是不相同的,这说明各部分的结晶度不一样。造成这种现象的主要原因是熔料各部分在模内的冷却速率差别太大。

## 2. 压力

### (1) 塑化压力

所谓塑化压力,是指采用螺杆式注射机时,螺杆顶部熔体在螺杆转动后退时所受到的压力,塑化压力又称背压。背压大小可以通过液压系统中的溢流阀进行调节。

塑化压力大小对熔体实际温度、塑化效率及成型周期等均有影响。在其他条件相同的情况下,增加塑化压力,会提高熔体温度及温度的均匀性,有利于色料的均匀混合,有利于排除熔体中的气体。但塑化压力增高会降低塑化效率,从而延长模塑周期,而且增加塑料分解的可能性。因此,塑化压力一般应在保证塑件质量的前提下,以低些为好,通常很少超过 $2\text{MPa}$ 。

塑化压力大小应根据塑料品种而定,对于热敏性塑料(如聚氯乙烯、聚甲醛、聚三氟氯乙烯等),塑化压力应低些,以防塑料过热分解;而对聚乙烯等热稳定性高的

塑料,塑化压力高些也不会有分解的危险;对于熔体粘度大的塑料(如聚碳酸酯、聚砜、聚苯醚等),若塑化压力高,螺杆传动系统容易超载;注射熔体粘度很低的塑料(如聚酰胺)时,塑化压力要低些,否则塑化效率将很快降低。由上述可见,总的来说塑化压力不宜高。

应该指出,料筒中熔体的实际温度除了与料筒温度直接有关外,还与塑化压力、螺杆转速、螺杆结构与长度等因素有关。塑化压力对熔体温度的影响如上所述;螺杆转速增高,熔体温度也会增高;采用长径比小的螺杆应选较高塑化压力和螺杆转速;相反,采用长径比大的螺杆时,可选用较低的塑化压力和螺杆转速。

既然螺杆转速与熔体温度有关,就应当控制螺杆转速。一般来说,在不影响生产效率的前提下,螺杆转速以低为宜,尤其是热敏性塑料或熔体粘度大的塑料更是如此。

## (2) 注射压力

注射机的注射压力是指柱塞或螺杆头部对塑料熔体所施加的压力。在注射机上常用表压指示注射压力的大小,一般在 40~130MPa 之间。其作用是克服熔体从料筒流向型腔的流动阻力,给予熔体一定的充模速率以及对熔体进行压实等。

注射压力的大小取决于注射机的类型、塑料的品种,模具浇注系统的结构、尺寸与表面粗糙度,模具温度,塑件的壁厚及流程的长短等,关系十分复杂,目前难以作出具有定量关系的结论。在其他条件相同的情况下,柱塞式注射机成型时的注射压力应比螺杆式的大,其原因在于塑料在柱塞式注射机料筒内的压力损耗比螺杆式的大。塑料流动阻力的另一决定因素是塑料与模具浇注系统及型腔之间的摩擦系数和熔融粘度,两者越大时,注射压力应越高。同一种塑料的摩擦系数和熔融粘度是随所设料筒温度和模具温度而变动的。此外,注射压力还与是否加润滑剂有关。

为了保证塑件的质量,对注射速度(熔融塑料在喷嘴处的喷出速度)常有一定的要求,而对注射速度较为直接的影响因素是注射压力。就塑件的机械强度和收缩率来说,每一种塑件都有各自的最佳注射速度,而且经常是一个范围的数值。这一数值与很多因素有关,其中最主要的影响因素是塑件的壁厚。厚壁的塑件用低的注射速度,反之则用较高的注射速度。

型腔充满后,注射压力的作用全在于对模内熔料的压实。在生产中,压实时的压力等于或小于注射时所用的注射压力。如果注射和压实的压力相等,则往往可以使塑件的收缩率减小,并且它们的尺寸稳定性较好;缺点是会造成脱模时的残余压力过大和成型周期过长。但对结晶塑料来说,成型周期不一定增长,因为压实压力大时可以提高塑料的熔点(例如聚甲醛,如果压力加大到 50MPa,则其熔点可提高 90℃),脱模可以提前。

## 3. 时间

完成一次注射模塑过程所需的时间称为成型周期。成型周期直接影响到生产率和设备利用率,应在保证产品质量的前提下,尽量缩短成型周期中各阶段的时间。

在整个成型周期中,注射时间和冷却时间最重要,不仅是成型周期的主要组成部分,而且对塑件的质量有决定性的影响。注射时间中的充模时间与充模速率成反比,而充模速率取决于注射速率,为保证塑件质量,应正确控制充模速率。对于熔体粘度高、玻璃化温度高、冷却速率快的塑件和玻璃纤维增强塑件、低发泡塑件应采用快速注射(即高压注射)。在生产中,充模时间一般不超过10s。注射时间中的保压时间(即压实时间),在整个注射时间内所占的比例较大,一般为20~120s,壁厚特别大的可达5~10min。其值不仅与制品的结构尺寸有关,而且与料温、模温、主流道及浇口大小有密切关系,如果工艺条件正常,主流道及浇口尺寸合理,通常以塑件收缩率波动范围最小为保压时间的最佳值。如前所述,保压时间对型腔内的熔体压力及塑件质量有影响,应该适当确定其长短。冷却时间主要取决于塑件的壁厚、模具的温度、塑料的热性能和结晶性能等。冷却时间的长短应以保证塑件脱模时不引起变形为原则,一般为30~120s。冷却时间过长,不仅增长了成型周期,有时还会造成塑件脱模困难,强行脱模会导致塑件应力过大而破裂。成型周期中的其他时间与生产自动化程度和生产组织管理有关,应尽量减小这些时间,以缩短成型周期,提高劳动生产率。

常用热塑性塑料注射成型工艺参数如表1-1。

### 第三节 塑件的工艺性

塑件的质量,不仅与模具结构和成型工艺参数有很大的关系,而且还取决于塑件本身和结构设计是否符合工艺要求。塑件设计的主要内容是尺寸、精度、表面粗糙度和结构形状。

#### 一、塑件的尺寸、精度和表面粗糙度

##### 1. 塑件的尺寸

这里的尺寸是指塑件的总体尺寸,而不是壁厚、孔径等结构尺寸。

塑件尺寸的大小与塑料的流动性有关。在注射成型和压注成型中,流动性差的塑料(如布基塑料、玻璃纤维增强塑料等)及薄壁塑件等的尺寸不能设计得过大。大而薄的塑件在塑料未充满型腔时已经固化,或勉强能充满但料的前锋已不能很好熔合而形成冷接缝,影响塑件的外观和结构强度。注射成型的塑件尺寸还要受到注射机的注射量、锁模力和模板尺寸的限制;压缩和压注成型的塑件尺寸要受到压力机最大压力和压力机工作台面最大尺寸的限制。



表 1-1 常用热塑性塑料注射成型的工艺参数

| 塑料名称                                      | 硬聚氯乙烯   | 聚丙烯                              |  | ABS                                      |  | 聚苯乙烯        |                 | 聚甲<br>醛<br>(共聚)                          | 氯化聚醚                                     |
|---|---|----------------------------------|--|--|--|-------------|-----------------|--|--|
|   |   | 纯                                | 20%~40%<br>玻纤增强                          | 通用级                                      | 20%~40%<br>玻纤增强                          | 纯           | 20%~30%<br>玻纤增强 |  |  |
| 注射机类型                                     | 螺杆式   | 螺杆式                              | 螺杆式                                      | 螺杆式                                      | 螺杆式                                      | 柱塞式         | 柱塞式             | 螺杆式                                      | 螺杆式                                      |
| 预热和干燥                                     | 70~90<br>4~6  | 80~100<br>1~2                    | 80~85<br>2~3                             | 80~85<br>2~3                             | 80~85<br>2~3                             | 60~75<br>2  | 60~75<br>2      | 80~100<br>3~5                            | 100~105<br>1.0                           |
| 料筒温度<br>$t(^\circ\text{C})$               | 160~170<br>165~180<br>170~190                       | 160~180<br>180~200<br>200~220    | 150~170<br>165~180<br>180~200<br>170~180 | 150~170<br>165~180<br>180~200<br>170~180 | 150~170<br>165~180<br>180~200<br>170~180 | 140~160     | 140~160         | 160~170<br>170~180<br>180~190<br>170~180 | 170~180<br>185~200<br>210~240<br>180~190 |
| 喷嘴温度<br>$t(^\circ\text{C})$               |   |                                  |  |  |  |             |                 |  |  |
| 模具温度<br>$t(^\circ\text{C})$               | 30~60   | 60~70<br>(高密度)<br>35~55<br>(低密度) | 80~90                                    | 50~80                                    | 75                                       | 32~65       | 32~65           | 90~120 <sup>①</sup>                      | 80~110 <sup>①</sup>                      |
| 注射压力<br>$p(\text{MPa})$                   | 80~130  | 60~100                           | 70~100                                   | 60~100                                   | 106~281                                  | 60~110      | 56~160          | 80~130                                   | 80~120                                   |
| 成型时间<br>$\tau(\text{s})$                  | 注射时间  | 15~60                            | 20~60                                    | 20~90                                    | 20~90                                    | 15~45       | 15~60           | 20~90                                    | 15~60                                    |
|   | 高压时间  | 0~5                              | 0~3                                      | 0~5                                      | 0~5                                      | 0~3         | 0~5             | 0~5                                      | 0~5                                      |
|   | 冷却时间  | 15~60                            | 20~90                                    | 20~120                                   | 20~120                                   | 15~60       | 15~60           | 20~60                                    | 20~60                                    |
|   | 总周期   | 40~130                           | 50~160                                   | 50~220                                   | 50~220                                   | 40~120      | 40~120          | 50~160                                   | 40~130                                   |
| 螺杆转速<br>$n(\text{r}\cdot\text{min}^{-1})$ | 28  | 48                               |  | 30                                       |  | 48          |                 | 28                                       | 28                                       |
| 后处理                                       | 方法  |                                  |  | 红外线灯、烘箱                                  | 红外线灯、烘箱                                  | 红外线灯、烘箱     | 红外线灯、烘箱         | 红外线灯、鼓风机烘箱                               |  |
|   | 温度<br>$t(^\circ\text{C})$<br>时间<br>$\tau(\text{h})$ |                                  |  | 70<br>2~4                                | 70<br>2~4                                | 70<br>2~4   | 70<br>2~4       | 140~145<br>4                             |  |
| 说明  |   |                                  |  | AS的成型条件与上相似                              |  | AS的成型条件与上相似 | AS的成型条件与上相似     | 均聚的成型条件与上相似                              |  |