

注塑成型工艺

刘来英 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



注塑成型工艺

刘来英 主编



机械工业出版社

本书主要介绍注塑成型工艺的一些基本知识,包括塑料的一些基本常识,注塑机的基本结构,材料在熔融状态下的流动行为,塑料的填充、保压和冷却的基本知识,常用材料的成型工艺以及常见的成型缺陷及排除方法等。

本书适合于从事塑料产品设计、模具设计以及从事注塑成型工艺设计和分析的有关人员,也可作为模具专业大学生的参考书籍。

图书在版编目(CIP)数据

注塑成型工艺/刘来英主编. —北京:机械工业出版社, 2004.10
ISBN 7-111-15422-3

I. 注... II. 刘... III. 注塑成型 IV. TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 105639 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑:张秀恩

封面设计:解辰 责任印制:李妍

北京蓝海印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行

2005 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

880mm×1230mm A5·8.375 印张·247 千字

0001-4000 册

定价:20.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换
本社购书热线电话(010) 68993821、88379646

[Http://www.machineinfo.gov.cn/book/](http://www.machineinfo.gov.cn/book/)

封面无防伪标均为盗版

序

模具是工业生产的主要工艺装备，是国民经济的基础工业。尤其是塑料模具，在小到钟表、玩具，大到汽车、飞机等行业中都有广泛的应用。随着工业的发展，要求模具制造业能够在最短的时间内提供高效、精密和长寿的模具，因此，设计的新理论、新方法，如并行设计，对模具工业的发展具有积极的推动作用。

经验表明，塑料制品的设计、成型工艺的优化在塑料制品成型中占有极其重要的地位。如果制品设计不合理，则模具的设计、制作，制品的成型工艺将非常复杂，生产周期和成本也相应增大；即使制品设计合理，制品的成型工艺也将在很大程度上决定制品成型的效率、制品的质量和成本。因此，理解塑料的特性、流动行为、成型规律对于设计合理的产品、选择适用的成型工艺具有很重要的意义。本书正是从上述要求出发，总结了作者多年来丰富的从业经验，辅之以一定的理论分析，阐述了常用塑料的特性、流动行为、成型工艺基础以及冷却和变形的特征，同时还涉及了常用材料的成型工艺以及常见的成型缺陷、形成机理和预防措施，内容丰富、实用性强，对于从事塑料制品设计、模具设计以及成型工艺设计的工程技术人员具有很好的参考价值。

本书的编著者曾在青岛海尔模具有限公司工作多年，长期从事产品、模具的设计，他们中的大多数至今仍然活跃在产品、模具设计及成型工艺分析的一线，具有很高的理论水平和丰富的实践经验。殷切希望并深信本书的出版会对我国塑料模具工业的发展起到一定的推动作用。

李德群 2004.5.21

前 言

塑料制品同金属零件相比有许多优点：容易加工、生产效率高；节约能源，绝缘性能好；质量轻，比铝约轻一半，比钢约轻四分之三，具有较好的耐磨、耐腐蚀性；设计合理的塑料制品往往能代替多个传统金属结构件，可以一次成型非常复杂的形状，并且还能设计成卡装结构，从而减少产品装配中使用的各种紧固件。此外，注塑成型的制品数量比其他常规的金属成型方法要大得多。由于上述优点，日前工业产品非金属化、金属制品塑料化的趋势日益明显。

生产注塑制品的过程就是注塑成型过程。要想能够生产出合用的、高质量的塑料制品，必须满足以下条件：设计合理的塑料制品；结构合理、成型精度高的注塑模具；成型效率高的成型工艺和注塑机。

为了达到上述要求，工程技术人员必须对塑料材料的种类、有关参数的物理含义、性能，以及在一定的温度和压力下的流动行为有一个基本的了解，此外还必须对塑料制品结构设计的一些通用规则有一些了解，还得对塑料的填充过程、冷却过程、变形的机理有一定程度的了解。

所有这些知识虽然在其他模具设计方面的教科书或者参考书中有所涉及，但是只作为模具设计的补充知识而并未专门介绍。作者的 experience 表明，这些知识正是大部分具有机械专业背景而从事与塑料模具行业有关的技术人员所共同缺乏的，也是实践中最容易发生问题的地方所在。基于这个事实，本书将这些特定的内容抽出来，形成一本专门的书籍，供从事与注塑模具行业有关的人员参考，这是本书的特点和意义所在。

本书主要介绍注塑成型工艺的一些基本知识，包括塑料材料的一些基本常识，注塑机的基本结构，材料在熔融状态下的流动行为，塑料的填充、保压和冷却的基本知识，常用材料的成型工艺以及常见的成型缺陷分析与对策等。

本书第 1 章、第 2 章、第 4 章、第 5 章以及附录由刘来英高工编写，第 3 章由杨召坤高工编写，第 6 章、第 7 章由李延杰高工编写，第 8 章和第 9 章由林琦高工编写，第 10 章由朱彬讲师编写，第 11 章由冀彦华工程师编写。全书经刘来英高工统稿。国务院学位委员会学科评议组成员，模具技术国家重点实验室学术委员会副主任，华中科技大学材料科学与工程学院院长，博士生导师李德群教授在百忙中审阅了全书并作序，在此深表谢意。

本书的写作过程中，烟台市福山区委书记王日义、区长姜中二同志给予了作者很多的鼓励和支持，在此一并感谢。

编 者

2004 年 5 月

目 录

序

前言

第1章 绪论	1
第1节 塑料制品的应用	1
第2节 注塑成型	1
第3节 本书的内容	3
第2章 注塑塑料	5
第1节 高分子的结构组成	5
第2节 高分子塑料的三态	10
第3节 高分子塑料的流动学	13
第4节 高分子塑料的热性能	23
第3章 塑料制品的设计	30
第1节 注塑制品的结构设计	30
第2节 塑件制品的强度设计	52
第3节 注塑制品的尺寸变化	62
第4节 塑件的组合设计	77
第4章 注塑机	84
第1节 注塑机的分类、结构与动作原理	84
第2节 注塑机重要的技术参数	105
第3节 注塑机基本操作	111
第5章 注塑成型工艺基础	121
第1节 注塑工艺参数	121
第2节 注塑工艺参数之间的关系	129
第3节 制品的填充模式	131
第4节 工艺控制	133
第6章 注塑过程	139

第1节 注塑相关的背景知识	139
第2节 填充结束时的变量分布	146
第3节 填充过程中有关变量的变化	148
第7章 保压过程	151
第1节 保压过程背景知识	151
第2节 保压结束瞬间的变量分布	154
第8章 冷却过程	160
第1节 冷却过程有关知识	160
第2节 冷却结束时的变量分布	166
第9章 变形与翘曲分析	169
第1节 翘曲分析背景知识	169
第2节 翘曲变形的分析	184
第10章 常用塑料注塑工艺分析	186
第1节 聚苯乙烯	186
第2节 改性聚苯乙烯	188
第3节 ABS	189
第4节 聚乙烯	191
第5节 聚丙烯	193
第6节 尼龙	194
第7节 有机玻璃	198
第8节 聚碳酸酯	200
第9节 注塑工艺条件	204
第11章 注塑成型缺陷及解决方法	206
第1节 欠注	206
第2节 飞边	208
第3节 熔接痕	209
第4节 气穴	213
第5节 翘曲变形	214
第6节 缩痕与气孔	216
第7节 流痕	217
第8节 条纹	219

VIII

第 9 节 裂纹	220
第 10 节 黑斑、黑纹、脆化、烧焦和掉色	221
第 11 节 迟滞效应	224
第 12 节 喷射流	225
第 13 节 表面剥离	227
第 14 节 鱼眼	228
第 15 节 尺寸变化	229
附录 A 塑料成型工艺专业术语	230

第 1 章 绪论

第 1 节 塑料制品的应用

塑料制品在日常生活中是常常见到的，如在家用电器、仪器仪表、建筑器材、汽车工业、日用五金、通信器材以及医疗器械等众多领域，塑料制品的使用比例正迅猛增加。这主要是因为以下原因：第一，塑料与金属材料相比有许多优点：容易加工，生产效率高；节约能源，绝缘性能好；质量轻，相对密度约为 $1.0 \sim 1.4$ ，比铝轻一半，比钢轻 $3/4$ ，比强度高，具有突出的耐磨、耐腐蚀性等；第二，在日用和工业产品中，一个设计合理的塑料制品往往能代替多个传统金属结构件，加上利用工程塑料特有的性质，可以一次成型非常复杂的形状，并且还能设计成卡装结构，从而减少产品中装配的各种紧固件，降低了金属材料消耗量和加工及装配工时；第三，注塑成型是塑料加工中普遍采用的方法之一。该方法适用于全部热塑性塑料和部分热固性塑料，制成品数量比其他常规的金属成型方法要大得多。由于注塑成型加工不仅产量多，而且适用于多种原料，能够成批、连续地生产，并且具有稳定的尺寸，容易实现生产的自动化和高速化，具有极高的经济效益。因此，目前工业产品非金属化、金属制品塑料化的趋势日益明显。

第 2 节 注塑成型

获得注塑制品的过程，称之为注塑成型或者注射成型，或者简单地称之为注塑。注塑成型的基本过程是：颗粒状的高分子材料（以下简称塑料）经过注塑机螺杆的挤压和加热，成为熔融状态的可以流动的熔体。在螺杆的推动下，塑料熔体通过注塑机喷嘴、模具的主流

道、分流道和浇口进入模具型腔，成型出具有一定形状和尺寸制品的过程。注塑的结果是生产出符合用户要求的塑料制品。

要想取得合格的制品，必须要有设计合理、制造精良的模具，还需要有和该模具配套的先进的注射设备（注塑机）以及合理的加工工艺。因此，人们常将模具、注塑机以及工艺称之为注塑过程得以顺利进行的三个基本要素。

作为注塑成型加工的主要工具之一的注塑模具，在质量、精度、制造周期以及注塑成型过程中的生产效率等方面的水平高低，直接影响产品的质量、产量、成本及产品的更新换代，并最终决定着企业在市场竞争中的反应能力和速度。

与其他机械行业相比，模具制造业主要有以下三个特点：

第一，模具不能像其他机械产品那样可作为基本定型的商品随时都可以在机电市场上买到。这是因为每副模具都是针对特定塑料制品的规格而生产的，由于塑料制品的形状、尺寸各异，差距甚大，其模具结构也是大相径庭，所以模具制造不可能形成批量生产。换句话说，模具是单件生产的，重复加工的可能性很小。因此，模具的设计、制造成本都较高。

第二，因为注塑模具是为产品中的塑料制品而订制的，作为产品，除质量、价格等因素之外，很重要的一点就是需要尽快地投放市场，所以对于为塑料制品而特殊订制的模具来说，其制造周期一定要短。

第三，模具制造是一项技术性很强的工作，其加工过程集中了机械制造中的诸多先进技术的一部分精华与钳工技术的手工技巧，因此要求模具工人具有较高的文化技术水平，特别是对于企业来说要求培养“全能工人”（即多面手），使其适应多工种的要求，这种技术工人对模具单件生产方式组织均衡生产来说是非常重要的。

注塑机也是注塑成型必需的要素之一。一般来说，市场上供应各种形式和规格的注塑机，但是在实践中，必须根据模具的实际情况和注塑厂家的设备情况进行选择。

对于采用注塑成型加工方法生产塑料制品来说，合理的成型工艺即是三个基本要素中的加工工艺。所谓成型工艺，简单说来就是将压力、温度、时间（速度）三大要素组成最合理的搭配。在成型过程中，

尤其是精密制品的成型，要想确立一组最佳的成型条件决非易事，因为影响成型条件的因素很多，除制品的形状、模具结构、注塑设备、原材料等之外，电压的波动、环境温度的变化对成型都有一定的影响。到目前为止，建立最佳的成型工艺尚无简便可靠的办法，大多需要操作者具有很丰富的实践经验与耐心，根据塑料制品在成型过程出现的具体问题认真调整，才能确定一个理想的成型工艺，高效率、高质量地生产出合格的塑料制品。

第3节 本书的内容

如前所述，注塑过程得以实现的三个基本要素是：注塑机、注塑模具以及加工工艺，它们缺一不可。随着市场竞争的激烈化，客户对于产品的质量要求越来越高，生产速度要求越来越快。这些要求推动人们不断设计技术更加先进，生产效率更加高的注塑机，同时设计结构更加合理，性能更加稳定的注塑模具，并寻求更为合理的注塑工艺，以满足这方面的要求。

但是，要做到上述三个方面并不容易。因为从制品质量方面讲，塑料模具以及注塑成型工艺对其影响甚大；从制品的生产效率方面讲，注塑机、模具以及生产工艺则发挥着巨大的作用。而整个注塑的工艺又是由制品的形状和大小、塑料的种类、模具的结构以及注塑机的类型来决定的。

在作者从事与塑料成型有关的工作中，体会到一些基本知识的重要性，如塑料的基本特性，塑料在熔融状态下的流动行为，塑料在模具中的填充、保压和冷却过程，模具的基本结构，模具的设计要领，注塑机的基本结构和工作原理等。除了关于模具设计的有关书籍常见到外，专门介绍塑料、注塑机以及塑料流动，模具中的填充、冷却等工艺知识的书籍甚少。而这些基本知识对于一个从事与注塑有关工作的新手是必需的，对于那些具有一定经验的工程技术人员为了解决疑难问题也是必要的。

本书主要介绍注塑成型工艺的一些基本知识，包括塑料的一些基本常识，塑料制品的设计，注塑机的基本结构，材料在熔融状态下的

流动行为，塑料的填充、保压和冷却的基本知识。

本书适合于从事塑料产品设计、模具设计以及从事成型工艺设计和分析的有关人员，也可作为模具专业大学生的参考书籍。

第2章 注塑塑料

顾名思义，塑料制品是由塑料制成的。塑料为一通用俗语，是常用高分子塑料的总称。塑料的组成，基本性能对于注塑成型工艺的影响甚大。不同的塑料由于结构不同，其合理的成型范围，关注的侧面也不同。因此，了解塑料的性能是做好产品设计、模具设计以及确定合理的成型工艺的重要环节，对于了解塑料性能知识甚少的机械类专业人士而言更是如此。

第1节 高分子的结构组成

1. 高分子的形成

从基本的化学知识可以知道，碳原子和氢原子在特定条件下排列成一定结构的链状结构，形成呈现一定特性的分子，如甲烷、乙烷、丙烷等；而这些质量稍大一点的分子还可进一步反应生成质量更大的分子结构，如乙烯和丙烯等。因此可以认为，高分子（聚合物）是由下面的一些中间物生成的：

1) 甲烷、乙烷、丙烷、丁烷、戊烷等。

2) 这些基体首先必须转化为：亚甲基、乙烯和丙烯。

这些中间物称之为基体或单体，它们在经过聚合反应的过程中，形成分子质量更为巨大的分子。如果超过 500 个这样的单体聚合，结果就会形成高分子，或者聚合物。

由一种单体聚合形成的聚合物称之为均聚物，如聚乙烯（PE），聚丙烯（PP）等，也有由两种或者两种以上的单体经过聚合而形成的高分子，如 ABS 树脂就是由丙烯腈，丁二烯和苯乙烯组成的三元共聚物。

这就是高分子形成的简单过程，也是高分子名称的由来。组成高分子的单体不同，排列的链状结构不同，形成的塑料也不相同，因而

也呈现出不同的物理和化学性能。

2. 高分子的质量

高分子是单体数量超过 500 或者更多的单体形成的分子链，所有的分子不可能包括相同数量的单体，但是，可以通过控制聚合过程，来控制分子链的结构和长度。聚合物可以通过平均的分子质量来区分，这就产生了特定微粒的分子质量分布。

大多数的单体是气体，短分子链的小分子是液体，大分子链的聚合物就是固体。因此，甲烷、乙烷、丙烷等分子是气体，而乙烯和丙烯则是液体，聚乙烯和聚丙烯就是固体了。

分子质量越大，塑料的强度和刚度越大，但是大分子塑料的粘度也大。因此，大分子熔体填充时需要的压力就高，分子质量越大，塑料越难以成型，超大分子塑料是不能通过注塑过程成型的。

大分子塑料的粘度一般很高，为了降低粘度，必须提高塑料的加工温度，但是这会引发高分子塑料的降解。因此，在加工高分子塑料时，考虑到塑料的热稳定性，一般规定了加工温度和塑料的熔化时间。因此，高分子塑料在注塑机的塑化单元中停留的时间有一定限制，如果超过这个滞留时间，塑料就可能发生降解。

许多高分子塑料由于长期暴露在氧气和紫外线照射下发生降解。防止发生降解就得提高分子质量。这意味着，在碳原子链中，少量的分子链带着较少的大单体。大而长的分子很难移动。大的分子即使降解，产生的中等程度的分子也具有可以接受的塑料特性，在这一点上比小分子要强。

3. 高分子塑料的分类

高分子可以划分为热固性塑料，弹性体（人造橡胶）和热塑性塑料三大类，下面分别介绍

（1）热固性塑料 热固性塑料是链状结构有交叉的聚合物，其最终的分子结构是在热和压力的作用下通过化学反应形成的。一旦这种反应完成，热固性塑料就不能通过热和压力的进一步作用而改变，也就是说，这种塑料的使用都是一次性的。这种塑料在加热过程中呈现的形态如图 2-1 所示。

常见的热固性塑料有：聚酯（UP）和环氧树脂（EP）等。

热固性塑料一般不能通过注塑成型过程来成型，但它可以通过常温下的化学反应来成型。

(2) 弹性体(人造橡胶) 弹性体是链状结构有一定程度交联的高分子。这种塑料在应力的作用下很容易变形，并且在应力去除后，很快恢复原来的形状。最常见的这种塑料就是天然橡胶和人造橡胶。

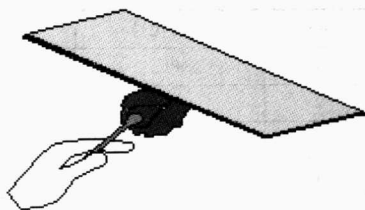


图 2-1 热固性塑料

(3) 热塑性塑料 热塑性塑料由不互相交织在一起的长链分子组成。其特性是当温度超过其软化温度时，可以通过注射来成型，而当冷却到其凝固点以下时，可以成型出需要的形状来。这个过程理论上可以无限制地重复，但是事实上，受到塑料老化等稳定性的影响，在经过几次加工后，塑料的原始特性因为产生的应力而变化。

注塑成型常用的塑料如聚乙烯(PE)，聚丙烯(PP)，聚苯乙烯(PS)，ABS，尼龙(PA)等都是热塑性塑料。这种塑料在加热过程中呈现的形态如图 2-2 所示。

本书介绍的高分子塑料以注塑成型工业用到的热塑性塑料为主，在本书的以后章节中，统称为塑料。

常用塑料都有一个名称和塑料代号。名称基本上是根据塑料的单体而命名的，符号则是英文名称的缩写。

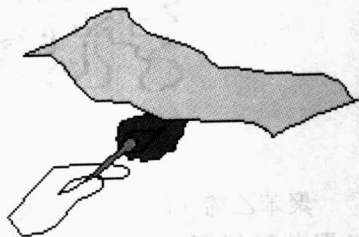


图 2-2 热塑性塑料

常用塑料的名称和代号如表 2-1 所示。

4. 结晶型塑料和非结晶型塑料

塑料中相邻分子链的几何排列顺序、结构形式不同，因此也呈现出不同的特性。一般来说，有以下两种不同的分子排列顺序。

(1) 非结晶型塑料 分子随机缠绕和交织的塑料。这种塑料由于分子链的排列呈现随机分布的规律，没有明显的方向性，因此塑料在

表 2-1 常用塑料的名称和代号

序号	塑料代号	俗名	性质
1	PE	聚乙烯	结晶性
2	PP	聚丙烯	结晶性
3	PA	尼龙（聚酰胺）	结晶性
4	POM	聚甲醛	结晶性
5	PC	聚碳酸酯	非结晶性
6	PS	聚苯乙烯	非结晶性
7	ABS		非结晶性
8	PVC	聚氯乙烯	非结晶性
9	PMMA	聚甲基丙烯酸甲酯	非结晶性

各个方向上表现出的力学特性是相同的，即它们是各向同性的。这类高分子称之为无定形塑料，其分子的平面结构呈现无规则排列的链状结构，如图 2-3 所示；立体结构在空间也呈现无规则的均匀排列，如图 2-4 所示。



图 2-3 非结晶性材料的形态

聚苯乙烯（PS）、聚苯氧基树脂（聚苯醚树脂，PPO）、聚碳酸酯（PC）等是典型的无定形塑料。

无定形的热塑性塑料一般是非结晶型塑料。非结晶型塑料的透明度较好，但是也有例外，如 ABS 是非结晶型塑料，但是却是不透明。

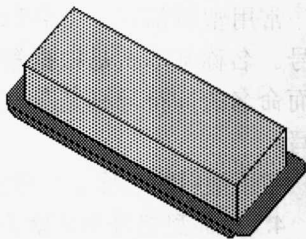


图 2-4 非结晶型材料类橡胶结构

（2）结晶型塑料 结晶型塑料具有很规则的格子状的分子排列方式，在塑料分子的每个截面上的特定点处，重复出现特定的结构。然而没有任何一种塑料是完全晶体的。