

M 高等学校“十一五”规划教材
材料科学与工程系列

塑料成型工艺与模具设计

Plastic Molding Technology and Mold Design

主 编 杨永顺
郭俊卿

交叉性 前沿性 融合相关学科 代表材料领域的发展方向
先进性 科学性 院士专家著书 反映材料科学的最新成果
可读性 广交性 内容丰富翔实 促进材料工程的应用实践

哈尔滨工业大学出版社

主要内容

高等学校“十一五”规划教材 材料科学与工程系列

塑料成型工艺与模具设计

主 编 杨永顺 郭俊卿
副主编 钱应平 杨 茜 郑 重
帅玉妹 刘丹丹 陈国清

哈尔滨工业大学出版社

(哈尔滨市南岗区学府路10号 邮编150006)

责任编辑 张永华
封面设计 张永华
出版发行 哈尔滨工业大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区学府路10号 邮编150006
电 话 0451-86414749
网 址 <http://www.hit.edu.cn>
印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂
本 次 787mm×1092mm 1/16 印张21.75 字数577千字
定 价 30.00元
书 号 ISBN 978-7-269-23692-2
2008年10月第1版 2008年10月第1次印刷

内 容 提 要

本书从材料工程类材料成型与控制(模具)专业实际需要和塑料模具行业实际情况与需求出发,在介绍塑料的成型理论基础和注射成形工艺的基础上,重点讲述了普通注射模具的工作原理、基本结构、各部分的组成及作用、注射模具的设计方法,同时也对其他注射成型工艺和较常用的压缩成型、压注成型、挤出成型、气动成型等塑料成型工艺与模具结构作了较详细的介绍。本书注重联系实际和反映本学科的新近成果,书中的相关内容采用了新的国家标准。

本书可作为高等院校材料工程类专业本科生的教材,也可作为相关专业技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

塑料成型工艺与模具设计/杨永顺,郭俊卿主编. —哈尔滨:
哈尔滨工业大学出版社, 2008. 10
ISBN 978-7-5603-2765-5

I. 塑… II. ①杨…②郭… III. ①塑料成型-工艺-高等学校-教材②塑料模具-设计-高等学校-教材 IV. TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 128609 号

策划编辑 张秀华 杨 桦

责任编辑 张秀华

封面设计 卞秉利

出版发行 哈尔滨工业大学出版社

社 址 哈尔滨市南岗区复华四道街 10 号 邮编 150006

传 真 0451 - 86414749

网 址 <http://hitpress.hit.edu.cn>

印 刷 哈尔滨工业大学印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/16 印张 21.75 字数 527 千字

版 次 2008 年 10 月第 1 版 2008 年 10 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5603-2765-5

印 数 1~3 000 册

定 价 30.00 元

(如因印装质量问题影响阅读,我社负责调换)

前 言

塑料种类繁多,性能独特,加工成型方便,越来越受到人们的青睐。塑料制品在诸如工业、农业、交通、家用电器、仪器仪表、电子行业得到广泛应用,在日常生活中更为常见,已成为不可缺少的生活必需品。目前,随着塑料成型技术不断发展和完善,塑料模具的产值产量逐年快速增长,在各类模具中的地位更显突出。塑料行业的发展,对塑料成型技术及其模具制造水平提出了更高的要求。

为适应模具行业结构调整与人才培养的需要,我们重新编写了《塑料成型工艺与模具设计》一书。根据塑料模具行业的实际情况与需要,结合普通高等学校的人才培养目标,本书重点讲述了注射成型的基本原理和普通注射成型模具的结构原理与设计方法,同时也对其他注射成型工艺和较常用的压缩成型、压注成型、挤出成型、气动成型等塑料成型工艺与模具结构做了较详细的介绍。本书内容力求重点突出,概念清楚,重视基本理论的掌握和实际技能的培养。书中对像“表面粗糙度”、“粘度”及和“粘”相关的术语给予了保留,请读者谅解。

本书由19章组成,第1章为绪论;第2、3章主要介绍塑料成型基础,为学习塑料成型工艺提供基本知识;第4~14章重点介绍注射成型工艺与模具设计;第15~19章主要介绍其他塑料成型工艺与模具设计方法。

本书绪论、第1、6~11章由河南科技大学杨永顺编写;第2章由长江大学刘丹丹编写;第3章由长江大学帅玉妹编写;第4、5章由西北工业大学杨茜编写;第12~14章由河南科技大学郭俊卿编写;第15、17章由湖北工业大学郑重编写;第16、18章由湖北工业大学钱应平编写;第19章由大连理工大学陈国清编写。全书由杨永顺教授和郭俊卿博士任主编,河南科技大学杨蕴林教授主审。

由于编者理论水平和经验有限,书中难免有不当和错误之处,恳请读者批评指正。

编 者

2007年11月

目 录

第1章 绪论	1
1.1 塑料及其应用	1
1.2 塑料制品成型工艺及模具分类	3
1.3 塑料模具技术及其发展趋势	4
1.4 学习本课程的目的及方法	7
第2章 塑料成型的理论基础	9
2.1 聚合物大分子结构特点	9
2.2 聚合物的可加工性	11
2.3 聚合物的流变性质	11
2.4 聚合物在成型过程中的物理化学变化	15
习题	18
第3章 成型物料	19
3.1 塑料的组成及分类	19
3.2 塑料的工艺特性	21
3.3 常用塑料	25
习题	30
第4章 注射成型工艺及其制件的结构工艺性设计	31
4.1 注射成型原理	31
4.2 注射机与注射成型系统	32
4.3 注射成型工艺	37
4.4 塑料制件的结构工艺性设计	44
习题	60
第5章 注射模设计概论	61
5.1 注射模的基本结构	61
5.2 注射模的分型面选择	65
5.3 注射模与注射机的选配关系	68
5.4 塑料模具的标准化及标准模架的选用	73
习题	77
第6章 浇注系统与排气系统设计	78
6.1 浇注系统的组成及其设计原则	78

6.2	主流道设计	80
6.3	分流道设计	82
6.4	浇口的设计和选择	85
6.5	浇注系统的平衡进料设计	95
6.6	冷料穴设计	97
6.7	排气结构设计	99
	习题	101
第7章	成型零部件设计	102
7.1	成型零部件的结构	102
7.2	成型零部件工作尺寸的计算	108
7.3	凹模的强度与刚度计算	123
	习题	130
第8章	合模导向机构与支承零部件设计	131
8.1	合模导向机构设计	131
8.2	支承零部件设计	135
	习题	136
第9章	顶出脱模机构设计	137
9.1	顶出脱模机构的结构	137
9.2	脱模力的计算	138
9.3	一级顶出脱模机构	140
9.4	双脱模机构	146
9.5	顺序脱模机构	147
9.6	从定模侧顶出制品的脱模机构	149
9.7	二级顶出脱模机构	150
9.8	浇注系统凝料的脱模机构	156
9.9	转动脱模机构	160
	习题	166
第10章	侧向分型与抽芯机构设计	167
10.1	侧向分型与抽芯机构分类	167
10.2	斜导柱式侧向抽芯机构	168
10.3	弯销式侧向分型与抽芯机构	182
10.4	斜导槽式侧向分型与抽芯机构	183
10.5	斜滑块式侧向分型与抽芯机构	184
10.6	齿轮齿条式侧向抽芯机构	188
10.7	弹性元件侧抽芯机构	191
	习题	191

第 11 章 温度调节系统设计	193
11.1 模具温度调节系统的作用	193
11.2 冷却系统的计算	194
11.3 冷却系统的设计原则与常见结构	197
11.4 模具加热系统	202
习题	203
第 12 章 注射模材料选用	204
12.1 注射模的工作条件和失效形式	204
12.2 模具材料及其选用	206
12.3 注射模具新材料	210
习题	215
第 13 章 注射模设计实例	216
13.1 注射模设计程序	216
13.2 注射模设计实例	218
习题	227
第 14 章 其他注射成型工艺	228
14.1 热塑性塑料无流道注射成型	228
14.2 低发泡注射成型	234
14.3 热固性塑料注射成型	240
14.4 精密注射成型	249
14.5 特种注射成型	253
习题	256
第 15 章 压缩成型工艺与模具设计	257
15.1 压缩成型原理及工艺	257
15.2 压缩模设计基础	261
15.3 压缩模成型零部件设计	264
习题	271
第 16 章 压注成型工艺与模具设计	272
16.1 压注成型原理及工艺	273
16.2 压注模设计基础	273
16.3 压注模成型零部件设计	276
习题	282

第 17 章 挤出成型工艺与模具设计	283
17.1 挤出成型原理及工艺	283
17.2 挤出模设计基础	287
17.3 管材挤出成型机头设计	290
17.4 棒材挤出成型机头设计	294
17.5 薄膜吹塑机头设计	295
17.6 板材和片材挤出成型机头设计	297
17.7 异型材挤出成型机头设计	298
17.8 线缆包覆挤出成型机头设计	299
习题	300
第 18 章 气动成型工艺与模具设计	301
18.1 中空吹塑成型工艺及模具设计	301
18.2 盒形制品的气动成型	306
习题	309
第 19 章 特殊塑料成型工艺	310
19.1 层压成型	310
19.2 铸塑成型	311
19.3 搪塑和浸涂成型	312
19.4 旋转成型	314
19.5 烧结成型	314
19.6 缠绕成型与喷射成型	315
19.7 流涎成型	316
19.8 压涎成型	316
习题	318
附录	319
附录 A 常用塑料中英文名词对照表	319
附录 B 热塑性塑料的某些性能	322
附录 C 常用塑料的近似密度	323
附录 D 常用热塑性塑料的软化与熔融范围	323
附录 E 常用塑料的收缩率	324
附录 F 常用塑料注射成型工艺参数	325
附录 G SZ 系列注射机的主要技术参数	328
附录 H 塑料模具材料	329
附录 I 塑料注塑模模架标准	332
参考文献	337

第1章 绪 论

1.1 塑料及其应用

自 20 世纪初酚醛塑料实现工业化生产以来,塑料就以电气材料为起点而发展起来。尽管目前塑料已成为随处可见的材料而被广泛使用于各个领域,但对其进行明确的定义仍然具有一定的困难。目前比较通用的定义是根据我国 1980 年的国家标准(GB 2035—1980)得来的,“塑料是指以树脂(或在加工过程中用单体直接聚合)为主要成分,以增塑剂、填充剂、润滑剂、着色剂等添加剂为辅助成分,在加工过程中能流动成型的材料”。随着塑料工业的发展及其应用的推广,关于塑料的定义也在不断地修正和补充。

1.1.1 塑料及其性能特点

塑料是以高分子聚合物(简称高聚物)为主要成分,并在加工为成品的某个阶段可流动成型的材料。所谓高聚物,其相对分子质量都大于 1 万,有的甚至可达数百万,它在一定温度和压力下具有可塑性,可以利用模具成型为一定几何形状和尺寸的制件。除聚合物外,塑料中还有增塑剂、稳定剂、增强剂、固化剂、填料等添加剂。

塑料具有优良的性能,其应用非常普遍,与其他材料相比,塑料的主要性能如下。

1. 密度小

塑料的密度大多为 $1.0 \sim 1.4 \text{ g/cm}^3$,约为钢铁材料密度的 $1/6$ 。同一制品,用塑料替代钢材,其质量要小得多,这对于要求减轻自重的车辆、船舶和飞机有着特别重要的意义。据美国 20 世纪 80 年代统计,汽车上采用塑料零件之后,平均每辆汽车可以减重 180 kg,这样一来,可使汽车每升油行程增加 0.4 km,美国每年将会因此节约 1 400 万桶汽油。仅在 1975~1985 的 10 年间,美国因减轻车重而节约的能耗价值已经高达 900 亿美元。如此之大的经济效益,正在力促世界各国加速汽车零件塑料化的发展步伐。除此之外,塑料零件在航空航天工业中应用也很多,例如,美国波音 717 客机有重达 2 t 的 2 500 个零部件是用塑料制造的,美国全塑火箭中所用的玻璃钢占总重量的 80%。飞机和火箭使用塑料零件除了减重之外,还能满足其他一些特殊的性能要求。由于质量小,塑料特别适合制造轻巧的日用品和家用电器零件。目前,塑料已从代替部分金属、木材、皮革及无机材料发展成为国民经济各行业不可缺少的重要材料之一。

2. 比强度高

材料强度与密度之比称为比强度。比强度越高,在承担相同载荷条件下,所需零件的质量就越小。由于塑料的密度小,所以其比强度比较高,若按比强度大小来评价材料的使用性能,则一些特殊的塑料品种将会名列前茅。例如,一般 40Cr 钢的拉伸比强度约为 160,而用玻璃纤维增强的塑料的拉伸比强度可达 170~400。因此,纤维增强的塑料已用于一些负载较大的结构零件,且比例越来越大。

3. 耐化学腐蚀能力强

塑料对酸、碱、盐等化学物质均有良好的耐腐蚀能力,其中化学性能最稳定的聚四氟乙烯塑料,其化学稳定性超过了所有的已知金属材料(包括金与铂)。硬聚氯乙烯塑料可以耐质量分数达 90% 的浓硫酸和各种质量分数的盐酸及碱液,被广泛用于制造管道、密封圈和容器。

4. 绝缘性能及隔热隔音性能好

塑料有良好的绝缘性能和隔热隔音性能,被广泛地用来制造电绝缘材料、绝热保温材料,以及隔音吸音材料。塑料优越的电气绝缘性能和极低的介电损耗性能,可以与陶瓷和橡胶媲美,许多电器用的插头、插座、开关、手柄等,都是用塑料制成的。除用作绝缘外,现已开发出半导体塑料、导电导磁塑料等,对电子工业的发展更具有独特的意义。

5. 减摩耐磨性能好

大多数塑料都具有良好的减摩和耐磨性能,它们可以在水、油或带有腐蚀性的液体中工作,也可以在半干摩擦或者完全干摩擦的条件下工作,这是一般金属零件无法与其相比的。因此,现代工业中已有许多齿轮、轴承和密封圈等机械零件开始采用塑料制造,甚至出现了使用塑料制造的自润滑轴承。

6. 抗震减振性能好

聚合物大分子的柔韧性和弹性使塑料具有良好的减振性能,因而使塑料成为现代工业中抗震减振性能极好的材料,不仅可以用于高速运转机械,还可以用作汽车中的一些结构零部件(如保险杠和内装饰板等),国外一些轿车已经开始采用碳纤维增强塑料制造板弹簧。目前大部分电器产品也基本采用泡沫塑料作减震包装材料。

7. 光学性能好

不加填充剂的非结晶塑料大都可以制成透光性良好的制品,折光率较高,并且具有很好的光泽。如有机玻璃、聚苯乙烯、聚碳酸酯等都可制成品莹透明的制品,这些塑料已广泛地被用来制造玻璃罩壳、透明薄膜以及光导纤维材料。

8. 多种防护性能

塑料除具有良好的耐腐蚀性、绝缘性外,还具有防水、防潮、防辐射、防震等多种防护性能,被广泛地用来制造食品、化工、航天、原子能工业的包装材料和防护材料。

应该指出的是,塑料也存在着一些缺点,使其在应用中受到一定限制。一般塑料的刚性差,如尼龙的弹性模量仅为钢铁的 $1/100$ 。塑料的耐热性差,长时间工作的使用温度一般在 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下,即使被称为耐高温塑料的聚酰亚胺和聚四氟乙烯等,能够连续工作的最高温度也不超过 $250\text{ }^{\circ}\text{C}$;塑料在低温下性脆易开裂。塑料的导热系数只有金属的 $1/200 \sim 1/600$,这对散热不利。若在一定载荷的长期作用下,即使温度不高,塑料也会渐渐产生塑性流动,即产生“蠕变”现象。塑料易燃烧,在光和热的作用下性能容易变坏,发生老化现象。所以,在选择塑料时要注意扬长避短。在成型加工生产中,塑料还具有加热时线膨胀系数大、冷却后成型收缩率大等工艺问题,这些问题常常使得塑料制品的精度不容易控制,因此,从精度方面讲,塑料制品的使用范围也受到一定限制。

1.1.2 塑料工业的发展

塑料工业是一门新兴的工业,是随着石油工业的发展应运而生的。塑料工业的发展大致分为以下几个阶段。

1. 初创阶段

20 世纪 30 年代以前,研制成了酚醛、硝酸纤维素及醋酸纤维素等塑料,其工业化特征仅是间歇法、小批量生产。

2. 发展阶段

20 世纪 30 年代,低密度聚乙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯和聚酰胺等热塑性塑料相继实现工业化生产,奠定了塑料工业的基础。

3. 飞跃发展阶段

20 世纪 50 年代中期到 60 年代末,石油化工的高速发展为塑料工业提供了丰富而廉价的原料。齐格勒与纳塔用有机金属配合物定向催化体系聚合工艺的创立、高分子学科的进一步发展及聚合技术的开拓,使得高密度聚乙烯和聚丙烯实现工业化生产。同时因聚碳酸酯和聚甲醛、聚酰亚胺等的相继出现且实现工业化生产,使得塑料向耐高温的领域发展。增强及复合材料的出现使塑料步入高强度、耐高温的尖端材料领域。这一阶段塑料的产量和品种不断增加,成型加工技术更趋完善。

4. 稳定增长阶段

20 世纪 70 年代以来,由于原材料价格猛涨,塑料的增长速度显著减缓。这一阶段塑料工业的特点是通过共聚、交联、共混、复合、增强、填充和发泡等方法来改进塑料的性能,提高产品的质量,扩大应用领域,生产技术更趋合理。塑料工业向着生产的自动化、连续化、系列化,以及不断开拓功能性塑料的新领域发展。

我国的塑料工业起步较晚,20 世纪 40 年代只有酚醛和赛璐珞两种塑料,年产量仅 200 t。50 年代末万吨级聚氯乙烯装置的投产和 70 年代中期几套引进石油化工装置的建成投产,使塑料工业有了两次跃进,与此同时,塑料成型加工机械和工艺方法也得到迅速发展,各种加工工艺都已齐全。

塑料作为一种新的工程材料,由于其不断被开发与应用,加之成型工艺不断完善,极大地促进了塑料成型模具的开发与制造。随着工业塑料制件、日用塑料制件的品种和需求量日益增加,产品的更新换代周期也越来越短,对塑料的产量和质量提出了越来越高的要求,也对成型技术与模具的要求更加苛刻。

1.2 塑料制品成型工艺及模具分类

1.2.1 塑料制品及成型方法分类

塑料工业分为塑料生产和塑料制件生产两大部分。塑料生产是指树脂或塑料制件原材料的生产,通常由树脂厂来完成。塑料制件生产(即塑料成型加工)是根据塑料性能,利用各种成型加工手段,使其成为具有一定形状和使用价值的物件或定型材料。

塑料制件生产主要包括成型、机械加工、修饰和装配四个生产过程。成型是将各种形态的塑料,制成所需形状的制件或型坯的过程。它是塑料制件生产中最重要且必不可少的过程,其他三个过程视制件要求而取舍。塑料制件生产过程与成型方法如图 1.1 所示。

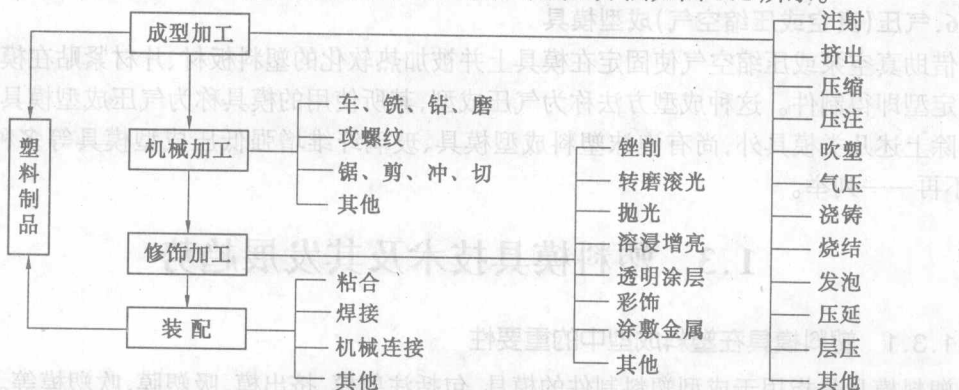


图 1.1 塑料制件的生产过程

1.2.2 塑料成型模具及其分类

塑料成型模具是成型塑料制品的主要工艺装备之一。成型模具使塑料获得一定的形状和所需性能,对达到塑料加工工艺要求、使用要求和造型设计要求起着重要作用。在塑料加工行业中约有 95% 的产品靠模具生产,产品的更新都是以工艺的改进和模具的更新为前提的。

塑料成型方法的种类繁多,其中主要有注射成型、压缩成型、压注成型、挤出成型、吹塑成型、气压成型等,因而成型模具也有多种类型。

1. 注射模

通过注射机的螺杆或柱塞使料桶内的熔融塑料经喷嘴和模具的浇注系统注入型腔,并在型腔内保压冷却固化成型。这种成型方法称为注射成型,其所使用的模具称为注射成型模具或注射模。注射模主要用于热塑性塑料制品的成型,近年来也越来越多地用于热固性塑料制品成型。注射成型以能够成型形状复杂的制件及生产率高等特点,使其在塑料制品生产中占有很大的比重,据统计,注射制件约占所有塑料制品总产量的 30%,注射模产量约占世界塑料成型模具产量的半数之多。

2. 压缩模

借助加热和加压使直接放入型腔内的塑料熔融并固化成型,这种成型方法称为压缩成型,其所使用的模具称为压缩成型模具或压缩模。压缩模多用于成型热固性塑料制品,也有用于成型热塑性塑料制品。另外还有不加热的冷压缩模,主要用于成型聚四氟乙烯坯件。

3. 压注模

通过柱塞使在加料腔内受热塑化熔融的塑料,经浇注系统压入被加热的闭合型腔并固化成型,这种成型方法称为压注成型,其所使用的模具称为压注成型模具或压注模。压注模多用于成型热固性塑料制品。

4. 挤出模

利用挤出机的加热加压装置,使处于粘流状态的塑料在高温高压下,通过具有特定断面形状的机头口模,并经冷却定型装置硬化定型,以获得具有所需断面形状连续型材,这种成型方法称为挤出成型,其所使用的模具称为挤出成型模具或挤出模,也称为挤出机头。

5. 中空吹塑成型模具

将挤出或注射出来的高弹状态的管状坯料置于模具型腔内,借助压缩空气使管坯膨胀贴紧于模具型腔壁上,冷却硬化后获得中空塑件,这种成型方法称为中空吹塑成型,其所使用的模具称为中空塑件吹塑模具或吹塑模。

6. 气压(真空或压缩空气)成型模具

借助真空泵或压缩空气使固定在模具上并被加热软化的塑料板材、片材紧贴在模具型腔,冷却定型即得制件。这种成型方法称为气压成型,其所使用的模具称为气压成型模具。

除上述几类模具外,尚有泡沫塑料成型模具、玻璃纤维增强低压成型模具等多种类型模具,不再一一列举。

1.3 塑料模具技术及其发展趋势

1.3.1 塑料模具在塑料成型中的重要性

塑料模具是指用于成型塑料制品的模具,包括注射模、挤出模、吸塑模、吹塑模等。

模具成型因其生产效率高、产品质量好、材料消耗少、生产成本低而获得广泛应用,统计表

明,利用模具制造的零件数量,在飞机、汽车、摩托车、拖拉机、电机、电器、仪器仪表等机电产品中占 80% 以上;在计算机、电视机、摄像机、照相机、录像机等电子产品中占 85% 以上;在电冰箱、洗衣机、空调、电风扇、自行车、手表等轻工业产品中占 90% 以上;在子弹、枪支等兵器产品中占 95% 以上。

据 1991 年统计,日本模具工业已实现了高度的专业化、标准化和商品化,在全国一万多家企业中,生产塑料模和生产冲压模的企业各占 40%。对韩国模具工业的最新统计表明,全国模具专业厂中生产塑料模的占 43.9%,生产冲压模的占 44.8%。新加坡国内 460 家模具加工企业中,60% 生产塑料模,35% 生产冲压模和夹具。由以上统计结果可以看出,由于塑料成型工业的发展,塑料模具已处于同冲压模具并驾齐驱的地位。

模具是最重要的工业生产手段和工艺发展方向,模具生产的工艺水平及科技含量的高低,在很大程度上决定着产品的质量、效益、新产品的开发能力,也成为衡量一个国家科技与产品制造水平的重要标志,决定着一个国家制造业的国际竞争力。美国工业界认为“模具工业是美国工业的基石”;日本称模具工业为“进入富裕社会的原动力”;德国给模具工业冠之以“金属加工业中的帝王”称号;欧盟一些国家称“模具就是黄金”;新加坡则把模具工业作为“磁力工业”;中国则称“模具是印钞机”。可见模具工业在各国经济发展中所具有的重要地位。目前,美国、日本、德国等发达国家的模具总产值都已超过机床总产值。模具技术的进步极大地促进了工业产品的发展,模具是“效益放大器”,用模具生产的最终产品的价值将超过模具自身价格的几十倍乃至上百倍、上千倍。

1.3.2 我国模具工业的发展状况

我国使用模具的历史已有数千年,当时的模具水平可谓世界最先进的技术水平,但近代与发达国家的模具工业相比,已明显落后。我国于 1984 年成立了模具协会,1987 年以后模具工业才开始形成规模。经过 20 多年的发展,目前我国已成为模具生产大国,模具工业水平在世界上的竞争力与影响力正日益增大。

据不完全统计,全国现有模具生产厂家 1.7 万个,从业人员 50 多万人(2001 年),其中年产值 500 万元以上的规模企业,2006 年已达 1 317 个。国内模具工业的销售额已由 1985 年的近 2 亿元增长到 2006 年的 720 亿元,20 年间增长 360 倍,模具的进出口总额由 1984 年的 2.56 万美元增长到 2006 年的 30 亿美元,21 年间增长了 120 倍。2001 年进口模具 11.2 亿美元,出口模具仅 1.88 亿美元,而 2006 年进口模具为 20 亿美元,出口模具达 10 亿美元,进口额的增长开始变缓,出口幅度继续增加。表 1.1 为规模 500 万元以上企业的发展情况。

表 1.1 规模 500 万元以上企业的发展情况

年份	企业数/个	工业总产值/亿元	从业人数/万人	销售收入/亿元	利润总额/亿元
2006	1 317	555.6	24.4	539.6	46.7
2005	1 173	414.5	21.3	409.0	35.7

我国模具工业的技术水平近年来也取得了长足的进步。大型、精密、复杂、高效和长寿命模具上了一个新台阶,部分模具已达到国际水平,有的已被国际大企业采用。在大型塑料模具方面,我国已能生产 48 英寸电视的塑壳模具、65 kg 大容量洗衣机全套塑料模具,以及汽车保险杠、整体仪表板等模具。在精密塑料模具方面,已能生产照相机塑料模具、多型腔小模数齿轮模具及塑封模具等。其他塑料模具,例如塑料门窗异型材挤出模等,也都达到了较高的水平,并可替代进口模具。

模具 CAD/CAE/CAM 技术得到广泛应用,开发出自主知识产权的模具 CAD/CAE/CAM 软件。电加工、数控加工在模具制造技术发展发挥了重要作用。热流道和气辅技术、快速原型技术、高速加工技术等都有了很大的进步。

但是,我国模具工业与发达国家相比还存在一定的差距,主要表现在以下几个方面。

1. 供需矛盾比较突出

目前国内模具市场的满足率仅在 70% 左右,大部分模具是企业自产自销,真正作为商品流通的模具仅占 1/3,所产模具基本上以中低档为主,一些大型、精密、复杂和长寿命的高档模具在技术上还无法与发达国家相比,生产能力远不能满足国民经济发展的需要。

2. 产品结构和企业结构不合理

我国模具产品结构中冲压模具约占 50%,塑料模具约占 34%,压铸模具约占 6%,其他各类模具约占 10%。而发达国家对发展塑料模具普遍比较重视,塑料模具所占比例一般在 40% 左右;大型、精密、长寿命模具所占比例为 50% 以上,而我国仅为 25% 左右;我国主要模具生产能力集中在各主机厂的模具分厂(或车间)内,所产模具商品化率很低,模具自产自销比例高达 60%~70%,而国外 70% 以上是商品模具;即使是专业模具厂,我国也大多数是“大而全”、“小而全”,而国外大多是“小而专”、“小而精”,生产效率和经济效益俱佳。

3. 专业化、标准化程度低

我国的模具生产除少量标准件外购外,大部分工作均需要模具厂自己去完成,加之企业管理体制上的约束,造成模具制造周期长,不能适应市场需求。

4. 设计和工艺技术落后

如模具 CAD/CAM 技术普及率不高,加工设备数控化程度低等,也造成了模具生产效率不高,周期较长。

5. 产品水平低

衡量模具产品的水平主要是模具加工的制造精度和表面粗糙度,加工模具的复杂程度,模具的使用寿命和制造周期等。国内外模具产品水平仍有较大差距,如国外塑料模具的最高加工精度为 0.005~0.01 mm,表面粗糙度 R_a 为 0.1~0.05 μm 。而我国的加工精度为 0.02 mm 和 R_a 为 0.2 μm 。国外模具的交货期约为 1 个月,我国模具的交货期则为 2~4 个月。

6. 工艺装备水平较差

我国机床工具行业已经可以提供成套的高精度模具加工设备,如加工中心、数控铣床、数控仿形铣床、电加工机床、坐标磨床、光曲磨床和三坐标测量机等。但在加工和定位精度、加工表面粗糙度、机床刚性、稳定性、可靠性、刀具和附件的配套性方面,与国外相比仍有较大差距。

1.3.3 模具成型技术的发展趋势

随着工业产品塑料化趋势的不断增强,塑料制件应用范围的不断扩大,对塑料制件在数量、质量、精度等方面均提出了越来越高的要求,并促使塑料成型技术不断向前发展。目前塑料成型技术正朝着精密化、微型化、超大型化和自动化成型的生产方向发展,其发展趋势有以下几个方面。

1. 塑料成型理论的深入研究

加深对塑料成型过程中所发生的物理、化学变化和力学行为的认识,借以改进生产技术和设备。到目前为止,有关挤出成型的流动理论和数学模型已经基本建立,并且在生产中得到应用。有关注射成型的流动理论和数学模型尚在探讨,注射成型的塑料熔体在一维和二维简单模腔中的流动理论和数学模型已经解决,今后的工作是如何将理论和生产实际相结合,

并进一步加强对塑料熔体在三维模腔中流动行为的研究。

2. 改革创新成型工艺

为适应新型塑料制件的要求及提高塑件质量和生产率需要,新的塑料成型工艺正不断涌现,如多种塑料共注射成型、多种工艺复合模塑成型、无流道注射成型、低发泡注射成型、反应注射成型和气辅注射成型等。

国外模具已有一半用上了无流道技术,有的企业甚至已达 80% 以上,该技术大幅度提高原材料利用率和节约能源,是塑料模的一大变革。气体辅助注射成型新工艺具有注射压力低、易于成型、制品翘曲变形少、表面质量好、壁厚差异小等优点,可在保证产品质量的前提下,大幅度降低成本。

3. 发展模具新结构、新材料和新工艺

重点开发精密、复杂、大型、微型、高效、长寿命模具,以满足塑料制件精密化、微型化和大型化的要求;发展多腔、多层、多工位模具及多功能模具、组合模具。

随着注射机注射速度与压力的提高,以及增强塑料的广泛应用和添加量的不断增多,模具寿命已成为一个突出问题,必须从模具材料及表面处理技术入手发展长寿命模具。

为了提高模具制造精度缩短制造周期,在模具型腔加工中广泛应用高精度、高效率、自动化机床(如仿形、数控、电加工机床和三坐标测量仪等)精密测量设备。此外,对精密铸造、冷挤压、超塑成形、电铸等型腔加工工艺应大力研究和推广应用,还应发展光能、声能和超声波等加工方法,如快速原型制造技术等,为现代模具制造提供新的工艺方法和加工途径。

4. 加强电子计算机在模具设计制造中的应用

塑料流变学、几何造型技术、数控加工以及计算机技术突飞猛进,为塑料模具 CAD/CAE/CAM 系统的开发创造了条件。目前国内外已陆续推出一些相应的软件系统并在生产中获得应用,其内容涉及注射产品造型、模具设计、绘图到数控加工数据的生成,并预测成型工艺及模具结构等有关参数的正确性。例如,采用熔体流动模拟软件考察塑料熔体在模具型腔内的流动过程,以此改进流道系统的设计,提高一次试模的成功率;采用应力分析软件预测塑件出模后的变形或翘曲程度。尽管注射模 CAD/CAE/CAM 技术在近十年内从理论研究到实际应用都取得飞速进步,但其商品化软件无论在功能和精度上还需要进一步发展和完善。

5. 加速模具零部件标准化和专业化

实践证明,标准化和专业化是缩短模具设计制造周期、降低模具成本行之有效的途径,同时也可计算机辅助设计与制造创造有利条件。各工业化国家对模具标准化和专业化生产均十分重视,美国和日本模具标准化程度已达 70% ~ 80%,而我国仅 20%;美国和日本的模具专业化生产程度分别达 90% 和 70%,而我国仅为 10%。

1.4 学习本课程的目的及方法

塑料成型技术的飞速发展,模具结构的日趋多功能化和复杂化,对模具设计工作提出了更高的要求。合格的塑料制件首先取决于模具的设计与制造的质量,其次取决于合理的成型工艺。发达国家把模具作为机械制造的重要装备,投入大量的财力物力进行开发和研制。近年来,我国也十分重视模具工业的发展和模具人才的培养,各类高等院校相继成立模具专业,“塑料成型工艺与模具设计”被列为模具专业的主要课程之一。

1.4.1 课程的目的与基本要求

本课程介绍常用塑料的成型工艺特性、注射成型工艺;介绍注射成型模具的工作原理、基本结构及各组成部分的作用与设计方法;同时跟踪本学科的发展,简要介绍先进的注射成型工艺和塑料的其他成型工艺。

本课程是模具设计与制造专业的主要专业课之一,通过学习本课程应能达到以下几方面要求:

- (1)了解当前塑料工业的现状和发展趋势。
- (2)了解聚合物的物理性能、流动成型特性及成型过程中的物理、化学变化;了解塑料的组成、分类及其性能特点。
- (3)熟悉常用塑料的成型工艺特性,注射成型的基本原理、工艺过程与工艺参数;正确分析成型工艺对模具的要求。
- (4)重点掌握注射成型模具的工作原理、基本结构及模具零部件的设计计算方法。
- (5)了解其他常用的塑料成型工艺的基本原理及工艺特点。
- (6)熟悉注射成型模具的设计程序,具有独立设计中等复杂程度注射模的能力。
- (7)具有初步分析、解决成型现场技术问题的能力,包括具有初步分析成型缺陷产生的原因和提出解决办法的能力。

1.4.2 本课程的学习方法

本课程与有机化学、机械制图、公差配合、金属材料及热处理、模具制造工艺学、塑料原料、塑料成型设备等课程关系紧密,学习时应及时复习相关课程的知识。

本课程是一门实践性很强的课程,学习本课程除了应重视相关工艺原理和结构原理外,应特别注意理论联系实际,配合必要的现场教学、实验、认识实习和生产实习等教学环节,增加感性认识,进一步加深对理论知识的理解。

学习时,应注意提高其设计能力,尤其是注射模的设计能力。通过毕业设计,最好采用真题真做的形式,使理论课学习向工程设计过渡,提高设计能力及解决实际问题的能力。学习时还要注意了解塑料模具的新技术、新工艺和新材料的发展动态,为我国塑料成型模具进入世界先进水平作出贡献。

附录A 塑料成型模具设计

塑料成型模具设计是塑料成型工艺的重要组成部分,也是塑料成型工艺中技术含量最高、难度最大的环节。随着塑料工业的快速发展,塑料成型模具的设计水平已成为衡量一个国家塑料工业水平的重要标志。本附录主要介绍塑料成型模具设计的基本原理、设计方法和设计步骤,为塑料成型模具的设计提供理论依据和参考。

第2章 塑料成型的理论基础

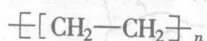
塑料成型是将塑料原材料转变为所需形状和性能的塑料零件(塑件)的一门工程技术。若要很好地掌握和应用这门技术,除需要在生产中不断积累经验外,还必须深入研究注射成型理论,熟悉塑料材料在转变成制品的过程中,其性能的变化和它所表现的变形流动行为与各种加工条件之间的关系。只有了解和掌握了这些关系,才有可能制订出合理的成型工艺方案,并设计出合理的模具结构来生产高质量的塑料制品。

塑料的主要成分是聚合物,常常用聚合物的名称命名。塑料在成型过程中表现出的各种性能变化和变形流动行为主要由聚合物的品种类型和特性决定。

2.1 聚合物大分子结构特点

2.1.1 大分子的形成

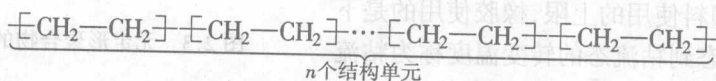
高分子聚合物指由许多相同的简单结构单元通过共价键重复连接而成的高相对分子质量(通常可达 $10^4 \sim 10^6$) 化合物。例如,聚乙烯分子是由许多乙烯分子结构单元 $-\text{CH}_2\text{CH}_2-$ 重复连接而成,因此 $-\text{CH}_2\text{CH}_2-$ 又称为结构单元或链节。由能够形成结构单元的小分子所组成的化合物称为单体,是合成聚合物的原料。聚乙烯可缩写成



式中, n 代表重复单元数,又称聚合度, n 越大,则聚合物的相对分子质量越高。 $n < 100$ 时称为低聚物;只有当 $n > 10^4$ 时才称为高分子聚合物。由一种单体聚合而成的聚合物称为均聚物,如上述的聚乙烯等;由两种以上单体共聚而成的聚合物则称为共聚物,如氯乙烯-醋酸乙烯共聚物等。

2.1.2 大分子的形态特点

聚合物大分子是由单体分子聚合而成的,对其结构进行的研究表明,大分子基本上都属于长链状结构,大分子中的各个单体通常由碳-碳键连接在一起。如乙烯单体中含有双键,该双键在聚合反应过程中可以被活化,通俗地讲,就是可以被打开,双键被打开以后,便可与其他单体进行聚合反应,从而使多个单体连接在一起,形成一个大分子长链,该长链的结构可用下式表达



通过聚合反应形成的大分子长链结构犹如一根细丝,十分容易弯曲。在没有外力作用时,这种细丝总是呈卷曲状,彼此之间互相交缠,恰似一个无规线团,如图 2.1 所示。研究还表明,碳-碳键彼此相接时有一定的角度,这个角度在外力作用下能够增大或减小。此外,碳-碳键还可以自由

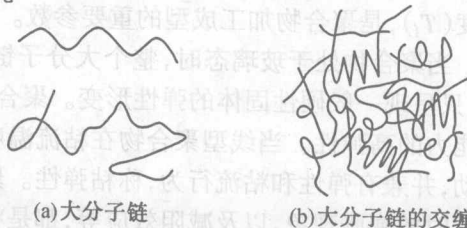


图 2.1 大分子的长链结构