



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

塑料成型工艺 与模具设计

第三版

主 编 屈华昌 吴梦陵
副主编 史安娜 张 俊

高等教育出版社

014057501

TQ320.66-43
06-3

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

塑料成型工艺与模具设计

Suliao Chengxing Gongyi yu Muju Sheji

第三版

主 编 屈华昌 吴梦陵

副主编 史安娜 张 俊



目录

第一章 绪论

第一节 塑料成型工艺与模具设计的发展概况

第二节 塑料成型工艺与模具设计的应用

第三节 塑料成型工艺与模具设计的研究现状

第四节 塑料成型工艺与模具设计的发展趋势

参考文献

附录

附录A 塑料成型工艺与模具设计常用术语

附录B 塑料成型工艺与模具设计常用材料

附录C 塑料成型工艺与模具设计常用设备

附录D 塑料成型工艺与模具设计常用标准

附录E 塑料成型工艺与模具设计常用软件

附录F 塑料成型工艺与模具设计常用术语

附录G 塑料成型工艺与模具设计常用材料

附录H 塑料成型工艺与模具设计常用设备

附录I 塑料成型工艺与模具设计常用标准

附录J 塑料成型工艺与模具设计常用软件

附录K 塑料成型工艺与模具设计常用术语

附录L 塑料成型工艺与模具设计常用材料

附录M 塑料成型工艺与模具设计常用设备

附录N 塑料成型工艺与模具设计常用标准

附录O 塑料成型工艺与模具设计常用软件

附录P 塑料成型工艺与模具设计常用术语

附录Q 塑料成型工艺与模具设计常用材料

附录R 塑料成型工艺与模具设计常用设备

附录S 塑料成型工艺与模具设计常用标准

附录T 塑料成型工艺与模具设计常用软件

附录U 塑料成型工艺与模具设计常用术语

附录V 塑料成型工艺与模具设计常用材料

高等教育出版社·北京



北航

C1742211

P

TQ320.66-43

06-3

01492520

内容提要

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在教育科学“十五”国家规划课题研究成果之一——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”项目成果教材基础上编写而成的。

全书共19章。第1~3章是塑料模具设计的基础,分别介绍了高分子聚合物的结构特点与性能、塑料的组成与工艺特性和塑料成型制件的结构工艺性。由于相对其他塑料模具而言,注射模具的设计最为复杂和困难,同时,塑料注射成型的方法应用也最为广泛,因此第4~11章共用8章篇幅介绍注射成型工艺和注射模的设计,以便使读者能够突破模具设计的难点,其内容包括:注射成型原理及工艺特性、注射模基本结构与注射机注射成型、分型面的选择与浇注系统设计、成型零部件设计、结构零部件设计、推出机构设计、侧向分型与抽芯机构、温度调节系统。为了让读者能够了解国内外塑料成型先进技术和成型新工艺,单独用第12章介绍注射成型新技术及其应用。第13、14章分别介绍了注射模具材料选用和注射模设计程序。第15~19章分别介绍了压缩成型工艺与压缩模设计、压注成型工艺与压注模设计、挤出成型工艺与挤出模设计、气动成型工艺与模具设计和发泡成型工艺与模具设计。本书在内容安排上的一大特点是:将每一类模具成型原理和成型工艺过程与该类模具的设计放在一起介绍,以便在熟悉成型工艺的基础上正确设计该类模具。

按照模具工业对应用型人才培养的专业需求,本书在修订中强调重实际应用和强能力培养,因此在注射模、压缩模、压注模及挤出模的结构设计介绍之后,分别列举了斜导柱侧向分型与抽芯机构结构的应用实例、压缩成型模具结构的应用实例、压注成型模具结构的应用实例和挤管机头结构的应用实例。

本书适合高等工科院校材料成型及控制工程专业使用,也可供机械类其他专业选用,还可供模具企业有关工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

塑料成型工艺与模具设计/屈华昌,吴梦陵主编

—3版. —北京:高等教育出版社,2014.8

ISBN 978-7-04-040105-9

I. ①塑… II. ①屈… ②吴… 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. ①TQ320.66

中国版本图书馆CIP数据核字(2014)第162244号

策划编辑 庚欣 责任编辑 庚欣 封面设计 李小璐 版式设计 余杨
插图绘制 杜晓丹 责任校对 杨凤玲 责任印制 田甜

出版发行 高等教育出版社
社 址 北京市西城区德外大街4号
邮政编码 100120
印 刷 北京宏伟双华印刷有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 26.75
字 数 650千字
购书热线 010-58581118
咨询电话 400-810-0598

网 址 <http://www.hep.edu.cn>
<http://www.hep.com.cn>
网上订购 <http://www.landraco.com>
<http://www.landraco.com.cn>
版 次 2007年8月第1版
2014年8月第3版
印 次 2014年8月第1次印刷
定 价 45.00元(含光盘)

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物料号 40105-00

前言

本书是普通高等教育“十一五”国家级规划教材,是在教育科学“十五”国家规划课题研究成果之一——“21世纪中国高等学校应用型人才培养体系的创新与实践”项目成果教材基础上,根据应用型本科材料成型及控制工程专业人才培养目标与规格的要求组织编写的。

按照现代模具工业技术人员必须具备正确设计塑料成型模具和合理制定塑料成型工艺的知识、技术和能力的人才培养目标要求,本书分成19章,在介绍了塑料成型在工业生产中的重要地位、塑料成型技术的现状及发展趋势、高分子聚合物结构特点与性能、塑料的组成与工艺特性及塑料成型制件的结构工艺性等设计塑料模具和制定塑料成型工艺的基本知识基础上,分别介绍了注射成型模、压缩成型模、压注成型模、挤出成型模、气动成型模、发泡成型模等模具的设计。在每一类模具的设计中,详细介绍了模具的结构组成、结构特点、工作原理、设计要点、模具成型生产所用的设备、模具材料和热处理要求等。在介绍每一类模具设计之前,都分别介绍了该类模具的成型工艺。由于在塑料的成型生产中,注射成型模应用最为广泛,而且模具的结构最为复杂,因此用10章篇幅对注射模基本结构与注射机、分型面的选择与浇注系统设计、成型零部件设计、结构零部件设计、推出机构设计、侧向分型与抽芯机构、温度调节系统、注射成型新技术的应用、注射模具材料选用和注射模设计程序做了重点介绍。在注射成型新技术应用的介绍中,对热固性塑料注射成型、气体辅助注射成型、精密注射成型、低发泡注射成型、共注射成型、排气注射成型、反应注射成型等新技术、新工艺进行了介绍。

模具技术是一门综合性很强的学科,是近年来飞速发展的学科之一。本书编写过程中力求知识新颖实用,结合近年来模具技术的发展注重反映先进技术。考虑材料成型及控制工程专业学生的知识结构,在内容安排上力求知识结构完整统一,且在详略处理和重点突出方面特色鲜明,便于教师组织教学。为了方便读者学习与思考,除绪论外的每章后面均附有思考题。

本次修订更新了绪论一章,介绍了模具和模具工业,塑料成型工业在生产中的重要地位,塑料成型技术的发展趋势,塑料成型模具的概念、功用与分类,本课程的学习目的与方法,让读者从一开始对模具和模具工业、塑料成型工业在生产中的重要地位、塑料成型技术的发展趋势、塑料模具设计的概念及本书的学习任务和学习方法有一个大概的了解,有助于深入学习这门课程。

在前两版对注射模、压缩模、压注模及挤出模的结构设计介绍之后增加应用实例的基础上,按照模具工业对应用型人才培养的专业需求,本次修订增加了第13、14章,分别介绍了注射模具材料选用和注射模设计程序,以便读者在设计模具时能够正确地选用模具的材料,掌握注射模具的设计步骤,从而能够较快地提高模具工程设计能力。

修订后的教材第3章中,将“塑件公差尺寸数值”和“精度等级选用”(GB/T 14486—1993)更新为新的国家标准(GB/T 14486—2008)。修订后的教材第8章中的“注射模的标准模架”,增加了美国、德国、日本等发达工业国家的标准模架简介,以利于模具领域中的国际合作。同时,用

最新的塑料模国家标准对老的标准进行了更新。

教材的附录中增加了塑料模具材料选用表和注射成型塑件成型缺陷分析表,为设计时模具材料选择及现场成型问题分析提供参考。

本书配有电子教案,可供教师教学使用。

本书共 19 章,绪论和第 6、7、9、10、12 章以及附录由南京工程学院屈华昌编写,第 1、2 章由常州工学院张建梅编写,第 3、8 章由常州工学院沈洪雷编写,第 4、5、17 章由沈阳工业学院史安娜编写,第 11、16、18、19 章由南京工程学院吴梦陵编写,第 13、14 章由宿迁学院张俊编写,第 15 章由南京工程学院胡德君编写,全书由南京工程学院屈华昌、吴梦陵任主编,史安娜、张俊任副主编,屈华昌负责全书的统稿工作。沙洲工学院伍建国教授审阅了全书,在此表示感谢。

本书在编写过程中得到了南京工程学院以及兄弟院校、有关企业专家的大力支持和帮助,在此一并表示感谢。感谢所有参考文献的作者,他们辛勤研究的成果也使得本书增色不少。

由于编者水平有限,书中难免不当和错漏之处,恳请使用本书的教师和广大读者批评指正。

编者

2013 年 8 月

目录

绪论	1	思考题	35
第1章 高分子聚合物结构特点 与性能	10	第3章 塑料成型制件的结构工艺性	36
1.1 高分子聚合物的结构特点	10	3.1 尺寸和精度	36
1.1.1 高分子与低分子	10	3.2 表面粗糙度	39
1.1.2 高聚物的结构特点	11	3.3 形状	39
1.2 聚合物的热力学性能	13	3.4 斜度	40
1.2.1 聚合物分子运动单元的多重性	13	3.5 壁厚	41
1.2.2 聚合物的热力学性能	14	3.6 加强肋及其他增强防变形结构	43
1.3 聚合物的流变学性质	15	3.7 支承面	45
1.3.1 牛顿流体与非牛顿流体	16	3.8 圆角	45
1.3.2 假塑性液体的流变学性质及其 影响因素	17	3.9 孔的设计	46
1.4 聚合物成型过程中的物理化学 变化	19	3.10 螺纹的设计	48
1.4.1 聚合物在成型过程中的物理变化	19	3.11 齿轮设计	50
1.4.2 聚合物在成型过程中的化学变化	21	3.12 嵌件和自攻螺钉孔设计	51
思考题	22	3.13 铰链	56
第2章 塑料的组成与工艺特性	24	3.14 标记、符号、文字	57
2.1 塑料的基本组成与分类	24	思考题	57
2.1.1 塑料的基本组成	24	第4章 注射成型原理及工艺特性	58
2.1.2 塑料的分类	26	4.1 注射成型原理	58
2.2 塑料成型的工艺特性	26	4.2 注射成型工艺	60
2.2.1 塑料的成型收缩性	27	4.2.1 成型前的准备	60
2.2.2 塑料的流动性	27	4.2.2 注射过程	60
2.2.3 塑料的相容性	29	4.2.3 塑件的后处理	61
2.2.4 塑料的热敏性和吸湿性	29	4.3 注射成型的工艺参数	62
2.2.5 塑料的比体积和压缩率	29	4.3.1 温度	62
2.3 常用塑料简介	30	4.3.2 压力	63
2.3.1 热塑性塑料	30	4.3.3 时间(成型周期)	64
2.3.2 热固性塑料	34	思考题	69
		第5章 注射模基本结构与注射机	70
		5.1 注射模的分类及结构组成	70

5.1.1 注射模具的分类	70	7.2.2 型腔和型芯径向尺寸的计算	133
5.1.2 注射模具的结构组成	70	7.2.3 型腔深度和型芯高度尺寸 的计算	135
5.2 注射模的典型结构	72	7.2.4 中心距尺寸的计算	135
5.2.1 单分型面注射模	72	7.2.5 螺纹型环和螺纹型芯工作尺寸 的计算	135
5.2.2 双分型面注射模	73	7.3 成型零部件的强度与刚度计算	137
5.2.3 斜导柱侧向分型与抽芯注射模	76	7.3.1 成型零部件强度、刚度计算需 要考虑的问题	138
5.2.4 斜滑块侧向分型与抽芯注射模	78	7.3.2 矩形型腔侧壁和底板厚度的 计算	139
5.2.5 带有活动镶件的注射模	79	7.3.3 圆形型腔侧壁和底板厚度的 计算	143
5.2.6 角式注射机用注射模	81	思考题	147
5.3 注射模与注射机	82	第 8 章 结构零部件设计	148
5.3.1 注射机的分类	82	8.1 注射模的标准模架	148
5.3.2 注射成型机型号规格的表示法	84	8.2 支承零部件设计	151
5.3.3 注射机有关工艺参数的校核	85	8.2.1 固定板、支承板	151
思考题	92	8.2.2 支承件	152
第 6 章 分型面的选择与浇注系统 设计	93	8.2.3 动、定模座板	153
6.1 分型面及其选择	93	8.3 合模导向机构设计	153
6.1.1 塑料制件在模具中的位置	93	8.3.1 导向机构的作用	153
6.1.2 分型面的选择	96	8.3.2 导柱导向机构	154
6.2 普通浇注系统设计	99	8.3.3 锥面定位机构	158
6.2.1 普通浇注系统的组成及设计 原则	99	思考题	159
6.2.2 主流道设计	102	第 9 章 推出机构设计	160
6.2.3 分流道设计	103	9.1 推出机构的结构组成与分类	160
6.2.4 浇口的设计	105	9.1.1 推出机构的结构组成	160
6.2.5 浇口位置选择与浇注系统 的平衡	112	9.1.2 推出机构的分类	161
6.2.6 冷料穴和拉料杆的设计	115	9.1.3 推出机构的设计要求	161
6.3 热流道浇注系统	116	9.2 推出力的计算	162
6.3.1 绝热流道	117	9.3 简单推出机构	163
6.3.2 加热流道	119	9.3.1 推杆推出机构	164
6.4 排气系统的设计	123	9.3.2 推管推出机构	167
思考题	124	9.3.3 推件板推出机构	168
第 7 章 成型零部件设计	125	9.3.4 活动镶件及凹模推出机构	169
7.1 成型零部件的结构设计	125	9.3.5 多元推出机构	169
7.1.1 凹模和凸模的结构设计	125	9.3.6 推出机构的导向与复位	171
7.1.2 螺纹型环和螺纹型芯结构设计	128	9.4 二次推出机构	172
7.2 成型零部件的工作尺寸计算	132		
7.2.1 影响成型零件工作尺寸的因素	132		

9.4.1 单推板二次推出机构	172	10.7.2 传动齿条固定在动模一侧	234
9.4.2 双推板二次推出机构	176	10.8 弹性元件侧向分型与抽芯	
9.5 定、动模双向顺序推出机构	179	机构	234
9.6 浇注系统凝料的推出机构	181	10.9 手动侧向分型与抽芯机构	236
9.6.1 点浇口浇注系统凝料的推出	181	10.10 液压或气动侧向分型与抽芯	
9.6.2 潜伏浇口浇注系统凝料的推出	185	机构	237
9.7 带螺纹塑件的脱模	187	思考题	238
思考题	190	第 11 章 温度调节系统	239
第 10 章 侧向分型与抽芯机构	192	11.1 模具温度及塑料成型温度	239
10.1 侧向抽芯机构的分类及组成	192	11.1.1 模具温度及其调节的重要性	239
10.1.1 侧向分型与抽芯机构的分类	192	11.1.2 模具温度与塑料成型温度的	
10.1.2 侧向分型与抽芯机构的组成	193	关系	239
10.2 抽芯力与抽芯距的确定	194	11.2 冷却回路的尺寸确定	241
10.2.1 抽芯力的确定	194	11.3 常见冷却系统的结构	242
10.2.2 抽芯距的确定	194	11.3.1 冷却水回路的布置	242
10.3 斜导柱侧向分型与抽芯机构	195	11.3.2 常见冷却系统的结构	245
10.3.1 斜导柱侧抽芯机构的组成与		11.4 模具的加热系统	249
工作原理	195	11.4.1 模具加热的方式	249
10.3.2 斜导柱的设计	196	11.4.2 模具加热装置的要求和计算	250
10.3.3 侧滑块的设计	202	思考题	252
10.3.4 导滑槽的设计	202	第 12 章 注射成型新技术的应用	253
10.3.5 楔紧块的设计	204	12.1 热固性塑料注射成型	253
10.3.6 侧滑块定位装置的设计	205	12.1.1 热固性塑料注射成型工艺要点	253
10.3.7 斜导柱侧向分型与抽芯的应用		12.1.2 热固性塑料注射模设计简介	255
形式	205	12.2 气体辅助注射成型	256
10.3.8 斜导柱侧向分型与抽芯机构结		12.2.1 气体辅助注射成型的原理	256
构应用实例	215	12.2.2 气体辅助注射成型的分类及工	
10.4 弯销侧向分型与抽芯机构	222	艺过程	257
10.4.1 弯销侧向分型与抽芯机构的		12.2.3 气体辅助注射成型的特点	259
工作原理	222	12.2.4 气体辅助注射的周期	260
10.4.2 弯销侧向分型与抽芯机构的		12.2.5 气体辅助注射系统	260
特点	222	12.2.6 气体辅助注射成型应用实例	261
10.5 斜导槽侧向分型与抽芯机构	224	12.3 精密注射成型与模具设计	261
10.6 斜滑块侧向分型与抽芯机构	225	12.3.1 精密注射成型的工艺特点	263
10.6.1 斜滑块导滑的侧向分型与抽芯	226	12.3.2 精密注射成型工艺对注射机	
10.6.2 斜导杆导滑的侧向分型与抽芯	229	的要求	264
10.7 齿条齿轮侧向分型与抽芯		12.3.3 精密注射成型对注射模的设	
机构	231	计要求	265
10.7.1 传动齿条固定在定模一侧	231		

12.4	低发泡注射成型	267	15.1.3	压缩成型的工艺参数	295
12.4.1	低发泡注射成型方法	268	15.2	压缩模设计	297
12.4.2	低发泡注射成型的工艺参数	269	15.2.1	压缩模的结构组成与分类	297
12.4.3	低发泡注射成型模具设计简介	270	15.2.2	压缩模与压力机的关系	302
12.5	共注射成型	271	15.2.3	压缩模成型零部件设计	305
12.5.1	双色注射成型	271	15.2.4	加料室尺寸计算	310
12.5.2	双层注射成型	273	15.2.5	压缩模脱模机构设计	312
12.6	排气注射成型	274	15.2.6	压缩成型模具结构的应用实例	318
12.6.1	排气注射成型原理	274	思考题		320
12.6.2	排气注射成型工艺	275	第16章	压注成型工艺与压注模设计	322
12.7	反应注射成型	276	16.1	压注成型工艺	322
12.7.1	反应注射成型原理及其应用	276	16.1.1	压注成型原理及其特点	322
12.7.2	反应注射成型设备	277	16.1.2	压注成型的工艺过程	323
12.7.3	反应注射成型模具	278	16.1.3	压注成型的工艺参数	323
思考题		279	16.2	压注模设计	324
第13章	注射模具材料的选用	280	16.2.1	压注模的结构组成与分类	325
13.1	注射模的工作条件和失效形式	280	16.2.2	压注模与液压机的关系	328
13.1.1	工作条件	280	16.2.3	压注模零部件设计	328
13.1.2	失效形式	281	16.2.4	加料室尺寸计算	331
13.2	模具材料及其选用	282	16.2.5	压注模浇注系统与排溢系统设计	332
13.2.1	注射模对材料的要求	282	16.2.6	压注成型模具结构的应用实例	335
13.2.2	常用模具钢的种类及其选用	284	思考题		338
13.3	注射模具新材料	285	第17章	挤出成型工艺与挤出模设计	339
13.3.1	渗碳型塑料模具用钢	285	17.1	挤出成型工艺	339
13.3.2	淬硬型塑料模具用钢	286	17.1.1	挤出成型原理及特点	339
13.3.3	预硬型塑料模具用钢	286	17.1.2	挤出成型工艺过程	340
思考题		288	17.1.3	挤出成型工艺参数	341
第14章	注射模设计程序	289	17.2	挤出模的结构组成及分类	344
14.1	塑料产品及成型工艺分析	289	17.2.1	挤出模的结构组成	344
14.1.1	塑料产品分析	289	17.2.2	挤出机头的分类	345
14.1.2	塑件成型的工艺分析	289	17.2.3	挤出机头的设计原则	345
14.2	注射模具设计的一般步骤	290	17.2.4	机头材料的选择	346
思考题		292	17.3	挤出模与挤出机	347
第15章	压缩成型工艺与压缩模设计	293	17.3.1	挤出机的分类	347
15.1	压缩成型工艺	293	17.3.2	挤出机的结构组成	348
15.1.1	压缩成型原理及其特点	293	17.3.3	单螺杆挤出机的主要技术参数	349
15.1.2	压缩成型工艺过程	294	17.3.4	挤出机工艺参数的校核	350
			17.4	管材挤出机头	351
			17.4.1	管材机头的分类	351

17.4.2	管材机头的结构设计	353	18.2	抽真空成型工艺与模具设计	385
17.4.3	定径套的设计	355	18.2.1	抽真空成型的特点、分类及其成型 工艺过程	385
17.4.4	挤管机头结构的应用实例	357	18.2.2	抽真空成型塑件设计	388
17.5	异型材挤出机头	359	18.2.3	抽真空成型模具设计	389
17.5.1	异型材的结构形式	359	18.3	压缩空气成型工艺与模具设计	390
17.5.2	异型材挤出成型机头的形式	360	18.3.1	压缩空气成型工艺过程	390
17.5.3	异型材结构设计	361	18.3.2	压缩空气成型模具设计	391
17.5.4	异型材挤出模具结构设计	362	思考题		395
17.6	电线电缆挤出机头	363	第 19 章 发泡成型工艺与模具设计	396	
17.6.1	挤压式包覆机头	363	19.1	发泡成型工艺	396
17.6.2	套管式包覆机头	364	19.1.1	泡沫塑料的成型原理	397
17.7	片材挤出机头	365	19.1.2	可发性聚苯乙烯的制备	398
17.7.1	鱼尾式机头	365	19.1.3	聚苯乙烯泡沫塑料的成型工艺	400
17.7.2	支管式机头	366	19.2	发泡成型模具设计	400
17.7.3	螺杆式机头	368	19.2.1	聚苯乙烯泡沫塑料成型模具	400
思考题		368	19.2.2	模具设计应注意的问题	402
第 18 章 气动成型工艺与模具设计	369		思考题		403
18.1	中空吹塑成型工艺与模具设计	369	附录		404
18.1.1	中空吹塑成型的分类及成型工艺 过程	369	参考文献		416
18.1.2	中空吹塑制件结构工艺性	372			
18.1.3	吹塑成型的工艺参数	375			
18.1.4	中空吹塑设备	376			
18.1.5	挤出吹塑模具设计	382			

绪论

一、模具和模具工业

模具是工业产品生产用的重要工艺装备,现代工业生产离不开模具,模具工业已成为工业发展的基础,许多新产品的开发和研制在很大程度上都依赖于模具生产,特别是在汽车、摩托车、轻工、电子、航空等行业尤为突出。而作为制造业基础的机械行业,根据国际生产技术协会的统计,到2000年,机械制造工业的零件生产中粗加工的75%和精加工的50%都由模具成形完成。单就汽车产业而言,一个型号的汽车所需模具达几千副,价值上亿元,而当汽车更换车型时约有80%的模具需要更换。另外,电子和通信产品对模具的需求也非常大,在发达国家往往占到模具市场总量的20%之多。电子、汽车、电机、电器、仪器、仪表、通信和军工等产品中,60%~80%的零部件都要依靠模具成型。用模具成型的制件所表现出来的高精度、高复杂性、高一致性、高生产率和低消耗,是其他加工制造方法无法比拟的。模具在很大程度上决定着产品的质量、效益和开发能力,因此模具工业已经成为国民经济的重要基础工业。模具工业发展的关键是模具技术的进步。模具作为一种高附加值和技术密集型产品,其技术水平的高低已成为衡量一个国家制造水平的重要标志之一。世界上许多国家,特别是一些工业发达国家都十分重视模具技术的开发,大力发展模具工业,积极采用先进技术和设备提高模具制造水平,并且已经取得了显著的经济效益。模具工业在经济繁荣和经济萧条时都不可或缺,经济发展快时产品畅销,自然要求模具相适应;而经济发展滞缓时期,产品不畅销,企业必然千方百计地开发新产品,这同样会对模具带来强劲需求。因此,模具工业被称为不衰的工业。

近几年,世界模具市场总体上供不应求,市场需求量维持在每年1 000亿美元至1 500亿美元,其中美国、日本、法国、瑞士等国一年出口模具约占本国模具总产值的1/3。同时,我国的模具产业也迎来了新一轮的发展机遇,模具产业总产值保持15%的年增长率,模具及模具标准件出口量不断增加。我国模具行业的企业数量和职工总人数已跃居世界第一,模具行业的生产规模已占世界总量的近10%,位居世界前列。因此,研究和发发展模具技术,提高模具技术水平,对于促进国民经济的发展有着特别重要的意义。美国工业界认为“模具工业是美国工业的基石”;德国则冠之为“加工工业中的帝王”、所有工业的“关键工业”;欧美其他一些发达国家模具被称为“磁力工业”;日本把模具誉为“进入富裕社会的原动力”、“模具是整个工业发展的秘密”,其模具年产值达到13 000亿日元,远远超过日本机床总产值9 000亿日元。如今,世界模具工业的发展已经超过了新兴的电子工业。模具水平的高低,决定着产品的质量、效益和新产品的开发能力,已成为衡量一个国家制造水平高低的重要标志,由此可见模具工业在各国国民经济中的重要地位。可以预言,随着工业生产的不断发展,模具工业在国民经济中的地位将日益提高,并在国

民经济发展过程中发挥越来越重要的作用。

二、塑料成型工业在生产中的重要地位

塑料成型所用的模具称为塑料成型模,是用于成型塑料制件的模具,是型腔模中的一种类型。塑料成型工业是新兴的工业,是随着石油工业的发展应运而生的。目前,塑料制件几乎已经进入一切工业部门以及人民日常生活的各个领域。塑料工业又是一个飞速发展的工业领域。世界塑料工业从20世纪30年代前后开始研制,到目前塑料产品系列化、生产工艺自动化、连续化以及不断开拓功能塑料新领域,经历了30年代以前的初创阶段,30年代的发展阶段,50、60年代的飞跃发展阶段和70年代至今的稳定增长阶段。我国塑料工业的发展也同样经历过这些阶段。目前,我国石化工业一年生产500多万吨聚乙烯、聚丙烯和其他合成树脂。这些树脂中,很大一部分需要用塑料模具成型制成塑料件,才能用于工业生产和人们日常生活。塑料作为一种新的工程材料,其不断开发与应用,加之成型工艺的不断成熟、完善与发展,极大地促进了塑料成型方法的研究与应用和塑料成型模具的开发与制造。随着工业塑料制件和日用塑料制件的品种和需求量的日益增加,这些产品更新换代的周期越来越短,因此对塑料的品种、产量和质量都提出了越来越高的要求。这就要求塑料模具的开发、设计与制造的水平也必须越来越高。

现代塑料成型生产中,塑料制件的质量与塑料成型模具、塑料成型设备和塑料成型工艺密切相关。其中,塑料成型模具质量最为关键,它的功能是双重的,赋予塑料熔体以期望的形状、性能、质量;冷却并推出成型的制件。模具是决定最终产品性能、规格、形状及尺寸精度的载体。塑料成型模具是使塑料成型生产过程顺利进行,保证塑料成型制件质量不可缺少的工艺装备,是体现塑料成型设备高效率、高性能和合理先进塑料成型工艺的具体实施者,也是新产品开发的决定性环节。由此可见,为了周而复始地获得符合技术经济要求及质量稳定的塑料制件,塑料成型模具的优劣是关键,它最能反映整个塑料成型生产过程的技术含量及经济效益。

新近有关统计资料表明,在国内模具工业的模具产品结构中,各类模具占模具总量的比例大致如下:塑料模约占43%,冲压模所占比例约为37%,压铸模约为10%,其他类模具占10%。尤其是在长江三角洲和珠江三角洲,塑料模所占比例更为突出。由此可见,塑料模在我国各类模具的占有比例从塑料模和冲压模并驾齐驱的局面已转变为“老大”的地位。随着我国经济与国际接轨和国家经济建设持续稳定发展,塑料制件的应用快速上升,模具设计与制造和塑料成型的各类企业日益增多,塑料成型工业在基础工业中的地位日益重要并对国民经济的影 响越发明显。

三、塑料成型技术的发展趋势

目前为止,我国在塑料模的制造精度、模具标准化程度、制造周期、模具寿命以及塑料成型设备的自动化程度和精度等方面已经有了长足的进步,但与国外先进工业国家相比仍有一定的差距。许多精密技术、大型薄壁和长寿命塑料模具自主开发的生产能力还较薄弱。要加速发展模具工业,应在模具先进的设计技术、先进的制造技术和开发研制优质的模具材料等方面下工夫,以提高模具的整体制造水平和模具在国内外的市场竞争能力。

考察国内外模具工业的现状及其我国国民经济和现代工业品生产中模具的地位,从塑料成型

模具的设计理论、设计实践和制造技术、模具标准化、优质模具材料的研究、专用的机床设备和生产技术的管理等出发,大致有以下几个方面的发展趋势。

1. CAD/CAE/CAM 技术在模具设计与制造中的应用

经过多年的推广应用,模具设计“软件化”和模具制造“数控化”已经在我国模具企业中成为现实。采用 CAD 技术是模具生产的一次革命,是模具技术发展的一个显著特点。引用模具 CAD 系统后,模具设计借助计算机完成传统设计中的各个环节的设计工作,大部分设计与制造信息由系统直接传送,图纸不再是设计与制造环节的分界线,也不再是制造、生产过程中的唯一依据,图纸将被简化,甚至最终消失。近年来,CAD 技术发展主要有如下特点。

1) 模具 CAD 技术及其应用日趋成熟 CAD/CAE/CAM 技术从 20 世纪 60 年代基于线框模型 CAD 系统开始,到 70 年代以曲面造型为核心的 CAD/CAM 系统,80 年代实体造型技术的成功应用,90 年代基于特征的参数化实体/曲面造型技术的完善,为 CAD/CAM 技术提供了可靠的保障。目前已发展成为一项比较成熟的技术,同时其硬件和软件价格已经降低到中小企业普遍可以接受的程度,为其进一步普及创造了良好的条件。根据统计,90% 以上的模具供应商使用 3D 设计软件进行模具设计工作,所使用的软件种类也不尽相同,目前在模具工业中使用最为广泛的是 PTC 公司的 Pro/E、UGS 公司的 UG-II 和 SDRC 公司的 I-DEAS 这 3 种软件

2) 基于网络的 CAD/CAM/CAE 技术一体化结构将是未来的发展趋势 这种发展趋势将发挥越来越重要的作用,如果设计信息不能被分享,那将会严重压制企业的发展,将无法实际生产过程中的分工协作要求。未来的 CAD/CAM/CAE 将会逐步发展为支持从设计、分析、管理和加工全过程的产品信息集成管理系统。同时,基于网络的产品设计、模具开发、生产管理异地协同开发制造模式将日趋完善。无论你身处何地,无论是任职于产品研发部门还是模具制造部门,都可以基于所赋予的权限共享数据库中的信息。随着计算机硬件和软件的进步以及工业部门的实际需求,国外许多著名计算机软件开发商已能按实际生产过程中的功能要求划分产品系列,在网络系统下实现了 CAD/CAM 的一体化,解决了传统混合型 CAD/CAM 系统无法满足实际生产过程分工协作的要求,从而更能符合实际应用的自然过程。

3) CAD/CAM 软件的智能化程度正在逐渐提高 由于现阶段模具设计和制造在很大程度上仍然依靠模具设计和制造的经验,任何一个企业要掌握全部先进的技术,成本都将非常昂贵,要培养并且留住掌握这些技术的人才也会非常困难。于是,模具 CAD 的 ASP 模式就应运而生了,应用服务包括如逆向设计、快速原型制造、数控加工外包、模具设计和模具成型过程分析等,这样使得许多用于模具加工的数控机床统一化、一体化,使整个社会的模具制造企业按照价值链和制造流程分工,将制造资源最优发挥。

另外,在大型复杂塑料模设计过程中,浇注系统的塑料熔体流动模拟显得必不可少。因此,CAE 技术的应用对注射模技术的发展起着十分重要的作用。CAE 技术从 20 世纪 60 年代的一维流动和冷却分析到 70 年代的二维流动和冷却分析,再到 90 年代的三维流动和冷却分析,其应用范围已经扩展到保压分析、纤维分子趋向和翘曲预测等领域。塑料注射成型 CAE 商品化软件中应用最广泛的是美国 Moldflow 开发的模拟软件 MF。

在今后的一段时期内,国内的模具企业要继续提高 CAD/CAE/CAM 技术在塑料模设计与制造中的应用层次。

2. 大力发展快速原型制造

塑料模是型腔模具中的一种类型,其模具型腔由凹模和凸模组成。对于具有形状复杂的曲面塑料制件,为了缩短研制周期,在现代制造模具技术中,可以不急于直接加工出难以测量和加工的模具凹模和凸模,而是采用快速原型制造技术,先制造出与实物相同的样品,看该样品是否满足设计要求和工艺要求,然后再开发模具。快速原型制造(RPM)技术是一种综合运用计算机辅助设计技术、数控技术、激光技术和材料科学的发展成果,采用分层增材制造的新概念取代了传统的去材或变形法加工,是当代最具有代表性的制造技术之一。快速原型制造工艺方法有选区激光烧结、熔融堆积造型和叠层制造等多种。利用快速成型技术不需任何工装,可快速制造出任意复杂的工件以及甚至连数控设备都极难制造或根本不可能制造出来的产品样件,这样大大减少了产品开发的成本和加工费用,缩短了研制周期。目前,我国某些大学正在生产和进一步的开发研制这种先进的快速原型制造设备。该项先进制造技术在国内少数的塑料和压铸企业已经得到应用,并且正在大力推广。

3. 研究和应用模具的快速测量技术与逆向工程

在产品的开发设计与制造过程中,设计与制造者面对的往往并非是由 CAD 模型描述的复杂曲面实物样件,这就必须通过一定的三维数据采集方法,将这些实物原型转化为 CAD 模型,从而获得零件几何形状的数学模型,使之能利用 CAD、CAM、RPM 等先进技术进行处理或管理。这种从实物样件获取产品数学模型的相关技术,称为逆向工程或反求工程技术。对于具有复杂自由曲面零件的模具设计,可采用逆向工程技术,首先获取其表面几何点的数据,然后通过 CAD 系统对这些数据进行预处理,并考虑模具的成形工艺性再进行曲面重构以获得模具的凹模和凸模的型面,最后通过 CAM 系统进行数控编程,完成模具的加工。原型实样表面三维数据的快速测量技术是逆向工程的关键。三维数据采集可采用接触式(如三坐标测量机测量和接触扫描测量)和非接触式(如激光摄像法等)方法进行。采用逆向工程技术不但可缩短模具设计周期,更重要的是可提高模具的设计质量,提高企业快速应变市场的能力。逆向工程是一项先进的现代模具成型技术,目前国内能采用该项技术的企业还不多,应逐步加以推广和应用。

4. 发展优质模具材料并采用先进的热处理和表面处理技术

模具材料的选用在模具的设计与制造中是一个涉及模具加工工艺、模具使用寿命、塑料制件成型质量和加工成本等的重要问题。国内外模具材料的研究工作者在分析模具的工作条件、失效形式和如何提高模具使用寿命的基础上,进行了大量的研究工作,开发研制出具有良好使用性能和加工性能好、热处理变形小、抗热疲劳性能好的新型模具钢种,如预硬钢、耐腐蚀钢等。

在材料的熔炼方面,提高材料的纯净度已成为进一步提高材料质量与性能的重要措施和发展方向。模具材料通过炉外精炼、真空脱气及电渣重熔等冶炼工艺来降低钢中的硫、磷含量,已经成为模具材料生产企业提高材质的常规措施。近年来,国外钢生产企业除在冶炼上采取一系列措施提高钢的性能外,还采用多向锻造等措施,消除碳化物的偏析,缩小钢的纵横向性能差,提高钢的等向性,从而大幅度提高了模具寿命。

表面处理对于提高模具材料的使用寿命也有一定的弥补作用。由于模具失效大多源于表面,因此提高模具的耐磨性、耐蚀性和表面疲劳强度是提高模具寿命的一个重要途径。用于改变模具表面性能的途径有多种,其中热扩渗技术是普遍采用的改性技术。目前这项技术正向二元或多元共渗的工艺方向发展。渗氮和碳氮共渗是常用的工艺。渗氮工艺有气体氮化法和离子氮

化法;碳氮共渗是在一定温度下同时在工件表面将碳氮渗入的工艺,模具表面硬度可以达到 HV 500 ~ 700。

另外,热处理技术由大气热处理向真空热处理发展,激光强化、辉光离子碳化技术等也受到重视。目前,上述的研究与开发工作还在不断地深入进行,已取得的成果也正在大力推广。

5. 提高模具标准化水平和模具标准件的使用率

模具的标准化水平在某种意义上也体现了某个国家模具工业发展的水平。采用标准模架和使用标准零件,可以满足大批量制造模具和缩短模具制造周期的需要。经过一段时期的建设,我国模具标准化程度正在不断提高,估计目前我国模具标准件使用覆盖率已达 40% 左右。发达国家的模具标准件使用覆盖率一般为 80% 左右。为了适应模具工业发展,模具标准化工作必将加强,模具标准化程度将进一步提高,模具标准件生产也必将得到发展。目前,我国塑料模标准化工作有了一定的进展,由全国模具标准化委员会(SAC/TC33)归口,桂林电器科学研究所、龙记集团、浙江亚轮塑料模架有限公司、昆山市中大模架有限公司联合修订的 28 项塑料模国家标准已于 2007 年 4 月 1 日起实施。新版国家标准包括《塑料注射模零件技术条件》(GB/T 4170—2006)、《塑料成型模术语》(GB/T 8846—2005)、《塑料注射模技术条件》(GB/T 12557—2006)、《塑料注射模模架》(GB/T 12555—2006)、《塑料注射模模架技术条件》(GB/T 12556—2006)、《塑料注射模零件》(GB/T 4169.1 ~ GB/T 4169.23—2006)。新版国家注射模标准的最大特点是模架和零件的尺寸规格作了全面的修改,符合当前国内模具行业的生产实际。其中,温控能达到 $\pm 1^\circ\text{C}$ 的热流道及系统、精密塑料模具中的无油润滑推杆推管等,属于应予大力发展的高档模具标准件。这些产品生产技术的突破,包括热流道材料及精密温控技术、热流道喷嘴精密加工技术等,将有助于提高我国大型精密模具的水平。

从技术经济角度考虑,应大力推进模具标准化的原因有如下几点。

a. 对模架及通用零件实行标准化,以减少不必要的品种、规格,实行模架系列化和结构零部件标准化,并使之进入商品流通领域,可以大大缩短模具的生产周期,降低生产成本,以取得最大的技术经济效益。

b. 在模具技术标准中严格规定模架、通用零部件的品种、规格、性能、试验和检验方法,包装和储运条件,从而保证模具设计质量和制造中必须达到的质量规范,以保证模具制造质量,使零件的不合格率减少到最低限度。

c. 模具的技术名词术语、技术条件的规范化、标准化,与国际模具标准化组织制定的国际通用标准接轨,从而提高我国模具生产技术和产品质量,缩短与国际先进水平的差距,逐步达到国际先进生产技术水平,以增强国家的技术经济实力和国际竞争能力。

d. 实行模具技术标准化,是采用现代模具生产技术与装备,实现模具的 CAD/CAM,采用和充分使用高效、精密数控加工机床,建立模具柔性成形加工技术的基础。同时,可以使模具设计人员将主要精力放在改进模具设计、研究新技术等创造性的劳动方面。

6. 热流道技术的广泛应用

热流道技术最早应用于汽车制造所需的大型塑料件,但随着热流道技术的成熟应用,同时伴随价格降低,越来越多的塑料模具也将应用热流道技术。据估测,目前,我国的热流道技术应用率不到 10%,而欧美国家的应用率大约在 30% 以上。采用热流道技术的模具,一方面可以提高塑料件的生产率和质量,另一方面能节省塑料原材料,从而达到节约能源的目的。但热流道系统

也存在价格昂贵,结构相对复杂,加热元器件的质量有时也会影响模具的正常生产等不足。热流道技术综合性强、难度较高,但所带来的益处也显而易见,所以广泛应用这项技术是塑料模具行业当前和未来的趋势。

7. 模具的大型化与精密化、复杂化

随着塑料应用领域日益扩大,为了满足塑料制件在各种工业产品中的使用要求,塑料成型技术正朝着大型化、精密化与复杂化方向发展。在建筑、机械、汽车、仪器、家用电器上采用的许多塑料件,例如汽车壳体、汽车保险杠、洗衣机桶、大周转箱等,都需要相应的大型模具,特别是大型塑料注射模具。大型模具设计要求详细准确的理论计算,由于模具大、熔料流程长、型腔容易变形等,因此结构设计必须做更为重要的周密考虑。

随着电子工业的飞速发展,计算机、手机等电子元器件的塑料件精度要求越来越高,这就要求设计精密塑料注射成型模具和采用精密注射成型设备。

大型和精密塑料件一般都比较复杂,成型模具更需要采用先进的模具 CAD/CAE/CAM 技术来设计与制造,否则这类投资很大的模具研制将难以获得成功。

8. 用于模具工业的高速加工技术的推广

为了提高模具的寿命,通常模具型腔及相关零件都要用高强度材料制造。这些材料经过热处理以后强度更高,很难用常规的机械加工方法进行加工。因此,模具型腔一般都需要采用电加工(包括分电成型和线切割),所以电加工在模具制造中一直起着十分重要的作用。但是,电加工又存在加工过程缓慢、生产效率低、制造质量不稳定,不论在模具的开发速度方面还是在模具制造质量方面,均不能满足批量生产的要求。从这一角度看,模具在一定程度上已成为影响新产品开发速度的一个关键因素。高速加工技术的出现,为模具制造技术开辟了一条崭新的道路。尽可能用高速加工代替电加工,是加快模具开发速度、提高模具制造质量的必经之路。

1) 产品质量好 高速切削以高于常规 10 倍左右的切削速度对零件进行高速加工,毛坯材料的余量还来不及充分变形就在瞬间被切离工件,工件表面的残余应力非常小;切削过程中产生的绝大多数热量(95% 以上)被切屑迅速带走,工件的热变形小;零件的精度高,表面质量好,其粗糙度 Ra 可以达到 $0.6 \mu\text{m}$ 以上。经切削的型腔表面质量达到磨削水平,可省去后续的许多精加工工序。

2) 生产效率高 用高速度加工中心加工模具,可以在一次装夹中完成型腔的粗精加工和模具零件其他部位的机械加工,切削速度很高,加工效率比电加工高出好几倍。

3) 加工范围广 高速切削可以加工材料硬度高达 60 HRC 以上的淬火钢,加工过程不用切削液,即所谓硬切削和干切削。另外,加工中横向切削力很小,有利于加工模具复杂型腔中的细筋和薄壁,其壁厚甚至可以小于 1 mm。

目前,高速切削加工已向更高的敏捷化、智能化、集成化方向发展。高速铣削加工促进了模具加工技术的发展,特别是向汽车、家电行业中大型型腔模具制造注入了新的活力。

四、塑料成型模具的概念、功用与分类

1. 塑料成型模具的概念和功用

所谓模具是指利用其本身特定的形状成型具有一定形状和一定尺寸精度制品的专用工具。

模具是工业生产的基础工艺装备,也被称为“工业之母”。在实际的工业产品中,75%的粗加工产品的零件、50%的精加工产品的零件,都是由模具成型。由上述对模具概念的表述可知,塑料成型模具就是指用于成型具有特定形状和一定尺寸精度塑料制品(简称塑件)的一类模具。更加确切地说,塑料成型模具绝大部分是型腔模具,它的型腔由凹模(成型塑件的外部形状)和凸模(成型塑件的内部形状)所组成。在成型过程中,塑料熔体充填模具的型腔,冷却、固化后经推出机构推出后就成了塑料制品。

在 高分子材料加工领域,塑件主要是靠成型模具获得的。在现代塑件的生产中,先进的成型模具、合理的成型工艺、高效的成型设备是必不可少的三项重要因素,尤其是塑料成型模具对实现塑料成型工艺要求、满足塑件的精度要求和使用要求、降低塑件的成本起着决定性的重要作用。塑料产品的开发和更新是以塑料模具的开发和更新为前提,合理的成型工艺当然对于塑件的精度要求和塑件的内在质量及产品的能耗也起到重要影响,对高效自动化的设备而言,也只有安装能够自动化生产的优质模具才能发挥其应有的效能。

塑件的质量在很大程度上是依靠模具的合理结构和模具成型零件的正确形状、精确尺寸及有效精度保证的。由于塑料成型工艺的飞速发展,模具的结构也日益趋于多功能化和复杂化,于是对塑料成型模具的设计工作提出了更高的要求。虽然塑件的质量与许多因素有关,但合格的塑件首先取决于成型模具的设计与制造的质量,其次取决于合理的成型工艺。为了周而复始地获得符合技术经济要求及质量稳定的塑件,塑料成型模具的优劣是成败的关键,它最能够反映整个塑料成型生产过程的技术含量及经济效益。

虽然在大批量生产塑料件时,模具成本仅占 10% 左右,但是不同的模具结构、模具材料、工作条件以及由此而制造的模具使用成本等,均在很大程度上影响产品的制造成本,尤其是在试制阶段或小批量生产时。从某种意义上讲,塑料成型模具是提高塑件质量、节约原材料、体现塑件经济性的有效手段。要获得满意的塑件,对塑料成型模具而言,有四个关键问题,即模具结构设计正确、模具材料和热处理方法选择合理、模具加工质量高和模具的服役条件(成型设备和成型工艺等)良好。这四方面实际上决定了模具的功效,并且它们相互影响后的效果相乘而不是相加,也意味着只要其中的一个环节不恰当便会导致模具不起作用,其综合效果也是零。

2. 塑料成型模具的分类

塑料制品的成型方法通常是按照加工对象和成型工艺方法的不同进行分类。最常见的成型方法一般可分为熔体成型和固相成型两大类。熔体成型是将塑料原材料加热至熔点以上,使之处于熔融状态进行成型加工的一种方式。属于此种成型方法的有注射成型、压缩成型、压注成型、挤出成型等。该类成型应用广、生产量大,是塑料成型中最主要的一类方法。固相成型是指塑料在熔融温度以下保持固态的一类成型方法,如一些塑料包装容器的真空成型和吹塑成型就属于此类成型。此外,还有液态成型,如浇铸成型、蘸浸成型、滚塑与搪塑成型等。

按照上述成型的方法不同,塑料成型模具通常可以分成以下几类。

1) 注射模 注射模又称注塑模。塑料注射成型是在金属压铸成型的基础上发展起来的,成型所使用的设备是注射机。塑料熔体在注射机螺杆或柱塞的作用下通过模具的浇注系统进入模具的封闭型腔,经过冷却成型推出后就成了塑件。通常适合于热塑性塑料的成型,而热固性塑料的注射成型正在推广和应用中。塑料注射成型是塑料成型生产中自动化程度最高、采用最广泛的一种成型方法。