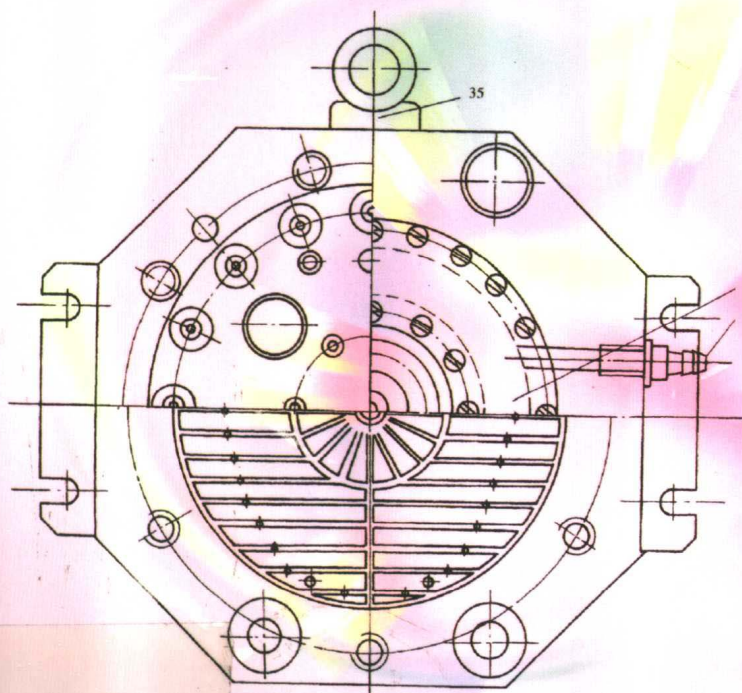


· 高等学校专业教材 ·

塑料制品与模具设计

高分子材料与工程专业系列教材

· 徐佩弦 编著 ·



中国轻工业出版社

高等学校专业教材
高分子材料与工程专业系列教材

塑料制品与模具设计

徐佩弦 编著

 中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

塑料制品与模具设计/徐佩弦编著. —北京: 中国轻工业出版社, 2001.7
高等学校专业教材 高分子材料与工程专业系列教材
ISBN 7-5019-3217-4

I. 塑… II. 徐… III. ①塑料制品-高等学校-教材②塑料模具-设计-高等学校-教材 IV. TQ320

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 23843 号

责任编辑: 赵红玉 责任终审: 滕炎福 封面设计: 崔 云
版式设计: 李 靖 责任校对: 李 靖 责任监印: 胡 兵

*

出版发行: 中国轻工业出版社 (北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

联系电话: 010-65241695

印 刷: 中国人民警官大学印刷厂

经 销: 各地新华书店

版 次: 2001 年 7 月第 1 版 2001 年 7 月第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 27.25

字 数: 623 千字 印数: 1—3000

书 号: ISBN 7-5019-3217-4/TQ·248

定 价: 45.00 元

· 如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换 ·

编写说明

现代高分子材料的工程技术，作为新兴的工程学科，其知识量在快速发展。高分子材料工程专业的大学本科生，将来从事塑料制品的生产，必须熟悉塑料制品设计的原则和依据，熟悉与其相应的成型模具的设计和应用。塑料成型模具是塑料加工行业的关键装备，也是塑料加工技术中的难点。本教材对塑料加工工程的专业知识进行了综合和提炼，将制品与模具设计结合在一起，既能达到必需和足够的专业知识面，又具有理论性和实用性。

根据笔者长期从事材料工程专业教学的经验，大学四年级的专业教材，既要让学生掌握系统和重要的专业知识，有利于培养学生的专业技术技能，更要引导和启发学生将基础理论应用于工程技术。为此，本教材既考虑到专业知识面，以注塑制品与模具为主，又涉及挤塑、中空吹塑、热成型、发泡成型和热固性塑料成型的制品与模具。本教材又有必要的理论分析和推导。对于各种模塑成型中共有的技术问题，如流动充模、塑件收缩、制品脱模、模具冷却系统、压缩空气吹塑和真空吸塑等都作了详细的交代，并结合材料流变学和传热学进行理论分析。对于塑料制品和模具结构的力学分析也达到一定的深度。本书还编集了大量的例题、习题和图表，便于学生阅读和练习。总之，本课程和教材的目的是指导和帮助学生走上专业技术岗位。

本教材得到学校的资助，得到学校和材料工程学院领导的指导和关心。得到本人所在高分子材料教研组同事的支持和帮助。最后，要感谢中国轻工业出版社的辛勤工作，使得新教材在新世纪初面世。

徐佩弦

华东理工大学

高分子材料系

2001年1月

前 言

塑料是 20 世纪才发展起来的新材料。目前世界上塑料的体积产量已经赶上和超过了钢铁,成为当前人类使用的一大类材料。我国的塑料工业正在飞速发展,塑料制品的应用已经深入到国民经济的各个部门。塑料工程通常是指塑料制造与改性,塑料成型及制品后加工。塑料制品与模具设计是塑料工程中的重要组成部分,是塑料工业中不可少的环节。

塑料制品量大面广

塑料材料的密度低,比强度高,又具有耐腐蚀和绝缘性能。在较多品种中,有的减摩或耐磨性能良好,有的防振抗冲性能优异,有的耐疲劳性能突出。这使得塑料制品在国民经济的各行各业,无论是机械仪表或电子电器,还是建筑、包装和交通工具等,在人们的日常生活中,大量地使用塑料制品。塑料制品能得到广泛使用还由于它的可加工性,可以用注塑、挤塑、热成型和压延等方法高效地生产各种制品。它又可经纤维增强或改性,一定程度地改善制品所需的某些性能。另外,塑料制品着色容易,又可多样修饰,使它能经浓妆淡抹后走进千家万户。

塑料制品被大量应用是作结构件,如电子仪表、家用电器和通讯设备等的机壳、机架和机座,建筑上的塑料管道、板条和门窗。汽车上的前后保险杠、仪表板和内饰件。塑料件作为电绝缘零件,与金属导体、半导体器件相辅相成。近年来,透明塑料制品,从镜片、光盘到照明灯具,又拓展了新的应用领域。

在许多特殊的应用场合非塑料件莫属,如输送腐蚀性介质的管道、阀和泵。音响和办公设备中的无噪音的塑料齿轮,无法用油润滑的轴承和导轨,只能采用减摩和耐磨的自润滑的塑料。还有瞬时高温要求和高速飞行器上的特殊制件。

塑料制品设计的技术难度

塑料只有通过正确的制品设计,才能步入国民经济以至尖端技术的各个领域。在塑料制品生产中,工程技术人员必须熟悉制品设计和有关理论、方法,结构和造型。塑料制品设计又与成型模具的设计制造和应用密切相关。

塑料材料的粘弹性,使其制品呈现对时间和温度的依赖性。塑料件不但在强度和刚度等力学性能方面在静载荷下比钢材差许多,而且在各种频率的交变载荷下或在冲击载荷下,在各种环境条件下有不少特殊的失效形式。对塑料制品的使用寿命和可靠性设计,还处于科研和探索阶段。塑料制品设计的困难之处,在于高聚物材料的弹性模量低。因此,塑料制品设计更讲究有效地利用材料,使塑件具有适用的刚性。追求几何形状的完美性的刚性设计,对塑料制品设计很重要。

塑料制品不同于金属零件,很少采用刀具进行切削加工,也极少采用高聚物的溶液状态来成型加工。绝大多数高聚物的加工成型都经过熔体的流动和形变,通过模具来加工成型制品。塑料熔体在压力下充满模具的型腔,或在模具表面边界作用下成型,进而冷却固化。因此塑料制品设计必须熟练掌握与之相应的成型模具的设计、制造和应用,必须掌握生产过程中所面临的力学、流变学和传热学的基础理论。

生产中的塑料熔体经模具的冷却系统作用必须快速骤冷固化，因此制品的收缩存在波动和不均匀，使塑料制品的形状和尺寸精度的控制较为困难。塑料制品的精度取决于塑料材料、模塑成型方法、模具精度和冷却系统等因素。模塑成型也决定了塑料制品必须由厚度均匀的薄板构组而成。塑料件的厚度必须以所承受力学载荷和绝缘等使用要求为依据地确定，还必须考虑加工时熔体流动或软化变形的可行性。现今，塑料件在大批量生产流水线上装配时，塑料件之间或与其它金属等零件间的连接，必须可靠并适合快装。塑料铰链、弹性卡夹连接，及超声波焊接等方法应用时，在塑料制品上应有相应的结构设计。

我国塑料制品设计尚处于仿制和经验设计阶段。理论设计工作正在开展，塑料材料和制品性能测试方法和数据也在逐步完善中，塑料制品设计的 CAD 也将实现。

成型模具生产塑料制品

模具是利用其特定形状去成型具有一定尺寸和形状制品的工具。塑料成型模具是成型塑料制品的工具。塑料成型模具应能生产并满足给定的形状、外观、尺寸精度和内在性能要求的制品。要求模具能被高效率地使用，且操作简便，并达到自动化水平。要求模具具有合理的结构，制造容易且成本低廉。也要求模具有足够的使用寿命。

模具的成型零件的精度与表面质量，及其在长期使用中的稳定性，决定了每件制品的精度。合理的成型工艺通过模具的浇注系统、冷却系统和排气措施来实施。压力、温度、流动和冷却速率等工艺参量经模具的成型过程来实现。塑料制品只有合理地进行其熔体流动充模，才能避免气泡、流动痕和焦化等缺陷。熔体的流动与变形过程的方向，模具对制品的冷却效果，决定了塑料制品的密度分布和收缩，决定了制品的取向和残余应力，最终影响脱模后制品的翘曲变形的程度。自动化的塑料成型机械也只有装上能自动化脱模生产的模具，才能发挥其效能。模具的制造成本在塑料制品生产中，占有较大的份额。每副模具能生产合格制品的批量，对制品的单件成本有决定性影响。

塑料成型模具的发展趋势

塑料成型技术和成型模具生产发展的动力，首先来自塑料制品生产的发展需要。国民经济各行业和日常生活对塑料制品的数量、质量和品种的需要不断高涨。科学技术的发展促使成型模具生产效率提高，自动化和自动控制程度达到新水平，也使塑料成型模具的设计和制造的电子计算机辅助技术得到了普及和提高。

新的塑料材料和新的加工工艺必然伴随着新的成型模具的问世和发展。热固性聚氨酯的反应注射新工艺，促使高生产率的反应注射模具的应用。气体辅助注射工艺，要求此种模具有进气和气道的设计。热固性塑料和橡胶的注射成型要求有专门模具生产。共挤塑成型技术，将来自多台挤出机的不同塑料送入共挤塑模中，生产复合多层的容器、片材和型材。发泡塑料制品注塑和挤塑生产，都需要有特殊的成型模具。

成型模具的生产效率在不断提高，注塑成型的热流道模具已普遍采用，各种自动的脱模机构已相当成熟，模具冷却系统的冷却效率得到充分利用，挤塑成型模的挤出速度在不断提升。但现代成型模具成本高昂，结构复杂。它是整个模塑成型的自动化系统的执行装置，不仅是精密复杂的机械装备，也是布置了压力和温度传感器，又有电加热的电子电器装置，同时也是具有液体介质冷却的热交换器。它对热固性塑料也是化学反应器。

计算机辅助设计 (CAD) 和计算机辅助制造 (CAM) 显著地提高了塑料模具的设计和制造的效率和质量，有效地缩短了模具设计制造周期。CAD 和 CAM 已在我国模具工业企

业里普遍采用。塑料成型模具 CAD 主要用于注塑模和挤出模，它的应用软件有交互图形处理软件，各种功能的计算软件、优化软件和有限元分析软件，还有有关塑料材料、模具标准件和塑料机械的数据库。模具 CAM 主要用于注塑模的数控铣床的加工，对模具成型零件的电子计算和造型后，给定刀具及其运动的参量，由 CAM 软件自动编制数控程序，传输给数控机床自动加工模具的成型零件。

继 CAD 和 CAM 技术成功地在塑料模具设计和制造中应用后，此项技术向纵深方向发展。计算机辅助工程 (CAE, Computer Aided Engineering) 近年来得到快速发展。作为对各种塑料成型过程模拟的计算机辅助工程，已成为塑料制品生产的先进和有效的手段。CAE 技术是包含数值计算技术、计算机图形学、工程分析与仿真、数据库等的综合性软件系统。可实现塑料制品设计、塑料成型加工、塑料成型模具设计、塑料材料性能和成型设备参量数据库等工程问题的模型化和数值分析。就塑料加工工程而言，它的理论基础是聚合物加工的流变学和传热学。通过对塑料制品的计算机造型，大量数据调用和人机对话，在模具制造之前就可在计算机屏幕上模拟实际的成型过程，预测塑料件设计、模具设计和成型条件对产品质量的影响，并能方便迅速地优化、寻求最佳的成型过程。CAE 技术应用能确保塑料成型工艺和装备设计的成功，尤其能使新的成型制品在较短的周期内顺利投产。

近年来，国内外加紧进行各种塑料加工 CAE 软件的研制，目前实际应用的主要有：塑料注射模 CAE 软件，气体辅助注射的 CAE 软件和塑料挤塑模 CAE 软件。塑料注射模 CAE 软件，具有塑料熔体注射流动充模过程模拟分析和注射模冷却系统模拟分析。目前，已把二维和三维流动与冷却分析和研究扩展到保压、短纤维取向、制品收缩和翘曲分析预测。

课程的学习

塑料制品与模具设计是塑料加工工程的专业课程。通过介绍注塑制品、挤塑制品、中空吹塑制品、热成型塑料制品、发泡塑料制品和热固性塑料制品的结构设计和相应的模具结构，掌握塑料制品与模具设计的基础原理和方法。在塑料加工过程中，各种塑料制品设计与模具设计相对应，关系最为密切。塑料制品设计必须以模塑的可行性为前提，塑料成型模具必须实现塑料制品的质量和生产效率。

本课程将学习掌握塑料制品的刚度和蠕变等基本的设计计算。塑料熔体的流动、塑件的脱模、模具的调温和排气，气压和真空应用等是各种模塑成型中共有的功能，本课程将学习掌握它们的原理和设计计算，并通过专业知识的学习，学会把基础课程、高分子科学和机械工程等技术基础知识应用到塑料工程中去。学会解决塑料制品生产实际中的工程技术问题，既给予基本的知识面，又培养解决问题的能力。

高分子材料与工程专业系列教材

1. 材料导论	励杭泉 编	30 元
2. 高分子化学	张兴英 编	38 元
3. 聚合物材料	凌绳 主编	35 元
4. 聚合物制备工程	张洋 主编	26 元
5. 聚合物加工工程	赵素合 主编	50 元
6. 聚合物研究方法	张美珍 主编	26 元
7. 聚合物改性	王国全 主编	18 元
8. 聚合物复合材料	黄丽 主编	35 元
9. 聚合物及其复合材料的表界面	胡福增 等编	24 元
10. 塑料制品与模具设计	徐佩旋 编著	45 元
11. 高分子工程专业英语	揣成智 主编	30 元

目 录

第 1 章 塑料制品设计和成型	(1)
1.1 塑料制品设计原则和方法	(1)
1.1.1 概述	(1)
1.1.2 材料的选择	(3)
1.1.3 加工方法的选择	(4)
1.1.3.1 热塑性塑料加工	(5)
1.1.3.2 热固性塑料加工	(7)
1.1.4 塑料制品失效分析	(8)
1.2 塑料的非力学性能	(11)
1.2.1 热性能	(11)
1.2.2 化学阻抗	(16)
1.2.3 渗透性	(17)
1.2.4 燃烧性	(18)
1.2.5 电性能	(20)
1.2.6 耐候性	(22)
1.2.7 光学性能	(23)
1.2.8 硬度	(24)
思考与练习题	(27)
第 2 章 塑料的力学特性和制品的刚性设计	(28)
2.1 静载荷下的形变行为	(28)
2.1.1 应变特性	(28)
2.1.1.1 应力-应变	(28)
2.1.1.2 弹性模量	(29)
2.1.2 屈服特性	(36)
2.1.2.1 屈服条件	(36)
2.1.2.2 屈服失效	(37)
2.1.2.3 影响屈服的因素	(38)
2.1.3 蠕变	(40)
2.1.3.1 蠕变曲线	(40)
2.1.3.2 蠕变计算	(46)
2.1.3.3 蠕变失效	(51)
2.1.4 松弛	(53)
2.1.5 蠕变回复	(54)
2.2 动态载荷分析	(57)

2.2.1 疲劳强度	(57)
2.2.1.1 交变应力和持久极限	(57)
2.2.1.2 疲劳试验及影响因素	(59)
2.2.1.3 疲劳寿命计算	(60)
2.2.1.4 疲劳强度计算	(62)
2.2.2 力学致热	(65)
2.2.2.1 粘滞热效应	(65)
2.2.2.2 动态热力学分析	(65)
2.2.2.3 防止热软化的方法	(68)
2.2.2.4 塑料件的热平衡计算	(69)
2.2.3 冲击载荷	(71)
2.2.3.1 冲击试验和冲击强度	(71)
2.2.3.2 影响冲击性能的因素	(73)
2.2.3.3 冲击疲劳	(75)
2.3 塑料结构件的刚性设计	(75)
2.3.1 梁的设计	(76)
2.3.1.1 梁的弯曲	(76)
2.3.1.2 非均匀材料和结构的塑料梁	(81)
2.3.1.3 各种结构梁的综合分析	(84)
2.3.2 柱体设计	(88)
2.3.3 悬臂梁设计	(91)
2.3.4 板的设计	(95)
2.3.4.1 四周固定的圆板和矩形板	(95)
2.3.4.2 一边自由的矩形板	(97)
2.3.5 容器设计	(100)
2.3.6 管件设计	(103)
2.3.6.1 输送管	(104)
2.3.6.2 排放管	(106)
思考与练习题	(107)
第3章 注射模塑成型	(109)
3.1 注射模塑基础	(109)
3.1.1 注射模结构	(109)
3.1.1.1 注射模组成和分类	(109)
3.1.1.2 合模导向机构设计	(112)
3.1.1.3 侧向分型抽芯机构	(115)
3.1.2 型腔压力分析	(122)
3.1.3 模塑成本和型腔数	(126)
3.1.4 注射模与注射机的关系	(130)
3.1.4.1 注射机技术参数	(130)

3.1.4.2	工艺参数校核	(132)
3.1.4.3	安装参数校核	(134)
3.1.5	注射模设计的特点和程序	(136)
3.2	注塑件的设计	(139)
3.2.1	熔体的流动特性	(139)
3.2.1.1	熔体的充模流动	(139)
3.2.1.2	熔合缝	(143)
3.2.2	冷却固化	(145)
3.2.2.1	取向	(145)
3.2.2.2	残余应力	(146)
3.2.3	注塑件的精度	(146)
3.2.3.1	影响因素	(147)
3.2.3.2	模塑塑料件尺寸公差	(148)
3.2.4	注塑件的壁厚	(152)
3.2.5	脱模斜度	(155)
3.2.6	筋和凸台	(156)
3.2.7	嵌件	(157)
3.2.8	分型面	(163)
3.2.9	孔	(166)
3.2.10	圆角	(167)
3.2.11	修饰和标记	(168)
3.3	浇注系统设计	(169)
3.3.1	浇注系统的功能	(170)
3.3.2	流道系统设计	(171)
3.3.2.1	主流道	(171)
3.3.2.2	分流道	(173)
3.3.2.3	冷料井及拉料杆	(174)
3.3.3	浇口设计	(176)
3.3.3.1	浇口形式和尺寸	(176)
3.3.3.2	浇口位置	(183)
3.3.4	浇口平衡	(189)
3.3.5	平衡布置流道尺寸计算	(191)
3.4	成型零件设计	(196)
3.4.1	成型零件结构设计	(197)
3.4.1.1	凹模结构设计	(197)
3.4.1.2	凸模和型芯结构设计	(199)
3.4.1.3	螺纹成型零件结构设计	(200)
3.4.1.4	成型零件钢材选用	(201)
3.4.2	排气槽设计	(204)

3.4.3	成型零件工作尺寸计算	(206)
3.4.3.1	塑料件尺寸和精度	(206)
3.4.3.2	按平均收缩率计算	(213)
3.4.3.3	按公差带计算	(218)
3.4.3.4	螺纹成型零件的工作尺寸计算	(220)
3.4.4	型腔构件力学计算	(221)
3.4.4.1	强度和刚度计算条件	(222)
3.4.4.2	刚度和强度条件计算公式	(225)
3.5	脱模机构设计	(227)
3.5.1	开模与脱模	(228)
3.5.2	脱模力计算	(231)
3.5.2.1	简单估算法	(231)
3.5.2.2	薄壁塑料件的脱模力计算	(232)
3.5.2.3	厚壁塑料件的脱模力计算	(238)
3.5.2.4	具有侧凹塑料件的脱模力计算	(239)
3.5.3	简单脱模机构	(240)
3.5.3.1	推杆机构	(240)
3.5.3.2	推管脱模	(243)
3.5.3.3	推板脱模	(244)
3.5.3.4	组合、导向和复位	(246)
3.5.4	定模脱模机构	(248)
3.5.5	双脱模与顺序脱模机构	(249)
3.6	模具温度调节系统设计	(251)
3.6.1	温度调节系统的功用	(251)
3.6.2	冷却系统的简略计算	(252)
3.6.3	冷却系统设计	(255)
3.6.4	冷却系统计算	(261)
3.6.4.1	冷却时间计算	(262)
3.6.4.2	模具系统热平衡计算	(264)
3.6.4.3	冷却回路计算	(266)
3.6.5	加热功率计算	(273)
3.7	特种注射模具设计	(274)
3.7.1	热流道注射模设计	(274)
3.7.1.1	无流道凝料注射成型	(274)
3.7.1.2	热流道注射模	(277)
3.7.2	热固性塑料注射模设计	(285)
3.7.2.1	注射工艺特点	(285)
3.7.2.2	模具设计要点	(287)
思考与练习题		(295)

第4章 挤塑成型	(298)
4.1 管材和管材模	(298)
4.1.1 材料和应用	(298)
4.1.2 管材模设计	(303)
4.2 板材和平缝模	(306)
4.2.1 挤出板材	(306)
4.2.2 平缝形挤塑模	(307)
4.3 异形型材挤塑	(311)
4.3.1 异形材及其挤塑	(311)
4.3.2 挤塑模	(313)
思考与练习题	(315)
第5章 中空吹塑制品成型	(317)
5.1 吹塑制品的特征	(317)
5.1.1 吹塑用塑料材料	(317)
5.1.2 中空吹塑成型方法	(318)
5.1.3 中空吹塑制品类型	(322)
5.1.4 瓶口连接	(323)
5.1.5 吹塑制品的工艺要素	(324)
5.2 容器的强度和刚度设计	(325)
5.2.1 容器壁厚计算	(325)
5.2.2 容器刚性设计	(328)
5.3 挤出吹塑模具	(329)
5.3.1 模具结构特征	(330)
5.3.2 模具结构设计	(332)
思考与练习题	(336)
第6章 热成型	(338)
6.1 热成型加工	(338)
6.1.1 热成型方法	(338)
6.1.2 塑料片材	(342)
6.2 热成型制品	(347)
6.2.1 结构设计	(347)
6.2.2 引伸比的预测	(349)
6.2.2.1 三种引伸比	(349)
6.2.2.2 单件大型片坯	(351)
6.2.2.3 二维转角的引伸比	(354)
6.2.2.4 薄片连续片坯	(356)
6.2.3 成型件的壁厚	(357)
6.3 热成型模具	(360)
6.3.1 常用参量设计	(360)

6.3.2 真空吸塑系统设计	(362)
6.3.3 热成型模具材料	(368)
思考与练习题	(369)
第7章 泡沫塑料的模塑成型	(371)
7.1 泡沫塑料的应用	(371)
7.1.1 泡沫塑料的分类	(371)
7.1.2 泡沫塑料性能	(372)
7.2 包装制品的设计	(377)
7.2.1 缓冲功能	(377)
7.2.2 材料选用	(379)
7.2.3 设计计算	(379)
7.3 模压泡沫制品的设计和模塑	(383)
7.3.1 硬质泡沫制品的模压成型	(383)
7.3.2 模压泡沫制品的设计	(384)
7.3.3 聚苯乙烯泡沫压模	(385)
7.4 结构泡沫塑料制品的设计和模塑	(387)
7.4.1 结构泡沫塑料制品的设计	(388)
7.4.2 模塑成型	(393)
7.4.2.1 注射模塑	(393)
7.4.2.2 模具设计要点	(394)
思考与练习题	(394)
第8章 热固性塑料的模塑成型	(396)
8.1 工艺特征与制品设计	(396)
8.1.1 模具结构与工艺特征	(396)
8.1.2 模压制品设计	(400)
8.2 模压模具	(403)
8.2.1 压缩成型模	(403)
8.2.2 料槽式压注成型模	(410)
8.2.3 柱塞式压注成型模	(415)
思考与练习题	(419)
推荐参考书	(419)

第 1 章 塑料制品设计和成型

塑料制品设计首先要确定制品的功能和性能指标，再选择合适的材料，进而决定成型加工工艺。然后进行制品结构的设计和计算，绘制塑料制品生产图。完善的塑料制品设计还应包括制品的失效分析、成本核算和制品的功能和性能测试。因此，了解塑料材料各项性能的测试是十分重要的，使所设计的制品性能优良，以实现力学、化学、电学和光学等使用要求。

1.1 塑料制品设计原则和方法

塑料制品应用在众多场合，功能各异，品种万千。全面学习塑料件的设计原则和方法很有必要，但也十分困难。本节主要概述设计原则，介绍材料选用、加工方法选择和失效分析的方法。塑料件的结构设计，将结合几种加工方法，在以下几章中作详细的陈述。

1.1.1 概 述

塑料制品设计者必须具有机械制图、公差配合与技术测量、工程力学和机械设计等方面的知识和技能。更需要塑料加工工艺、塑料成型模具和成型机械方面的知识。塑料件的设计一般可分成三个阶段。在一项塑料制品生产过程中，制品设计起着龙头作用。

(1) 拟订设计方案

在接受设计任务后，需全面收集有关各种资料和技术数据。进行综合和分析后，必须进行以下工作。

第一步是科学地确定制品的功能和性能。塑料件所具有的功能包括使用功能和环境功能。在一定时间、空间和环境下需要完成诸如结构支承、机械传动和电气绝缘等功能。塑料件的性能有力学、热力学、物理和化学等性能。要注意到塑料材料的性能不等于塑料件的性能。大多数塑料经加热熔融和冷却固化成型，其原材料的性能会下降，或出现新的内在缺陷，影响塑料件的性能。塑料管等制品的功能和性能指标，以及测试方法是较为完整的。其它常用塑料制品在一定使用场合都有适合的专业指标和测试标准。第二步是选择合适的塑料材料。不仅要保证制品的功能和性能，也要考虑可加工性和生产成本。第三步是确定制品的加工方法。各种加工方法适用于一定形状和尺寸，具有一定的加工精度和生产率，要有相应成型模具和设备。同时确定塑料件的装配方法和表面修饰要求。第四步是对塑料件进行失效分析。针对塑料件对时间、温度 and 环境的敏感性，为保证使用期限里塑料件功能和性能的可靠，必须按主要失效形式进行预测性的理论计算和相应的实验测试。如塑料件压力装配后，计算温度升高和应力松弛后的传递力矩。又如塑料齿轮在弯曲疲劳、接触点蚀、齿面磨损或热膨胀下的模数和中心距的理论计算。在重要的场合需对制品进行冲击或疲劳、耐候或渗透等测试。

拟订方案时，要遵循多个方案分析比较和逐步优化的方法。

(2) 结构设计

塑料件的结构,基本上有功能结构、工艺结构和造型结构三方面。

功能结构设计是结构设计的核心,可确定使用功能实现的制品形状、尺寸和壁厚。塑料件结构设计要做静载荷下短时和长期的形变校核;要作动载荷下冲击、疲劳、滞后热和磨损等校核。

合理的工艺结构设计是制品生产的前提,关系到塑件质量、生产率和成本。聚合物流变学是工艺结构设计的理论基础,用以考虑模塑成型的可行性。必须合理处理流动性、收缩率、嵌件和脱模等技术问题。塑料件的合理连接设计,不但简化了单个塑件,实现与非塑料件的连接,还保证了流水线上对塑件的高效装配。

对于机壳、面板、仪表板和日用塑料制品,要通过外部造型设计予以装饰和美化。滚花、抛光、彩饰、植绒、镀覆金属和模塑图案等修饰与美术相结合,给人以美感。

结构设计要用工程制图进行形体的空间思维,各种草图、轴侧图和三视图也是交流的工程语言。现代的电子计算机绘图和三维造型,不但保证了设计质量,也为下一步计算机数值模拟分析准备了形体数据。制作一些模型可以帮助结构设计,如用透明的有机玻璃板粘结成机壳。设计中要跟各专职工程师和模具设计师一起工作。现代计算机技术也为塑料件设计提供各种专业软件与数据库,如弹性卡夹、塑料铰链和塑料齿轮等辅助设计软件。在结构设计的最后阶段,慎重确定塑料件的尺寸精度、形位公差和表面质量要求是重要的工作。

(3) 生产准备和定型

完成了塑料件的图纸设计后,还必须与工艺工程师和模具工程师合作,对制品进行计算机模拟和生产验证,并进行修改,直至定型。

注射模塑制品有各种CAE/CAD分析软件。对注塑件进行二维或三维造型后,数值模拟注射工艺过程,可获知塑料熔体充模流动、保压冷却、固化收缩和翘曲变形的分析结果。在此过程中,需对塑料件设计进行修正和优化。挤出加工的塑料件也有CAD软件,模拟挤出时熔体流动和冷却定型过程。对复杂的吹塑、共挤和热成型加工还必须进行专业的工艺设计,预测和设计型坯。在此期间也需要修改塑料件设计。

塑料制品与金属零件一样有规模效应。由于成型模具成本很高,生产批量与每个塑件制造成本成反比。同样,塑料件的制造周期决定了新产品的试制周期。而且塑料件生产周期,还包括金属模具的机械加工周期。专门的塑料件生产,还需设计和制造专用的成型机械。

开拓和进取的设计思想、严谨的科学作风应该为塑料件设计师所具备。在塑料制品的设计中,以下四条基本原理必须遵循:

①保证塑料件在使用期限中的功能和性能,在塑料件失效分析基础上,进行理论设计计算校核,以及实验测试。

②在保证塑料件的功能和性能前提下选择材料,必须考虑加工的可行和材料成本低廉。

③聚合物的流变和固化过程,及其形态变化对塑料制品影响必须考虑。

④大多数塑料件是各种装置和设备中的组成元件,它的设计应统一在整机产品中。在保证整机质量前提下,降低塑料件的成本。

此外,塑料制品的标准化、系列化程度反映了塑料工业的发展水平。对各种电工线缆、吹塑桶、塑料门窗、塑料管和接头等产品的标准化工作,今后必将有更大进展。

1.1.2 材料的选择

材料的选择不仅要保证塑料制品的功能和性能,还要考虑加工生产、成本和供应。在设计者了解和熟悉塑料材料分类和品种的基础上,本节还将举例说明材料选择方法。

从材料手册和材料制造商的说明书,设计者掌握全面和近期的材料信息。材料性能项目所列数值,一般是此种材料性能的平均值。材料性能一般包括四个方面。

①加工性能方面 熔体流动速率、熔化温度(结晶型聚合物为熔点)、加工温度范围(分别列出注射和挤出加工)、注射模塑的压力、固液态的压缩比、线性的模塑成型收缩率。

②力学性能方面 拉伸强度、断裂伸长率、拉伸屈服应力、压缩强度(断裂或屈服)、拉伸模量、弯曲模量(分别在 22℃、92℃、120℃和 150℃)、带缺口悬臂式冲击强度、硬度。

③热性能方面 线膨胀系数、热变形温度(1.82MPa 和 0.45MPa)、热导率、比热容。

④物理性能方面 密度、吸水率(24h)、介电强度(短时升压)。

材料的性能测试是规定的试样在标准的实验条件下进行。实验试样与塑料件的形状和尺寸有很大差异。材料经加工后,绝大多数的塑料件的性能比原始材料低。因此,所选择材料性能要比塑料件的性能高,应该乘以安全系数。

另一方面,一定使用期限的塑料制品的性能存在老化变质现象。各种环境条件下塑料件的性能下降因素必须考虑,如塑料件在低温下受到冲击,比原材料的抗冲性能下降 $w\%$;倘若受到化学试剂的侵蚀,性能又会下降 $x\%$;受紫外线辐射影响,又损失 $y\%$ 的性能;由于振动疲劳又会损失 $z\%$ 性能。因此塑料件在工作寿命期限内,有 $w\%+x\%+y\%+z\%$ 的总老化损失。此总损失在 10%之内被评估为优良的工作环境。损失 30%~40%是差的耐用塑件。老化总损失 $>40\%$ 是不允许的制品设计。

根据工艺安全系数和老化损失系数处理分析,可提出塑料件对原材料性能的数据表,然后对照选用塑料材料品种乃至品级。材料的选择大致有四个步骤。

(1) 提出塑料件所需性能项目

除了前述的加工性能、力学性能、热性能和物理性能外,还有实现各种功能的专项性能。如包装用制品,需提出透明性、抗化学腐蚀,对气体和液体的渗透性。食品包装还要有食用无害要求。室内的日用塑料件应有阻燃性能要求。而室外用品又必须有耐候性等各项抗老化性能。电工塑料件有各种绝缘性能要求。对注射模塑成型制品,应有熔体流动、固化收缩和脱模等有关性能要求。

(2) 提出对原材料性能项目的最低数值清单

表 1.1-1 是设计一个刚性热塑性塑料的结构件对原材料性能的最低要求,并已确定塑料件注射模塑成型。

(3) 初步选定一批候选材料

如表 1.1-2 所列的八种候选的塑料材料。再根据表 1.1-1 的性能要求,选定五种初选材料。不必将材料手册所列从头至尾逐一考虑,可凭生产经验,以对材料品种的性能先进性和成本的了解,列出所考虑材料的清单,然后淘汰一批。

表 1.1-1 某注射件对原材料性能要求

性 能	数 据
拉伸强度/MPa	>60
弯曲模量/MPa	>1200
热变形温度/℃	>90
带缺口悬臂冲击强度/(kJ/m)	>100
断裂伸长率/%	>5