

塑料注射成型与 模具设计指南

徐佩弦 编著

以塑料注射成型工艺与模具设计为纲
系统全面地介绍了塑料注射成型工程

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



塑料注射成型与模具设计指南

徐佩弦 编著



机械工业出版社

本书以塑料注射成型工艺与模具设计为纲,系统全面地介绍了塑料注射成型工程。其内容包括:塑料及注射制品、塑料注射成型的基础理论、注射成型工艺、注射模具的基本结构、精密注射成型、注射成型精度和成本分析、注射制品的结构和模具设计、浇注系统的设计、成型零件设计、脱模和抽芯机构设计、模具温度调节系统设计、热流道注射模具设计、特种注射成型与模具设计、注射模具 CAD/CAE。本书技术内容先进、图表丰富、实用性强,是一本现代塑料注射成型工程技术著作。

本书可供从事塑料注射制品设计、生产和模具设计的工程技术人员使用,也可作为相关专业在校师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

塑料注射成型与模具设计指南/徐佩弦编著. —北京:机械工业出版社, 2013.9

ISBN 978 - 7 - 111 - 43724 - 6

I. ①塑… II. ①徐… III. ①注塑 - 塑料成型 - 指南②注塑 - 塑料模具 - 设计 - 指南 IV. ①TQ320.66 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 195491 号

机械工业出版社(北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:陈保华 责任编辑:陈保华 郑 弦

版式设计:霍永明 责任校对:纪 敬

封面设计:姚 毅 责任印制:杨 曦

北京圣夫亚美印刷有限公司印刷

2014 年 1 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 48.5 印张 · 2 插页 · 1087 千字

标准书号: ISBN 978 - 7 - 111 - 43724 - 6

定价: 119.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

策划编辑:(010)88379734

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010)68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010)88379203 封面无防伪标均为盗版



前 言

塑料的注射成型过程是借助螺杆或柱塞的推力，将已塑化的塑料熔体以一定的压力和速率注入闭合的模具型腔内，经冷却固化定型后开模而获得制品。注射成型是广泛应用的塑料加工方法之一，也是综合性的现代主流加工工艺。注射成型在整个塑料制品生产中占有重要地位。

塑料注射成型涉及塑料原料、注射制品、注射工艺、注射模具、注射机和生产成本等方方面面。本书以塑料注射成型工艺与模具设计为纲，系统全面地介绍了塑料注射成型工程。书中首先介绍了塑料的注射成型性能，并阐明注射成型制品的结构和质量，详细分析塑料制品的注射工艺性；在此基础上，全面介绍了塑料注射模具的设计，对注射模具的浇注系统、脱模机构和温度调节系统等的设计原理和模具结构进行了详细、深入的解析；还介绍了注射机的合模机构、注射装置和控制系统，分析了与注射机、注射模具相关的注射原理、过程和条件；着重介绍了热流道注射成型与模具、气体辅助注射成型和微孔塑料注射成型技术；最后介绍了塑料注射的计算机辅助工程 CAE 和注射模的计算机辅助设计 CAD 在应用方面的基础知识。

笔者有长期从事材料工程专业教学和科研的经历，有机会长期在注射成型和模具制造企业参与技术工作，了解各种不同专业学历的新一代技术人员知识需求。本书以塑料流变学和传热学的基础理论及大量的实例和图表介绍了注射工艺和注射模具的设计；以必要的理论分析，详细论述注射成型的主要技术问题，包括塑料熔体的流动充模、注塑件冷却收缩、残余应力和翘曲、塑料成型制品的精度和质量问题、注射成型生产成本等。书中对于塑料制品、注射工艺和模具结构的力学分析达到了一定的深度，对注射模的脱模机构和侧向分型抽芯机构，都有由简到繁详细的分析，也为应用 CAD/CAE 进行了理性引导。

在本书编写过程中，得到各位同仁的支持和指教，得到机械工业出版社的热忱帮助和支持，在此表示诚挚的感谢。

本书涉及大量的高分子材料和工程的技术资料，而且它们还在不断地推陈出新，但愿这些内容有益于读者，也请读者对书中不足和错误之处批评指正。

徐佩弦

目 录

前言

第 1 章 塑料及其注射制品	1
1.1 塑料的分类和品种	1
1.1.1 热塑性塑料及热塑性弹性体	1
1.1.2 热固性塑料	8
1.1.3 注射用特种塑料	11
1.2 塑料及其制品的性能	18
1.3 塑料注射制品的应用和试制	50
1.3.1 塑料注射制品的应用	50
1.3.2 塑料注射制品的试制	58
参考文献	65
第 2 章 塑料注射成型的基础理论	66
2.1 塑料注射加工的行为特性	66
2.1.1 塑料注射加工中的传递现象	66
2.1.2 聚合物的形态转化	74
2.2 塑料熔体的流动	77
2.2.1 非牛顿塑料熔体的流动	77
2.2.2 塑料熔体在管隙中的流动分析	88
2.3 影响黏性流动的因素	95
2.3.1 剪切速率、温度和压力的影响	96
2.3.2 相对分子质量和添加剂的影响	99
2.3.3 塑料熔体的弹性和熔体破裂	101
2.4 塑料熔体注射充模和保压的计算机模拟	104
2.4.1 黏度方程	105
2.4.2 流动充模和保压的数值分析	107
2.5 塑料注射成型热力学	115
2.5.1 热传导方程和热物理性能	116
2.5.2 注射成型冷却过程中的热量传递	121
参考文献	130
第 3 章 注射成型工艺	131
3.1 注射机的基本结构	131
3.1.1 注射成型	131
3.1.2 注射塑化装置	138
3.1.3 合模装置	148

3.2 注射生产的准备	155
3.2.1 塑料成型的工艺特性	155
3.2.2 注射生产的准备和后处理	160
3.2.3 塑料的着色	166
3.3 注射成型工艺	176
3.3.1 注射充模和成型的过程	176
3.3.2 物料的温度和塑化计量	179
3.3.3 模具的温度和冷却时间	186
3.3.4 常用塑料的注射成型工艺	190
参考文献	197
第4章 注射模具的基本结构	198
4.1 注射模具的结构	198
4.1.1 注射模具的结构组成和分类	198
4.1.2 双分型面注射模具	200
4.1.3 侧向分型抽芯机构	201
4.1.4 型腔压力分析	206
4.2 分型面和排气设计	209
4.2.1 分型面设计	209
4.2.2 排气设计	214
4.3 合模导向机构	219
4.4 工艺参数校核	229
4.5 注射模具材料	232
4.5.1 塑料模具用钢及其处理	233
4.5.2 各种注射模具用钢的性能和选用	236
4.5.3 注射模具用铝合金和铜合金	243
4.6 注射模具的设计	245
参考文献	252
第5章 精密注射成型	253
5.1 残余应力、收缩和翘曲	253
5.1.1 取向	253
5.1.2 残余应力	261
5.1.3 体积收缩及 $P-V-T$ 的关系	267
5.1.4 翘曲变形	277
5.2 熔合缝	284
5.2.1 熔合缝的生成	284
5.2.2 熔合缝的力学性能	289
5.2.3 熔合缝的控制和多浇口顺序进料的消痕工艺	296
5.2.4 快速热冷循环成型技术	302
5.3 注射机的控制系统	303

5.3.1 注射机的闭环控制	304
5.3.2 计算机控制注射机	311
5.3.3 高速注射和电动注射机	319
参考文献	323
第6章 注射成型精度和成本分析	324
6.1 注塑件的精度和质量分析	324
6.1.1 注塑件的精度	324
6.1.2 注塑件的质量分析	333
6.2 注射成型的成本分析	349
6.2.1 型腔数和注射成型成本的确定	349
6.2.2 热流道注射成型的成本分析	353
6.3 注射模具的成本概算	356
6.3.1 注射模具的早期成本简易估算	356
6.3.2 注射模具价格计算法	359
6.3.3 系统网络早期概算注射模具成本	366
6.4 注射模具的验收和维修	380
参考文献	386
第7章 注射制品的结构和模具设计	387
7.1 注射制品的壁厚和刚性设计	387
7.1.1 注塑件的壁厚	387
7.1.2 肋、凸台、边缘、曲面、支承面及圆角	389
7.2 制品注射成型的工艺性	395
7.2.1 孔的设计	395
7.2.2 脱模斜度	399
7.2.3 表面装饰	402
7.3 嵌件设计	403
7.4 螺纹联接设计	408
7.5 塑料齿轮及注射模具	418
参考文献	431
第8章 浇注系统的设计	432
8.1 流道系统的设计	432
8.2 浇口设计	440
8.2.1 浇口的形式和尺寸	440
8.2.2 浇口位置	449
8.3 平衡布置流道尺寸计算	452
8.4 非平衡布置流道尺寸计算	460
参考文献	465
第9章 成型零件设计	466
9.1 成型零件结构设计	466

9.2 成型零件工作尺寸计算	471
9.3 型腔模板和垫板构件的力学计算	488
9.3.1 中小型模具的力学计算	488
9.3.2 大中型模具侧壁的刚度计算	497
9.3.3 大中型模具型芯垫板的刚度计算	502
9.4 型芯构件的力学计算	504
参考文献	508
第10章 脱模和抽芯机构设计	509
10.1 开模与脱模	509
10.2 脱模力计算	517
10.2.1 脱模力的简单估算法	518
10.2.2 脱模力的热应力解析计算法	520
10.3 脱模机构	530
10.3.1 简单脱模机构	530
10.3.2 定模脱模和双脱模机构	539
10.3.3 顺序脱模和浇道凝料脱模机构	543
10.3.4 二级脱模机构	552
10.4 侧向分型抽芯机构	557
10.4.1 斜导柱侧抽机构	557
10.4.2 弯销和斜导槽侧抽机构	572
10.4.3 斜顶杆侧抽机构	576
10.4.4 斜滑块侧抽机构	581
10.5 螺纹脱模机构	584
参考文献	591
第11章 模具温度调节系统设计	592
11.1 冷却系统的简略计算	592
11.2 冷却系统设计	596
11.3 冷却系统计算	601
11.4 加热功率计算	610
参考文献	612
第12章 热流道注射模具设计	613
12.1 热流道系统和技术	613
12.1.1 典型结构和系统	613
12.1.2 塑料材料的影响	619
12.1.3 热流道系统的温度调节	624
12.2 热流道系统的传热学和流变学计算	629
12.3 喷嘴	642
12.3.1 浇口设计	642
12.3.2 各类喷嘴设计	650

12.3.3 喷嘴上的加热器	659
12.4 流道板设计	662
12.4.1 流道板的加热和绝热	662
12.4.2 流道板的加热功率和热损失计算	669
12.4.3 热膨胀补偿预测	674
12.4.4 流道板的结构和装配	680
12.5 先进的热流道注射模	691
12.5.1 热流道注射模的总体结构	691
12.5.2 叠式的热流道注射模	698
参考文献	703
第 13 章 特种注射成型与模具设计	704
13.1 气体辅助注射成型与模具设计	704
13.2 热固性塑料注射成型与模具设计	710
13.2.1 热固性塑料注射成型工艺	710
13.2.2 热固性塑料注射模具设计	714
13.3 微孔塑料注射成型技术	721
13.3.1 微孔塑料的性能和注射原理	721
13.3.2 微孔塑料的注射工艺和注射模	727
参考文献	732
第 14 章 注射模具 CAD/CAE	733
14.1 注射模具 CAD 的相关技术	733
14.2 注射模具 CAD	739
14.2.1 注射模具 CAD 设计方法	739
14.2.2 注射模具 CAD 的装配	747
14.2.3 注射模具 CAD 数据库	753
14.3 注射模具 CAE 的应用	756
14.3.1 注射模具 CAE 分析的功能和作用	756
14.3.2 CAE 的注射制品、模具和工艺设计的优化	761
参考文献	767

第 1 章 塑料及其注射制品

塑料是注射加工的对象。塑料新材料和注射新制品的开发,是注射工艺和模具技术发展的动力。本章概要介绍塑料的分类和常用品种,侧重陈述塑料及注射制品的力学性能和应用性能,也介绍一些与注射加工和注射成型相关的特性。成功的注射成型过程的最终评估,是以注射制品的质量为依据的。因此,必须关注塑料制品的物理性能指标、测试和检验。最后,讨论塑料注射制品的试制过程。

1.1 塑料的分类和品种

塑料是高分子材料中最大的一类材料。塑料的定义是以聚合物为主要成分,并在成品加工的某阶段可流动成型的材料。聚合物是指高相对分子质量的聚合产物,故又称为高聚物。塑料是以聚合物为基体,含有添加剂的材料。

本节介绍注射生产的热塑性塑料和热固性塑料的常用品种,还介绍热塑性弹性体、玻璃纤维增强和一些特种的复合塑料的品种。

1.1.1 热塑性塑料及热塑性弹性体

1. 热塑性塑料

热塑性塑料是指在特定的温度范围内,能反复加热软化和冷却硬化的材料。这类塑料基本是以聚合反应得到的高聚物为主配制的。聚合物由长分子链组成。热塑性聚合物的分子链有线性的或支链的结构。用相对平均分子质量来表征和测定聚合物分子链的长度。相对分子质量越大,固态聚合物的力学强度越好;黏流态聚合物的黏度更高。

按冷却期间高聚物的分子结构形态,热塑性聚合物可分成两大类:一类是具有无定形结构的聚合物;另一类是具有结晶结构的聚合物。无定形结构塑料中的微观分子以缠结的连接形式保持着紊乱状态。结晶结构的塑料中,分子链沿着已生成的晶核有序地折叠着,但其周围是无定形结构。结晶度是结晶型塑料用来说明结晶态结构的百分率。结晶结构的分子比无定形分子聚集有序且密集。因此,结晶型塑料的冷却成型收缩率比无定形塑料大。同一种结晶型塑料,由于冷却过程的温度条件不同,晶核生成和晶体生长受时间制约,会有不同的结晶度。结晶度较高的塑料收缩率较大,刚性和拉伸强度有些提高,而冲击强度下降。

(1) 聚乙烯 (PE) 它是乙烯聚合的结晶型塑料。熔体的流动性能好。

低密度聚乙烯 LDPE,用高压法生产,结晶度较低(为 45% ~ 65%);热变形温度在 1.82MPa 载荷下为 50℃;其柔软性、断裂伸长率、冲击强度和透明性较好;适用于吹塑薄膜和挤出线缆绝缘层。

高密度聚乙烯 HDPE，用低压法生产，有 85% ~ 95% 的高结晶度；热变形温度（1.82MPa）为 78℃；具有较高力学强度和使用温度；适宜中空吹塑，注射和挤出各种瓶、盆、桶、片材、管材和异形材。

注塑级 HDPE 的熔体流动速率为 5 ~ 20g/10min；注塑温度为 180 ~ 250℃；模具温度为 180 ~ 250℃。

还有一种超高分子量聚乙烯 UHMWPE，为相对分子质量大于 7 万的高密度聚乙烯，有很高的力学强度和耐磨性能，熔体黏度特高，可制成减摩耐磨的支承和传动件。

瓶、筒和罐的 HDPE 密封盖可因为强力打开而撕裂，主要是由于材料强度不足和盖子太薄，HDPE 桶上不能直接嵌金属手柄，金属柄周围的塑料会因负载应力过大而断裂脱开。贮存洗涤液的 PE 容器会引发环境应力裂纹。管装洗头膏的 PE 螺牙帽盖，生成环境应力裂纹后在紧固力的触发下，很容易断裂。HDPE 吹塑的桶类容器，装有水和固态物后坠地，一般不会破裂，但装了洗手液生成了应力裂纹后，从 1m 高度坠落就会破裂。这种桶的底部需有渐变的斜度和大圆弧的圆角。用短玻璃纤维增强的 PE 塑件，在污染环境下又有振动负载时，连接紧固部位较容易出现裂缝。

PE 和聚丙烯（PP）在受热和光照下会发生氧降解，致使塑料件脆化，损失了弯曲和拉伸强度。氧化作用的程度与时间，可以用红外线光谱来监察和测量。家用的塑料装饰植物在摆放了 15 年后，会见到叶片从枝梗上脱落，叶根的装配接头断裂，枝杈上插装叶片的套管开裂，这是 PE 的脆化断裂所致（尽管装饰植物的自重小，装配接头处的应力也不大）。经红外线谱的对比分析可知，由于氧化产生了羰基吸收比率变化，增大叶根的接头，添加抗氧化剂，能改善此种老化现象。

（2）聚丙烯（PP）它是密度小而耐热性较好的结晶型聚合物。其热变形温度（1.82MPa）为 102℃，物理性能与 PE 相近，成型收缩率大，熔体流动性好，有突出的抗疲劳性能。聚丙烯是最有活力、产能产量和消费需求增长最快的热塑性塑料。

注塑级聚丙烯的品种按聚合类型可分为均聚聚丙烯、无规共聚聚丙烯和抗冲击共聚聚丙烯。均聚聚丙烯的刚性和耐热性都较高，低温抗冲击性能差。无规共聚聚丙烯熔点低，透明性好，韧性比均聚聚丙烯有所改善。抗冲击共聚聚丙烯的综合性能优良，改进了低温抗冲击性能，已广泛应用于汽车零配件和家用电器的注塑件。

汽车工业促使聚丙烯发展了众多的品种，有高流动、高抗冲击、高结晶、低收缩和低气味等品种。高流动抗冲击共聚聚丙烯适用于大型薄壁壳体的注射生产。同时可降低加工温度和压力。高抗冲击共聚聚丙烯用于汽车保险杠等多种注塑件，是橡胶增韧和无机粉剂填充的塑料。高结晶抗冲击共聚聚丙烯强度高，热变形温度和固化温度高。低收缩率的聚丙烯的横向收缩率为 0.81%，纵向收缩率为 0.79%，横纵向收缩比为 1.03。不但有较低的成型收缩率，而且各向同性。可以替代 ABS 注射尺寸精度较高的制品。经玻璃纤维增强和无机粉剂填充的 PP 品种也被大量使用，都有比注塑级 PP 要小的成型收缩率。但短玻璃纤维增强 PP 塑料的各向异性很明显。

PP 不像 PE 那样因环境应力开裂而失效。但它的耐老化能力比 PE 差。在氧化和降解中分子链上失去氢原子，伴有主链断裂导致力学性能下降。例如，卷发筒在吹风干燥

头发时被氧化,使用寿命较短。另外,PP的低温冲击强度低。它的玻璃态转化温度 T_g 为 -20°C 左右,在此温度早已脆化。PP制造的壳体等结构件,如果经受过 0°C 以下的冷冻,就要注意可能会出现破裂现象。因此需经复合或共混改性方法加以改善。其次,使用着色剂(例如用酞菁颜料)会影响PP注塑件的收缩率。着色剂如同成核剂那样会影响结晶度。另外,用PP做贮有液体食物的扁瓶,保质期不长,瓶中水分会因损耗而减少。与PE相比,PP瓶壁的水汽渗透速率要高些。这样势必要增加容器的壁厚。

(3) 聚氯乙烯(PVC) 根据成型加工和使用的性能要求,在PVC树脂中加入各种添加剂,可制成各种性能的塑料制品。添加增塑剂可以降低熔融温度和熔体黏度。添加不同比例的增塑剂,可获得不同软硬程度的PVC制品。加入稳定剂,使PVC在成型过程和使用中不易老化。润滑剂则在加工中减少摩擦热,并使制品表面光滑。

结晶型PVC树脂为白色或淡黄色粉末。供给注射加工的PVC粒子具有无定形聚合物特征。注塑级的硬PVC成型收缩率较小($0.07\% \sim 0.4\%$)。其熔体的热稳定性差,最高注射温度为 195°C 。成型温度的范围小,料筒温度为 $170 \sim 190^{\circ}\text{C}$,喷嘴温度高于料筒温度 10°C ,模具温度为 $35 \sim 40^{\circ}\text{C}$ 。PVC对模具有腐蚀作用,模具的成型零件表面要镀铬处理,或用不锈钢制造模具的成型零件。

软PVC被用来吹塑薄膜、压延片材和挤出线缆护套。硬PVC用来挤出各种棒材、管材、板材、型材和门窗异型材。注射级硬PVC的熔体流动性较差,用于注射成型管接头和较小的结构件。注射和挤出时的加热塑化温度,对成型制品的断裂性能有影响。特别在受到高速冲击时,硬PVC的冲击强度较低。硬PVC管道和阀类塑料件,突然受到液压冲击时容易开裂。改性可以提高硬PVC的冲击强度,但同时也降低了制品的刚度。 80°C 以上的过热环境,会使硬PVC制品变形软化,其刚性降低而弹性提高,电绝缘性能下降。

(4) 聚苯乙烯(PS) 它是无色透明塑料,透光率仅次于聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)。着色性、耐水性和化学稳定性良好。PS的电绝缘性能优良。但不耐苯和汽油等有机溶剂。PS是无定形聚合物,固态密度为 $1.05\text{g}/\text{cm}^3$,熔融态密度为 $0.98 \sim 0.93\text{g}/\text{cm}^3$ 。其熔体流动性好,且不易分解,有良好注射工艺性;可在 $120 \sim 180^{\circ}\text{C}$ 较宽的温度范围内注射流动;分解温度在 300°C 以上;力学性能一般,抗冲击性能差。模压和蒸汽加热成型的发泡PS,广泛用于包装和保温制品。

聚苯乙烯塑料制品在坠落和冲击时容易断裂。其塑料件壁厚应均匀一致,各连接面处应有圆角;且不宜设计嵌件。塑料件中残余应力过大时,会出现应力发白和裂纹,使透明性下降。构件不能承受动态的弯曲载荷,不能设计制造弹性夹钳等。PS有较大的热膨胀系数。交替的膨胀和收缩力会使塑料件的连接基座产生开裂。蠕变使PS塑料件只有 $15 \sim 20$ 年的正常工作期限。热变形和蠕变综合作用于PS灯罩类装饰件,由于灯源的热量,一年左右就会开裂。在连接面上,即使塑料件工作温度不超过 $45 \sim 50^{\circ}\text{C}$,仍会发生蠕变。

(5) 抗冲聚苯乙烯(HIPS) 为丁苯橡胶增韧改性的聚苯乙烯,与PS相比有较高的韧性和冲击强度。如果相对分子质量偏低,或橡胶含量较少,或注射工艺不良,则会

有较低的强度，更高的残余应力。例如：用 HIPS 制造的笔杆有较高的残余应力，使用几次就会开裂；扭簧扣压的晾衣服的衣夹，由于交变弹簧力的作用，钢丝扣压处的夹头很快就断裂；单薄无筋条的简易衣架，也易弯曲折断。对于 200 ~ 300mm 以上的 HIPS 构件，需注意自重。对其支撑位置产生的弯曲应变，应受到限制。HIPS 的制品不宜露天使用。它的抗氧化和热化学阻抗的稳定性较差。在承载情况下，扭曲和弯曲时会产生热变形或疲劳裂纹。

(6) ABS 系苯乙烯-丁二烯-丙烯腈共聚的无定形塑料。ABS 是简称，英文名为 Acrylonitrile-Butadiene-Styrene。ABS 通常有比 HIPS 好的韧性，有较好的综合力学性能；熔体流动性中等，易于注射成型；熔体对剪切速率敏感，常用针点式浇口注射；有较宽的熔体加热范围（180 ~ 240℃）；模具温度为 50 ~ 75℃，较高的模具温度可改善注塑件表面的光泽。成型收缩率小（0.3% ~ 0.8%），制品尺寸稳定。ABS 是重要的广泛使用的工程塑料。其品种牌号很多，有各种高抗冲击、中抗冲击、耐热型、阻燃型或透明型等。各品种的物理性能和成型加工性能有差异。ABS/PC 混合塑料件，可提高耐热温度到 120℃ 左右。

ABS 常用来制造各种壳体和结构件，以及经电镀等表面处理的装饰件。ABS 的面板、壳体和结构件制造的仪表，通常设计寿命为 10 年。仪表中最早开裂的部位是壳体上的螺纹牙，还有受到装配紧固力的螺钉孔和台柱。仪表中动力电动机或重物的作用会使结构件开裂损坏，也会有疲劳裂纹。倘若仪表的环境条件很差，壳体的横截面上会出现环境应力裂纹。

(7) AS 为丙烯腈与苯乙烯共聚的无定形塑料，也可简写成 SAN。其透光率与 PS 相当，韧性和强度超过 PS，有较好刚性并耐刻划。AS 抗冲击性能好，但对缺口敏感，熔体的流动性也较好，注射成型收缩率为 0.2% ~ 0.5%；利用其透明和半透明性，注射生产各种照明灯具上制件和装饰性的小尺寸壳体、按钮和表盘等，但需注意到 AS 制品在注射成型时易生成残余应力，会引发裂纹。AS 在成型加工和使用中与溶剂接触，有环境应力开裂的现象；倘若用 AS 制造热咖啡的容器，由于化学作用和高温，会使容器开裂。

(8) 聚甲基丙烯酸甲酯（PMMA）是丙烯酸类树脂中最重要的一种，属透明度高的无定形塑料；常以板材供应，俗称有机玻璃；但比无机玻璃轻得多，且抗冲击、耐振；具有良好的电绝缘性、染色性和二次加工的装饰性能。用聚苯乙烯改性的 PMMA 为 372 品种，珠光有机玻璃是国内常用的塑料品种。PMMA 熔体的流动性中等，其熔体黏度比 PE 和 PS 高，对加热温度比较敏感，超过 245℃ 以上即会分解。不良的注射工艺会影响制品的透明度和强度。PMMA 的氧指数为 17.3，属易燃塑料。

由于 PMMA 的脆性，使它不能承受高的应力。在钻孔切削时很容易开裂。PMMA 的螺纹孔在室温下拧紧时也会开裂。有机玻璃的表面硬度差，易被硬物擦伤起划痕，实施专门的表面涂覆可以有所改善。环境应力裂纹是 PMMA 的又一弱点，尤其是在平均相对分子质量较低时。

(9) 聚酰胺（PA）系多品种的结晶型聚合物，坚韧且耐疲劳，表面摩擦系数低又

耐磨,但极能吸湿;熔点高,熔融温度范围窄;结晶至熔化的相变过程温度:PA6在215~225℃,最高注射温度为250℃;PA66相变在250~265℃,最高注射温度为285℃;PA610相变在210~225℃,最高注射温度为250℃;PA12相变在175~185℃,最高注射温度为230℃。注射前必须充分干燥物料。熔体黏度低,注射成型时容易出现流涎和溢边。模具温度的高低影响结晶度和生产率,在较大范围(10~40℃)中,按需要选定。注塑件的成型收缩率大,PA6有0.7%~1.4%的收缩率,其他品种有1.6%左右的收缩率,且有波动。成型的制品因吸湿等原因,尺寸不稳定。

PA6弹性好,冲击强度高,吸水性较大;PA66强度高,耐磨性好;PA610与PA66性能相似,但吸水性和刚性都较小;PA12的吸水性小,成型收缩率较小些,制品尺寸较稳定;PA1010半透明,吸水性较小,耐寒性较好;玻璃纤维充填含量达33%的PA,其力学性能和耐热性能有很大提高,成型收缩率有明显下降;PA/ABS混合物中ABS占15%~20%,冲击强度有很大提高。

聚酰胺制品的失效有四个特征:

首先,PA在高温下加工时的水解作用会使材料降解。因此原料中的含水量必须严格限制。降解使PA的平均相对分子质量降低,造成制品强度下降。

第二,PA在固化结晶时,要有充裕的结晶时间,结晶度越高,晶粒越细,抗冲击性能越好。为获得一定的性能,必须控制好结晶度。

第三,制品在使用期内吸水,能起增韧作用。如果制品的水分含量低,常会太脆而失效。水对PA制品可能是需要的,也可能不需要。控制制品中含水量,是防止注塑件失效的重要方面。

第四,PA制品中含水量也影响到尺寸。吸水膨胀会改变尺寸,使塑料尺寸超出公差,也会使粘接等加工困难。

聚酰胺齿轮与聚甲醛齿轮啮合传动已普遍应用,一般用于小模数齿轮。用来传递动力的模数1mm以上的聚酰胺齿轮,还需慎重试验。由于疲劳强度不足,在与金属齿轮啮合时,PA齿轮上的轮齿会全部折断。

(10) 聚碳酸酯(PC) 由于大分子链结构的刚性强,使其结晶能力差,属于无定形聚合物。PC有突出的抗冲击和抗蠕变性能,并较能耐寒耐热,使用温度的范围宽,(-130~130℃)。PC的力学性能和电绝缘性能优良,并有较好的透明度;制品成型收缩率较小,注塑件尺寸精度高。PC是产量仅次于PA的工程塑料。

PC熔体的黏度高,流动性差,最高注射温度为300℃。高温下含有微量水,会引起水解,加工前要严格干燥处理。所需模具的温度高(80~100℃)。在脱模温度下,PC注塑件的弹性模量高,与模具钢表面间的摩擦系数大,成型件脱模困难。物料注射充模时流动和温差产生的残余应力较高,尤其在注塑件的嵌件周围、成型孔的周边和截面突变处,在外力等环境因素下,易产生应力开裂。PC制品有较高的缺口敏感性,疲劳强度低。PC注塑件还有高温水解的特性,在65℃以上的高湿条件下会产生应力开裂。

玻璃纤维或碳纤维增强后,可明显提高力学强度和改善耐热性,但冲击强度下降。

PC 的混合塑料品种很多: PC/ABS 改善熔料加工流动性, 降低制品的残余应力; PC/HDPE 降低熔体黏度, 提高制件的冲击强度, 减少应力开裂; PC/POM 提高耐溶剂性能、耐应力开裂和耐热性能; PC/PMMA 的制品光泽美观, 耐紫外线; PC/PA 混合, 使冲击强度提高, 更耐化学腐蚀。

(11) 聚甲醛 (POM) 是高结晶度的聚合物, 具有优良的物理和力学性能, 耐磨、耐水、耐腐蚀, 耐蠕变和耐疲劳性能好。均聚 POM 与共聚 POM 由于分子结构不同, 性能有差异。均聚 POM 的密度、结晶度和力学性能稍高一些。而共聚 POM 的热稳定性、化学稳定性及加工性能稍好一些。共聚 POM 应用较均聚 POM 广泛。

共聚 POM 熔体流动性中等。物料熔融温度范围小。共聚 POM 在 165 ~ 175℃ 间结晶熔化, 需模具温度 80 ~ 100℃。共聚 POM 热敏性强, 容易分解。熔体最高注射温度为 200℃。熔体温度过高或保持熔融状态的时间过长, 会溢出刺激性甲醛气体, 制品会变色或起泡。共聚 POM 的成型收缩率大 (1.5% ~ 3.5%), 且波动范围大, 用玻璃纤维增强改性, 可减小成型收缩率; 添加聚四氟乙烯、石墨和二硫化钼等可制成耐磨自润滑的支承或传动零件。POM 制品的热稳定性差, 易燃烧; 长期在大气中暴晒, 老化较快。

(12) 聚苯醚 (PPO) 聚苯醚的英文名为 Polyphenylene Oxide, 简称为 PPO。由于分子链的链段内旋困难, 导致刚性增大, 为无定形聚合物。成型收缩率和吸水性小, 阻燃性能好。热变形温度高达 190℃。其熔体流动性差, 需 300 ~ 330℃ 的高温加热熔化。纯 PPO 加工困难, 难以注射成型制品。生产中用聚苯乙烯混合 (PPO/PS), 名为 Noryl 塑料, 应用最多。其热性能和力学性能与聚苯乙烯含量有关, 与聚碳酸酯相近。其黏度比聚碳酸酯低, 高于 ABS。料筒温度为 315 ~ 340℃; 喷嘴温度为 300 ~ 320℃; 模具温度为 110 ~ 150℃; 成型收缩率为 0.3%。

PPO/PS 耐热难燃, 力学性能突出, 电绝缘性能优异, 用于电子电器产品上的耐热、高压和高频的绝缘制件, 用于计算机、打印机和复印机等办公用品的壳体, 及汽车和机电产品上的结构件。制品的工作温度约在 100℃, 其化学阻抗性能差。用 PPO/PS (Noryl) 塑料生产电热水壶, 在厨房里接触了油脂后, 会生成环境应力裂纹; 在加热和冷却的循环使用下, 会产生热疲劳裂纹。

下面介绍的聚对苯二甲酸丁二醇酯 (PBT) 和聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) 同属于结晶型的饱和聚酯, 为热塑性的工程塑料。

(13) 聚对苯二甲酸丁二醇酯 (PBT, PBTP) PBT 为结晶型热塑性树脂, 纯 PBT 的力学性能性能一般, 熔体的黏度较低, 很少应用。经玻璃纤维增强后, 力学性能大幅度提高。弯曲弹性模量达到 8.82GPa。热变形温度 (1.82MPa 下) 为 220℃, 介电绝缘性能优良。增强 PBT 的流动性良好, 但成型的温度范围较窄 (225 ~ 235℃)。PBT 的黏度对剪切速率的敏感性大于对温度的依赖。注射成型制品的取向很明显。纯 PBT 的成型收缩率为 1.7% ~ 2.3%, 玻璃纤维增强后的 PBT 约为原收缩率的 1/4 ~ 1/2, 玻璃纤维含量越高, 收缩率越小。

PBT 有阻燃增强品级。也有低翘曲的无机填料充填的品种。PBT/PET 混合塑料,

改善了翘曲变形,使制品有光泽。PBT/PC混合,改进了耐热温度和冲击强度。它们主要用于电子电器和仪器仪表邻域。

(14) 聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET) PET自1946年工业化以来,主要用于纤维、薄膜和吹塑瓶。大批量透明瓶的型坯,需经注射成型加工。PET是高度对称芳环的线性聚合物,易于取向;熔融温度较高,加热温度范围较小(270~290℃),分解温度为300℃;熔体流动性良好,且对流动剪切速率敏感;需较高的模具温度(85~130℃),以促成成型制品结晶,壁厚大时取较高模具温度。PET的成型收缩率很大,一般为1.8%,加入玻璃纤维后可降至(0.2~1.0)%。PET在-50~100℃范围内,基本保持常温下的力学性能,常用来注射成型电子电器和汽车配件。PET有含30%玻璃纤维的增强工程塑料,有PET/PC和PET/PA等共混品种。

2. 热塑性弹性体

通常把弹性模量小于 10^4 MPa的材料称为弹性体。弹性体在室温下能被反复拉伸至原始长度的2倍以上,应力解除后能大致恢复到原始长度和形状。橡胶是典型的弹性体。但橡胶不能通过热熔融再生造型。热塑性弹性体(TPE, thermoplastic elastomer)在常温下具有弹性,在熔融温度下能反复熔化后成型。TPE的价格高于一般的橡胶。制备热塑性弹性体的主要方法,是橡胶与塑料共混。

热塑性弹性体的高分子链段是具有弹性的软段,又有常温下约束大分子运动的硬段。软段为材料的连续相;硬段作为分散相。在熔融温度下,硬段被离解并和软段混合;冷却后硬段能重新分散在软段连续相中。

热塑性弹性体与硫化橡胶相比,弹性、抗蠕变性、耐溶剂性和耐油性能等,还有待改进。TPE制品容易与其他材料粘合,但表面修饰尚有困难。

热塑性弹性体的种类较多。较重要的有聚苯乙烯系、聚烯烃系、聚酯系、聚氨酯系和聚酰胺系等。新型的TPE品种仍在开发研制中。

热塑性弹性体注射成型时的加热熔融温度取决于相混塑料,比各种塑料熔融温度还低些。TPE的熔体黏度对温度的依赖性较大,与塑料相同而与橡胶不同。TPE在注射成型时收缩率大致为1.0%~1.5%。由于TPE的种类众多,有不同塑料与橡胶配比,又有各种添加剂,需要材料供应商提供熔体加热温度、模具温度和注射成型收缩率。TPE在注射成型时,浇口凝料很难拉断,要求浇口细长并有锐边,能切断。

(1) 聚苯乙烯系热塑性弹性体(TPS) TPS的典型代表是苯乙烯-丁二烯-苯乙烯嵌段共聚物(SBS)、苯乙烯-乙炔-丁二烯-苯乙烯共聚物(SEBS)。SBS的密度为 $0.94\text{g}/\text{cm}^3$,SEBS的密度为 $0.91\text{g}/\text{cm}^3$,拉伸强度可达30MPa。邵氏硬度可在30~75A之间调节,透明性好,着色性能优异。SBS用于柔性结构件和电线绝缘层,需求量很大。注射加热温度为180~240℃。模具温度为20~50℃。SBS与SEBS之间的最大差异在于老化性能。双键经加氢后生成的SEBS稳定性良好,耐化学药品性能优良。SEBS容易消毒灭菌、无需交联剂、毒性低,可作为医疗器械用材料,可制造密封件、血袋、奶嘴、医用插管、软管和手术衣等。

(2) 聚烯烃系热塑性弹性体(TPO) 用动态硫化技术机械掺混EPDM/PP而得,

其价格比乙丙橡胶 EPDM 低, 也称为 EPDM 热塑性弹性体。它避免了交联剂的毒性, 省却了多种配合剂; 废品废料可回收加工。其密度为 $0.88 \sim 0.97 \text{g/cm}^3$, 比 EPDM 橡胶的 1.1g/cm^3 小些; 可在 $-60 \sim 135^\circ\text{C}$ 温度范围内使用; 硬度范围广, 邵氏硬度可在 35 ~ 90A 范围调节; 对应有拉伸强度 $4.4 \sim 27.6 \text{MPa}$, 拉断伸长率为 330% ~ 600%。TPO 具有良好抗疲劳、耐酸碱与臭氧的性能。因其耐候性好, 主要用于汽车配件 (汽车用的保险杠和软管等) 和建筑密封件 (建筑上用的防水密封件, 如玻璃板的防振密封衬垫、铝塑门窗的密封条等)。注射加热温度为 $180 \sim 200^\circ\text{C}$ 。模具温度为 $15 \sim 40^\circ\text{C}$ 。注射时成型收缩率为 1.2%。

(3) 聚酯系热塑性弹性体 (TPEE) TPEE 高分子内有结晶的聚酯硬段部分, 又有非结晶的软段部分。TPEE 的拉伸强度大于 30MPa , 弹性为工程塑料的 3 ~ 6 倍, 耐疲劳、耐油、耐化学药品并耐溶剂侵蚀。其使用温度范围宽, 为 $-50 \sim 130^\circ\text{C}$; 且邵氏硬度在 35 ~ 80D 范围可调。缺点是不耐热水和强酸。TPEE 的综合性能优良, 适用于耐高低温、耐候且有薄壁要求的汽车配件。可制造减振板、密封环和液压软管等。由于绝缘性能好, 用于电气开关和接插件的保护罩。TPEE 的注射加热温度为 $200 \sim 250^\circ\text{C}$ 。模具温度为 $20 \sim 50^\circ\text{C}$ 。注射时成型收缩率为 1.0% ~ 1.5%。

(4) 聚氨酯热塑性弹性体 (TPU) TPU 的高分子硬段由扩链剂 (如丁二醇) 加成到二异酸酯上形成, 软段由聚酯或聚醚构成。TPU 的品种多, 性能范围广。其拉伸强度为 $25 \sim 70 \text{MPa}$ 。

TPU 的耐磨性非常突出, 添加石墨、二硫化铜、硅油和氟化物后, 摩擦系数显著降低; 撕裂强度高, 回弹性好, 且耐油; 在干燥条件下的最高使用温度为 $70 \sim 80^\circ\text{C}$, 脆化温度可达 -53°C ; 用于鞋底、胶轮、手柄、仪表板和密封件等。注射加热温度为 $190 \sim 240^\circ\text{C}$ 。模具温度为 $20 \sim 40^\circ\text{C}$ 。注射时成型收缩率为 0.8% ~ 1.4%。TPU 的改性品种很多, 透明级的透光率可达 85%。

(5) 聚酰胺系热塑性弹性体 (TPAE) TPAE 也是由软、硬嵌段交替组成的多嵌段共聚物。其硬段为聚酰胺 PA; 软段为聚酯或聚醚。它的硬段有许多种, 例如 PA6、PA66、PA11 和 PA12 等, 加上软硬段比例不同, 使 TPAE 有许多品种和相当宽的性能变化可调配。如邵氏硬度可在 65A ~ 75D 范围调配。

TPAE 的低温韧性好, 回弹性高, 有良好耐油和耐化学药品性能。TPAE 制品耐磨耗, 接触面上压强和线速度的 pv 极限值比较高。它有较强的弹性模量和使用温度, 可以用于体育用品的球拍和运动鞋, 汽车用的软管、减振片、密封垫等, 工业上用的传送带和轧辊等。TPAE 的注射加热温度为 $200 \sim 260^\circ\text{C}$, 模具温度为 $20 \sim 50^\circ\text{C}$ 。

1.1.2 热固性塑料

热固性塑料是指在一定的温度和压力下熔融, 保持一定的时间而固化, 固化后成为不能熔融、不能溶化的刚硬材料。热固性塑料所用热固性树脂一般采用缩聚法合成, 在交联固化中要释放低分子产物。20 世纪 20 年代开始, 热固性塑料的成型加工采用压缩模塑 (又称压制或热压模塑) 和压注模塑 (又称传递或压铸模塑)。生产中注塑周期