

材料工程师系列

塑料成型 加工新技术

贾润礼 李宁 等编著

Suliao Chengxing Jiagong Xinjishu

66

99



国防工业出版社

National Defense Industry Press

材料工程师系列

塑料成型加工新技术

贾润礼 李宁 等编著

国防工业出版社

·北京·

内 容 简 介

本书共分 8 章,系统介绍了 30 多种注塑成型技术、20 多种塑料挤出成型和加工技术、有关容器类制品成型方法(中空吹塑类、滚塑类、热成型类、缠绕类)35 种、13 种固相成型方法、16 种压力成型和传递成型方法、13 种拉挤成型和快速成型方法。本书侧重介绍各种新型塑料成型加工技术的成型方法、原理、技术特征和技术要点,部分特殊技术还附有产品加工实例,内容新、实用性强。本书适合材料、模具设计等工程技术人员阅读,也可作为高等院校相关专业的教材。

图书在版编目(CIP)数据

塑料成型加工新技术/贾润礼,李宁等编著. —北京:
国防工业出版社,2006.10
(材料工程师系列)
ISBN 7-118-04730-9

I. 塑... II. ①贾... ②李... III. 塑料成型
IV. TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 097446 号

国防工业出版社发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100044)

天利华印刷装订有限公司印刷

新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 13 $\frac{3}{4}$ 字数 313 千字

2006 年 10 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—4000 册 定价 26.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店: (010)68428422

发行邮购: (010)68414474

发行传真: (010)68411535

发行业务: (010)68472764

前 言

随着合成树脂、塑料机械、塑料模具以及相关领域的发展和科技进步,随着各行各业对塑料制品品种、数量、质量、性能等方面需求的日益扩展和提高,随着世界各国政府对军用塑料制品日益增长的需求和重视,塑料成型加工技术发展迅速,成型加工技术种类在不断增加,新技术的发展体现出一些特点:技术组合,借用技术(如固相成型、熔芯注塑),高速高效精密,满足特殊和高性能制品需求,新概念原创。

多年来在传统塑料成型加工技术和其他相关技术领域基础上衍生发展出种类繁多的塑料成型加工新技术,许多技术在国外已经普及应用,一些技术在我国的研究和应用发展迅速,有些技术正在快速普及,如无流道注塑、精密成型、气辅注塑、熔芯注塑、反应挤出和反应注射、交联发泡技术、双螺杆挤出机成型加工、电磁动态注塑和挤出、拉挤成型、树脂传递成型、快速成型等。结合我国塑料加工工业的发展特点和趋势,本书精选了国内外工业化应用热门和比较热门的12大类120多种成型加工技术,进行了比较详细的介绍。

本书共8章,以注塑成型和挤出成型新技术为重点内容。为减少内容上的重复,将有关容器类制品成型的中空吹塑类、滚塑类、热成型类、缠绕类成型技术汇集在容器类制品成型一章中。为便于工程应用,本书侧重介绍各种新技术的成型方法、原理、技术特征、技术要点和适用范围。限于篇幅,一些通用成型技术以及新技术中与通用成型技术相同的地方省略。

本书第1、2章介绍了各种注塑成型新技术;第3章介绍了挤出成型新技术的内容;第4章介绍了有关塑料容器类制品成型的各种各类成型方法和技术,包括可调壁厚的挤出吹塑、注压吹塑、深拉伸双壁吹塑、低发泡中空吹塑、多层复合容器中空吹塑、滚塑发泡成型、热成型、缠绕成型等;以后几章分别介绍了塑料固相成型技术、压力成型技术与传递成型技术、拉挤成型技术和快速成型技术。

本书第1、7、8章内容由中北大学梁丽华编写;2.1节~2.5节由中北大学塑料研究所刘渊编写;2.6节~2.7节和3.1节~3.7节由中北大学塑料研究所梁琦编写;3.8节~3.14节和4.1节~4.5节由中北大学塑料研究所刁雪峰编写;3.15节~3.21节由中北大学贾润礼编写;4.6节~4.11节由中北大学塑料研究所田计青编写;第5章由山西省化工产业技术中心李宁编写,第6章由中北大学栗继宏编写。全书由贾润礼、李宁共同主编。

本书主要根据文献资料,结合作者多年来教学科研的实践和理解进行编写,限于篇幅,书末只列出主要参考文献,未能将所有参考文献一一列出,在此对所有作者致以衷心的感谢,并祈请未能列出的作者特别是内部资料的作者谅解。

由于某些资料获取困难,加之编者水平和实际经验有限,错误之处在所难免,敬请同行专家和读者批评指正。

编者

目 录

| | | | |
|----------------------------------|----|------------------------------------|----|
| 第1章 特殊注塑成型技术 | 1 | 1.14 逆流注塑成型 | 26 |
| 1.1 层状注射 | 1 | 第2章 注塑成型技术 | 28 |
| 1.1.1 层状注射成型工艺 过程 | 1 | 2.1 概述 | 28 |
| 1.1.2 LIM的应用 | 3 | 2.2 振动注塑成型 | 28 |
| 1.2 无流道注塑成型 | 3 | 2.2.1 电磁动态注塑成型 | 29 |
| 1.3 精密注塑 | 4 | 2.2.2 振动充模 | 31 |
| 1.3.1 精密注塑制品 | 5 | 2.2.3 多点进料振动注塑 | 33 |
| 1.3.2 精密注塑用塑料 | 6 | 2.2.4 推拉注塑 | 33 |
| 1.3.3 精密注塑模具 | 7 | 2.2.5 振动保压 | 34 |
| 1.3.4 精密注塑工艺 | 8 | 2.3 注射压制成型 | 34 |
| 1.3.5 精密注塑机要点 | 9 | 2.3.1 热塑性塑料注射压制 成型 | 35 |
| 1.4 排气注塑 | 10 | 2.3.2 热固性塑料注射压制 成型 | 36 |
| 1.4.1 排气注塑原理 | 10 | 2.4 反应注射成型 | 39 |
| 1.4.2 排气注塑成型工艺 要点 | 10 | 2.4.1 反应注射成型原理及对设备 与模具的要求 | 39 |
| 1.4.3 排气式注塑机螺杆与排气口 结构要点 | 12 | 2.4.2 聚氨酯反应注射成型 | 41 |
| 1.5 多组分注塑成型 | 14 | 2.4.3 RRIM | 45 |
| 1.5.1 模具回转的双组分注塑 成型 | 15 | 2.4.4 SRIM | 46 |
| 1.5.2 利用浇道系统的多组分 注塑成型 | 16 | 2.5 低发泡注塑成型 | 47 |
| 1.5.3 混色注塑 | 18 | 2.5.1 发泡成型原理 | 47 |
| 1.6 受控低压注射 | 19 | 2.5.2 低压法注射成型 | 49 |
| 1.7 熔芯注塑成型 | 20 | 2.5.3 高压法注射成型 | 51 |
| 1.8 多级注塑成型 | 22 | 2.5.4 双组分注射成型 | 53 |
| 1.9 挤出注射成型 | 23 | 2.5.5 超临界发泡注塑成型 | 56 |
| 1.10 覆膜注塑成型 | 24 | 2.6 气辅与水辅注塑成型 | 57 |
| 1.11 模具滑动注射 | 25 | 2.6.1 热塑性塑料气体辅助 注塑成型 | 57 |
| 1.12 剪切控制取向注射 | 25 | 2.6.2 热固性塑料的气体辅助 注塑成型 | 61 |
| 1.13 磁场注塑成型 | 26 | 2.6.3 水辅注塑成型 | 62 |

| | | | |
|---------------------------------------|-----------|--------------------------------------|-----|
| 2.7 热固性塑料注塑成型 | 62 | 3.8.3 反应挤出的应用 | 95 |
| 2.7.1 热固性塑料注塑 | 62 | 3.9 多螺杆挤出机挤出技术 | 96 |
| 2.7.2 BMC 模塑料的注塑 成型 | 68 | 3.9.1 三螺杆挤出机 | 97 |
| 2.7.3 ZMC 注射 | 73 | 3.9.2 四螺杆挤出机 | 99 |
| 2.7.4 流动注塑 | 74 | 3.9.3 五螺杆及更多螺杆挤 出机 | 99 |
| 第3章 挤出成型技术 | 77 | 3.10 双阶挤出机挤出技术 | 100 |
| 3.1 概述 | 77 | 3.11 共挤出技术 | 101 |
| 3.2 往复螺杆挤出机混炼技术 | 78 | 3.11.1 共挤出双壁波纹管 | 101 |
| 3.2.1 往复螺杆的工作原理 | 78 | 3.11.2 共挤出吹塑复合薄膜 | 102 |
| 3.2.2 机筒内壁销钉与螺叶之间的 运动关系与剪切 | 80 | 3.11.3 共挤出复合流涎膜及共 挤出双向拉伸复合膜 | 104 |
| 3.3 双螺杆挤出机混炼与挤出 技术 | 81 | 3.11.4 PVC 芯层发泡复合管、 板共挤出 | 105 |
| 3.3.1 啮合型同向旋转式双螺杆 挤出机 | 82 | 3.11.5 共挤出复合异型材 | 106 |
| 3.3.2 啮合型异向旋转式双螺杆 挤出机 | 84 | 3.11.6 电线电缆包覆共挤出 | 107 |
| 3.3.3 非啮合型双螺杆挤 出机 | 84 | 3.12 可视化挤出技术 | 107 |
| 3.3.4 啮合型同向旋转式双螺杆挤 出机的直接挤出制品 | 85 | 3.13 精密挤出成型 | 108 |
| 3.3.5 熔体粉料化 | 86 | 3.14 发泡挤出 | 109 |
| 3.4 PVC 型材高速挤出技术 | 86 | 3.14.1 低发泡挤出技术 | 109 |
| 3.4.1 配方与混料技术 | 87 | 3.14.2 挤出后发泡 | 110 |
| 3.4.2 挤出主机 | 87 | 3.14.3 交联发泡 | 111 |
| 3.4.3 高速挤出机头 | 87 | 3.14.4 吹塑发泡 | 115 |
| 3.4.4 定型装置 | 88 | 3.15 熔体泵 | 116 |
| 3.4.5 双股及多股异型材挤出 | 88 | 3.16 静态混合器 | 117 |
| 3.5 连续混炼挤出机 | 88 | 3.17 热固性塑料挤出 | 119 |
| 3.6 串联式磨盘螺杆挤出机 | 89 | 3.18 润滑挤出成型 | 120 |
| 3.7 电磁动态挤出技术 | 91 | 3.18.1 低黏度液体润滑剂 | 121 |
| 3.7.1 塑料电磁动态塑化挤 出机 | 91 | 3.18.2 缝隙法共润滑挤出 | 121 |
| 3.7.2 聚合物电磁动态混炼 挤出机 | 92 | 3.18.3 微孔体法共润滑挤出 | 122 |
| 3.8 反应挤出 | 93 | 3.18.4 空气共润滑挤出 | 123 |
| 3.8.1 反应挤出的原理及特点 | 93 | 3.19 交替共挤出吹塑成型 | 124 |
| 3.8.2 反应挤出机 | 94 | 3.20 塑料管材连续双向拉伸 技术 | 126 |
| | | 3.20.1 压缩空气膨胀 | 126 |
| | | 3.20.2 口模拉伸膨胀 | 126 |
| | | 3.20.3 风冷吹胀拉伸 | 127 |
| | | 3.20.4 模头胀拉成型 | 127 |
| | | 3.20.5 高压水膨胀 | 127 |

| | | | |
|------------------------------|------------|------------------------------|------------|
| 3.21 热收缩管连续生产技术 | 128 | 4.9.1 热塑性塑料容器滚塑成型 | 156 |
| 3.21.1 内压法连续吹胀 | 128 | 4.9.2 聚乙烯滚塑实例 | 158 |
| 3.21.2 真空膨胀法 | 129 | 4.9.3 热固性增强塑料制品的滚塑成型 | 161 |
| 3.21.3 真空/压空成型 | 131 | 4.9.4 多层复合容器的滚塑成型 | 162 |
| 第4章 容器类制品成型 | 132 | 4.10 热成型 | 164 |
| 4.1 注射吹塑成型 | 132 | 4.10.1 基本阴模、阳模成型 | 164 |
| 4.1.1 注射吹塑设备与工艺 | 133 | 4.10.2 阳模快速反吸真空成型 | 165 |
| 4.1.2 注射吹塑技术要点 | 133 | 4.10.3 气胀阳模反吸真空成型 | 166 |
| 4.2 型坯壁厚可调的挤出吹塑成型 | 134 | 4.10.4 模塞辅助阴模真空成型 | 166 |
| 4.2.1 轴向壁厚的调节 | 134 | 4.10.5 模塞辅助阴模压力成型 | 167 |
| 4.2.2 周向壁厚的调节 | 135 | 4.10.6 气胀模塞辅助真空成型和压力成型 | 167 |
| 4.3 注射拉伸吹塑成型 | 138 | 4.10.7 双片成型 | 167 |
| 4.3.1 注射拉伸吹塑 | 138 | 4.10.8 对模成型 | 168 |
| 4.3.2 直接调温注射拉伸吹塑 | 139 | 4.11 纤维缠绕成型 | 169 |
| 4.4 注压吹塑成型 | 140 | 4.11.1 螺旋缠绕技术 | 169 |
| 4.5 深拉伸双壁吹塑模塑技术 | 141 | 4.11.2 平面缠绕技术 | 170 |
| 4.6 低发泡中空吹塑成型 | 143 | 4.11.3 特种缠绕技术 | 171 |
| 4.6.1 低发泡中空吹塑成型工艺原理与设备 | 143 | 第5章 固相成型 | 172 |
| 4.6.2 低发泡中空吹塑成型用原料 | 144 | 5.1 热成型 | 172 |
| 4.6.3 低发泡中空吹塑成型工艺要点 | 144 | 5.1.1 锻压 | 172 |
| 4.6.4 低发泡中空吹塑成型实例 | 145 | 5.1.2 热冲压 | 173 |
| 4.7 多层复合容器中空吹塑 | 146 | 5.1.3 橡胶垫成型 | 175 |
| 4.7.1 多层复合容器的共挤出吹塑成型 | 147 | 5.1.4 挤压成型 | 176 |
| 4.7.2 多层复合容器共注射吹塑成型 | 149 | 5.1.5 无边角料成型(SPF) | 176 |
| 4.8 滚塑发泡成型 | 152 | 5.2 冷成型 | 177 |
| 4.8.1 滚塑发泡成型工艺 | 152 | 5.2.1 深度拉伸或片材冲压 | 177 |
| 4.8.2 一步法滚塑发泡成型工艺原理 | 154 | 5.2.2 液压静力挤出 | 177 |
| 4.8.3 滚塑发泡制品成型实例 | 155 | 5.2.3 冷锻加工 | 178 |
| 4.9 滚塑成型 | 156 | 5.2.4 片材辊轧 | 178 |
| | | 5.2.5 柔性挤压成型 | 179 |
| | | 5.3 粉料直接固相成型 | 179 |

| | | | |
|--|------------|-----------------------|------------|
| 5.4 固相挤出····· | 180 | 6.5.7 TERTM ····· | 194 |
| 5.5 烧结成型····· | 181 | 6.5.8 CIRTM ····· | 194 |
| 第6章 压力成型与传递成型 ····· | 183 | 6.5.9 FRTM ····· | 195 |
| 6.1 熔体压缩模塑····· | 183 | 第7章 拉挤成型 ····· | 196 |
| 6.2 热压罐成型····· | 183 | 7.1 拉挤成型····· | 198 |
| 6.3 TMC、BMC、DMC、SMC 制备技术 及其模压成型 ····· | 184 | 7.2 拉挤缠绕成型····· | 199 |
| 6.3.1 TMC、BMC、SMC 比较 ····· | 185 | 7.3 拉挤编织····· | 200 |
| 6.3.2 TMC 模塑料制备及模压 成型····· | 186 | 7.4 反应注射拉挤····· | 201 |
| 6.3.3 SMC 制备及模压成型 ··· | 187 | 7.5 变截面拉挤····· | 204 |
| 6.3.4 DMC、BMC 制备与模压 成型····· | 188 | 第8章 快速成型 ····· | 205 |
| 6.4 传递成型····· | 190 | 8.1 喷射成型技术····· | 205 |
| 6.5 树脂传递成型····· | 190 | 8.1.1 喷射成型工艺····· | 205 |
| 6.5.1 RTM ····· | 191 | 8.1.2 喷射成型设备····· | 206 |
| 6.5.2 RAM ····· | 193 | 8.2 熔融挤压堆积成型····· | 207 |
| 6.5.3 VARTM ····· | 193 | 8.3 侵入式光成型····· | 208 |
| 6.5.4 CRTM ····· | 193 | 8.4 光固化成型表面光顺技术····· | 209 |
| 6.5.5 SCRIMP ····· | 193 | 8.5 气相沉积成型····· | 209 |
| 6.5.6 RFI ····· | 194 | 8.6 激光三维内割技术····· | 209 |
| | | 8.7 选择性激光烧结····· | 210 |
| | | 8.8 其他成型技术····· | 210 |
| | | 参考文献 ····· | 211 |

第 1 章 特殊注塑成型技术

1.1 层状注射

层状注射(LIM)成型是一种兼有共挤出成型和注射成型特点的成型工艺,该工艺能在复杂制件中任意地产生很薄的分层形态。层状注射成型同时实施两种不同的树脂注射,使其通过一个多级共挤模头(图 1-1),各股熔体在共挤模头中逐级分层,各层的厚度变薄而层数增加,最终进入注塑模腔叠加,保留通过上述过程获得的层状形态,两种树脂以多个薄层方式交替复合叠加在一起。据报道,层状注射可成型每层厚度为 $0.1\mu\text{m}\sim 10\mu\text{m}$ 、层数达上千层的制品。层状注射成型的制品保留了各组分材料的特性,比传统共混料更能充分发挥材料性能,使其制品在阻隔气体渗透、耐溶剂、透明性方面更具优点。

LIM 同时注射和层数倍增来产生完美细分的微层熔体充模。与共注射或多组分注射成型相比,LIM 工艺简单、经济实用,由于片层化的熔料流能充满复杂的多型腔模具,不会受限于循环平衡制品或单独型腔的计量。

LIM 制品结构与共挤出、共注射制品的主要区别在于 LIM 制品的所有组分都会在表面出现,这是由于在注射充模阶段,向前推进的抛物面型微层料流前锋在模具壁面凝固所导致。从这点看,它们与普通共混物的注塑制品相似,但 LIM 制品的表面组成更加接近于整体组成。

1.1.1 层状注射成型工艺过程

LIM 工艺流程如图 1-1 所示。图中组分 A 和组分 B 的熔体流分别由两个注射料

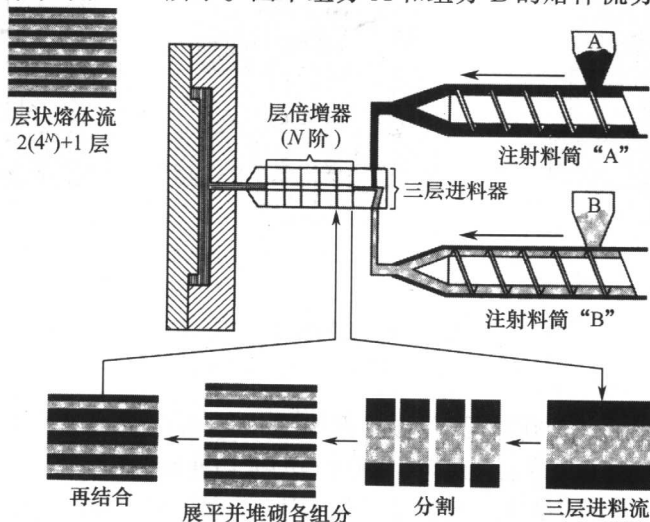


图 1-1 LIM 工艺流程

筒独自产生,并以预定的速度同时注射。注射速度由设定的组分比例控制,两股熔料流在进料单元汇合,形成三层结构(A-B-A)。料流经过一系列的层倍增器,被反复分割和组合,使层数不断增加,而厚度不断变薄。该过程可重复多次,当平衡进料时,层倍增的总层数可由式(1.1)来计算。

$$M = K^N(n - 1) + 1 \quad (1.1)$$

式中 M ——总层数;
 K ——倍增因子;
 n ——初始层数;
 N ——层倍增阶数。

当 $K = 4$ (即采用 4 通道的层倍增器)时,注入的料流层数可为 33、39、128、513、2049。当采用双通道或三通道层倍增器,或使用能产生不同初始层结构的进料单元块,则可以获得其他的层数组合。

熔体料流可通过常规的注射喷嘴来充模,采用图 1-1 所示的双注射料筒的注塑机。该工艺同样适用于三组分的注射成型,当然这需要三个注射装置和一个五层进料单元块以形成 A-B-C-B-A 的初始层结构。这就需要采用粘接层(B组分)来连接不相黏结的聚合物 A 和 C。界面处粘接或增容聚合物的位置可以预先设定。采用双料筒往复螺杆注射成型,为了产生微米尺度的层状形态的共混物,利用了通过进料器的同时注射和层倍增器来实现。

图 1-2 为 LIM 成型阻隔容器模具的工作过程。

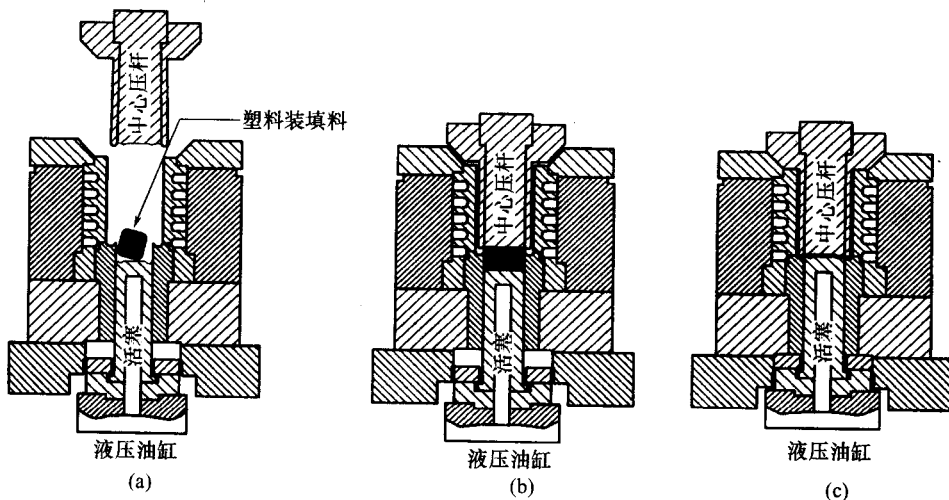


图 1-2 LIM 成型阻隔容器模具的工作过程
 (a) 开模; (b) 合模; (c) 成型制品。

LIM 的技术特点: ① 在瞬间高流速(例如 1000kg/h)及高压(例如 130MPa)下的间歇式流动; ② 在比连续共挤出更高(约 100 倍)的剪切速率和应力下,层的产生和层数倍增是间歇式的; ③ 组分的精确控制依赖于相对注射速率,而不是由齿轮泵或计量加料器来计量; ④ 充模时,熔体自由流动前沿形成喷泉流,造成高拉伸应变。

1.1.2 LIM 的应用

LIM 成型工艺使人们能够通过直接模塑成型两种或多种聚合物而产生片层形态。与普通共混技术相比,LIM 技术可以提高制品性能,降低共混物加工费用,并能在不相容的聚合物的界面引入增容聚合物。

与共注射成型相比,LIM 技术简化了工艺,降低了模具成本,并能成型复杂的多型腔制品。多组分注射成型机可以较容易被改装用于 LIM。

LIM 技术可用于制备许多不同聚合物的复合材料,例如,少量阻隔性树脂(2%~20%)与通用塑料或工程热塑性塑料组成的多相阻隔体系及基于工程热塑性塑料的体系,LIM 与单层 PET 和普通共混物相比,可使氧气透过率分别降低一个和两个数量级。HDPE-尼龙 6 的 LIM 结构的烃类透过率比 HDPE 降低达 200 倍,这个数值是在尼龙含量为 5% 时得到的,甚至超过了已经商品化的挤出吹塑烃类阻隔性容器的数值。与普通共混相比,LIM 可显著提高产品的耐化学性、耐热性、尺寸稳定性和光学透明性,其性能提高幅度可用复合材料理论进行估算。当材料和形态合适时还可制备出具有交互增强特点的复合材料。

LIM 可望在以下材料中得到工业化应用:①要求透明性、阻隔性和耐化学性的 PC/PET;②要求耐热和耐溶剂的 PC/PBT;③需要气体和溶剂阻隔性的聚烯烃/粘接剂/EVOH;④需要阻隔、耐热和透明的 PET-PEN;⑤需要气体和溶剂阻隔性的聚烯烃/粘接剂/尼龙;⑥需要气体阻隔性和透明性的透明抗冲改性聚苯乙烯/尼龙;⑦耐溶剂的 ABS/热塑性聚氨酯;⑧耐溶剂、耐热、透明的 PC/热塑性聚氨酯;⑨韧性好和耐热的填充和未填充聚合物组合(例如:PP/填充 PP、PC/填充 PC、PC/填充 ABS 和 ABS/填充 PC);⑩脆性和韧性聚合物相互增强的组合;⑪工程热塑性塑料与作为增强相的热致液晶聚合物(T-LCP)的组合;⑫用于阻燃性的聚合物材料组合(例如溴化 PC/ABS);⑬原料与再生料的组合。

目前采用 LIM 工艺对两组分和三组分通过应用层倍增器,进料流层数已达到约 2000 层。若采用交错式进料器设计则可以容纳更多的组分或产生更多的初始熔料流层数。原则上特殊的机器、进料器和层倍增器可以产生数千层的多组分进料流。所有 LIM 组分都将在模塑制品表面呈现。

LIM 工艺适用于单型腔和多型腔注射成型、注射吹塑成型(模内再加热吹塑)、注射拉伸吹塑成型、气体辅助注射成型、结构发泡成型和多组分注射成型等。由于不需要特殊的模具设计,普通的分流道式和无流道式模具均可采用。普通共注射成型机、多组分或多色注射成型机,若具有对各个注射料筒的独立液压控制,则都适合于 LIM 工艺。常规的注塑机通过添加另外的注射装置和微处理器控制系统,也可改装用于 LIM。

1.2 无流道注塑成型

无流道注塑成型技术是基于减少注塑件浇道凝料和节能的考虑而开发的。除了 PTFE、UHMWPE 等少数特高黏度的塑料外,原则上在常温下呈固态的所有热塑性塑料、热固性塑料、热塑性弹性体甚至橡胶都可采用无流道注塑成型。无流道注塑成型所用注

塑机为普通注塑机,注塑工艺完全按照一般注塑工艺,只是采用了无流道注塑模具。无流道注塑模具分热流道注塑模、绝热流道注塑模、温流道注塑模三类。热塑性塑料通常使用热流道注塑模成型,也有少数情况下使用绝热流道注塑模成型;热固性塑料使用热流道注塑模较多,也有使用绝热流道注塑模和温流道注塑模成型。表 1-1 列出了部分塑料对不同形式热流道系统的适应情况。

表 1-1 各种塑料对不同形式热流道浇注系统适用表

| 塑料 流道 | PE | PP | PS、AS | ABS | POM | PVC | PC |
|----------|----|----|-------|-----|-----|-----|-----|
| 延伸式喷嘴 | 可 | 可 | 可 | 可 | 可 | 可 | 可 |
| 绝热流道 | 可 | 可 | 稍困难 | 稍难 | 不可以 | 不可以 | 不可以 |
| 多型腔分流道 | 可 | 可 | 可 | 可 | 可 | 可 | 可 |

无流道模具在国外的应用已很普遍,在注射模具中约占总数的 40%。我国近年来在热流道注塑模的设计和制造技术方面发展很快,现在已有多个企业专业生产热流道板和热流道喷嘴,并且品种规格已系列化,这对今后热流道模具的进一步推广应用非常有利。

有关无流道注塑模设计内容详见《新型注塑模设计》,这里不再重复。

1. 无流道注塑成型的优点

- (1) 基本可实现无废料加工,节约原料,特别是对于热固性塑料。
- (2) 省去除料把、修整塑件、破碎回收料等工序。
- (3) 省去对浇道料的二次加热熔融,一方面节能,另一方面减少了塑料的热降解。
- (4) 由于浇注系统的熔料在生产过程中始终处于熔融状态,浇注系统畅通,压力损失小,可以实现多点浇口、一模多腔和大型模具的低压注塑;还有利于压力传递,从而克服因补塑不足所导致的制作缩孔、凹陷等缺陷,改善应力集中产生的翘曲变形,提高了塑件质量。
- (5) 由于设有浇注系统的凝料,而缩短了模具的开模行程,提高了设备对深腔塑件的适应能力。

2. 无流道注塑成型的缺点

- (1) 模具设计难度大。
- (2) 模具精度高,制造费用高,不适于小批量制品生产。
- (3) 对制件形状和使用的塑料有原则。
- (4) 对于多型腔模具,采用无流道成型技术难度较高。
- (5) 注塑生产中对模具的使用和维护有一定的技术要求。

1.3 精密注塑

随着塑料制品在精密仪器、电子信息工业上的应用越来越广泛,对精密注塑制品的需求也越来越大。这类塑料制品的尺寸精度、表观质量和使用性能都要求较高。必须采用专门的精密注塑机,选用合适的成型材料和严格并精确控制的成型工艺,配合精度较高的

注塑模具,才能生产出精密注塑制品。

1.3.1 精密注塑制品

对于精密注塑和精密注塑制品并无严格的界限和统一的标准,一般都认为精密注塑机生产出的精密注塑制品应具有以下几个特点。

- (1) 制品的尺寸精度很高,表面光洁程度很好,不易变形。
- (2) 制品的使用性能优良,合乎精密制品的特殊使用要求。
- (3) 制品的重复精度高。
- (4) 注塑生产的成品率要高,生产应稳定可靠。
- (5) 生产的自动化程度要高,制品的质量受人为因素的影响小。

对于具体的精密注塑制品的精度要求应根据塑件实际使用要求合理规定,精度要求过剩会导致塑件制造的困难和生产成本不必要的增加。国外对于精密注塑制品尺寸精度的规范值有美国的 SPI、德国的 DIN 16901、瑞士的 VSM 77012 及英国的 BS4042,这些规范值大致相当,制品的尺寸在 10mm 以下时,其精密级基准为 $\pm 0.5\text{mm}$,表 1-2 为德国 DIN 16901 标准规定的精密注塑制品尺寸公差和允许误差。

表 1-2 德国 DIN16901 规定的精密注塑制品尺寸公差和允许误差

| 成型收缩识别值的公差等级 | | | | |
|-------------------------|----------------------|------|------|----------------------|
| 材料名称 | 成型收缩识别值 ^① | | | 公差等级精密级 ^② |
| AK6 | 0~1 | | | 110 |
| 无填料 PA6,66,610,11,12 | 1~2 | | | 120 |
| 玻璃纤维增强 PA6,66,610,11,12 | 0~1 | | | 110 |
| PC | 0~1 | | | 110 |
| PE | 2~3 | | | 130 |
| PMMA | 0~1 | | | 110 |
| 无填料 POM | 1~2 | | | 120 |
| 玻璃纤维增强 POM | 0~1 | | | 130 |
| 公称尺寸和公差等级确定的允许公差 | | | | |
| 公称尺寸范围/mm | 公差等级 | | | |
| | 110 | 120 | 130 | 精密加工技术级 |
| 1 | 0.08 | 0.12 | 0.16 | 0.05 |
| 1~3 | 0.1 | 0.14 | 0.18 | 0.06 |
| 6~10 | 0.14 | 0.18 | 0.22 | 0.08 |
| 10~15 | 0.18 | 0.2 | 0.26 | 0.1 |
| 30~40 | 0.22 | 0.3 | 0.4 | 0.16 |
| 70~90 | 0.34 | 0.44 | 0.68 | 0.25 |
| 200~250 | 0.7 | 1.04 | 1.6 | |
| 400~500 | 1.3 | 2.0 | 3.0 | |

注: ①表示由模具直接决定的尺寸公差;②忽略不由模具直接决定的尺寸公差

图 1-3 所示为按注塑塑料的形态和注塑工艺水平推荐的小型精密注塑制品的尺寸公差范围。

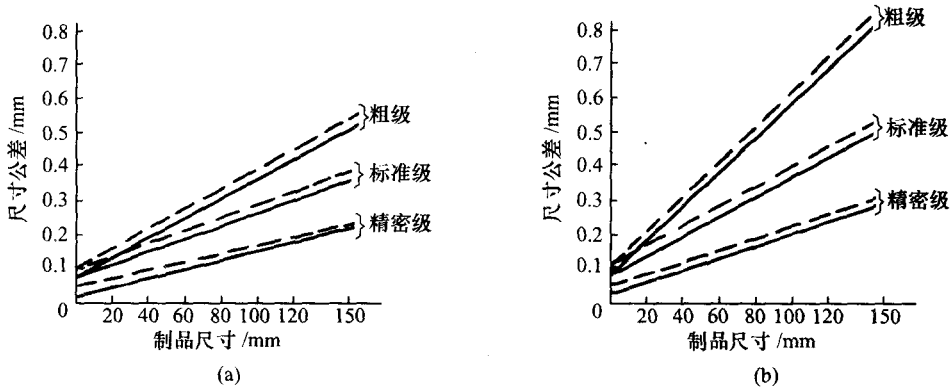


图 1-3 小型精密注塑制品尺寸公差范围

(a) 结晶型塑料; (b) 非结晶型塑料。

虚线:由模具决定的尺寸;实线:不由模具决定的尺寸。

1.3.2 精密注塑用塑料

(1) 塑料品种 用于精密注塑加工的塑料必须具有机械强度高、尺寸稳定、收缩率小、吸水性小、热膨胀系数小、物料的时效变化率小、抗蠕变性能好且已大规模生产等特点。常用的精密注塑用塑料主要有以下几种类型。

- ① 聚甲醛(POM)主要有无填料聚甲醛和玻璃纤维增强聚甲醛及碳纤维增强聚甲醛;
- ② 聚碳酸酯(PC);
- ③ 尼龙。主要有无填料和玻璃纤维增强尼龙 6、尼龙 66、尼龙 610 等种类;
- ④ ABS。

(2) 收缩问题 塑料在成型过程中的收缩对精密注塑制品的精度影响最大。有关收缩问题包括以下因素。

① 热收缩。塑料由高温的熔融状态到固化后出模直到制品冷却到室温整个过程因受到冷却而发生的收缩,再加上成型模具的热胀冷缩对制品尺寸的影响,一般可采用下式来计算制品的热收缩率。

$$\Delta L = L_0[\alpha_r(t_r - t_0) - \alpha_m(t_m - t_0)] \quad (1.2)$$

式中 ΔL ——热收缩率;

L_0 ——制品在常温 t_0 下的尺寸;

α_r ——成型用塑料的线膨胀系数($10^{-4}K^{-1}$);

α_m ——模具材料的线膨胀系数($10^{-4}K^{-1}$);

t_r ——熔融物料的温度($^{\circ}C$);

t_m ——模腔温度($^{\circ}C$);

t_0 ——室温($^{\circ}C$)。

② 相变收缩。相变收缩在这里包括塑料熔体冷却固化转为固态时的收缩和结晶型塑料在固化过程中由于结晶化而使比热容减小所引起的收缩。熔融的物料在模具模腔中进行冷却固化时,当冷却温度接近其结晶化温度时,比热容会发生很大的变化。模具的温度高,则塑料的结晶度也高,收缩率较大;但塑料结晶度的提高会使制品的密度增加,从而使其线膨胀系数减小,制品收缩率反而降低,因此,制品的实际收缩率应进行综合分析而定。

③ 取向收缩。成型塑料在充模成型过程中会发生分子取向作用,在冷却定型时大分子在取向方向会产生较大收缩。取向收缩率的大小,将直接影响到精密注塑制品的尺寸精度。成型用塑料分子的取向度大小与注射充模时的注射压力、注射充模速度、熔融物料的温度以及模具模腔的温度有关,但注射充模速度的影响最大。充模速度越高,成型塑料的分子取向度越长,则制品的取向收缩率越大。

④ 模内压缩。对于一些熔体弹性较大的塑料,加大注塑保压压力会使其密度增加而比热容减小,导致膨胀系数减小,收缩率显著下降。当成型制品从模具模腔中取出时会发生部分弹性回复,体积增大,可以抵消制品的部分热收缩。这是从工艺上减小塑件收缩的一条途径。

从以上分析可以看出,只要合理地采用合适的精密注塑工艺条件,就可以大大减少精密注塑制品的成型收缩,表 1-3 为成型工艺条件对制品相关收缩率的影响。

表 1-3 成型工艺条件对制品相关收缩率的影响程度

| 工艺条件 相关收缩率 | 物料温度 | 模腔温度 | 注射压力 | 注射速度 | 保压时间 | 冷却时间 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|
| 热收缩 | ○ | △ | — | — | ○ | △ |
| 相变收缩 | ○ | △ | — | — | — | ○ |
| 取向收缩 | ○ | ○ | ○ | △ | — | ○ |
| 模内压缩 | △ | △ | △ | ○ | ○ | ○ |

注: △为影响较大;○为影响程度一般;—为影响小或无影响

1.3.3 精密注塑模具

要得到高精度的注塑制品,必须先有高精度的注塑模具。但是如果追求过高的模具精度会使模具的制造加工困难,模具成本增加。考虑到注塑过程中各种因素对模塑制品精度的影响,模具的各种尺寸公差应控制在注塑制品尺寸公差的 1/3 以下才能够保证得到合乎精度和质量性能要求的精密注塑制品来。

模具除了要考虑其制造精度以外,还应考虑到下列因素:刚性、材料、硬度、各滑动部分的间隙、浇口尺寸及浇口的流动平衡、模具温度的控制。

(1) 可加工性 在进行模具设计时,必须考虑到对模具进行精加工的可能性以保证模具的精度,如研磨、抛光等;对于嵌入件与模腔之间的配合精度,嵌入件对注塑时熔融体温度、压力和流动性能等的影响都应进行充分考虑;为了保证模具具有较高的分型面对中

精度,除了设置导向柱以外,还必须安装定位销等精确定位装置以确保定位精度可靠。

(2) 刚性 精密注塑注射压力和锁模力都较大,使模具产生一定的变形而影响制品的精度。因此,精密注塑模具的结构设计不仅要充分考虑强度计算,而且要考虑有足够的刚性。在进行模具设计时应将顶出销孔尺寸设计得小一些,而底板、支承板和模腔壁则要厚一些,模腔数也不宜过多。

(3) 制品的脱模 在进行精密注塑模具设计时必须考虑到既要使制品易于脱模又不能设计太大的脱模斜度;流道系统应尽量少而且短,既有利于充模时的流动平衡和压力分布均匀,又必须具有较高的光洁程度。

(4) 模具材料 应选用机械强度较高的优质合金钢来制造精密注塑模具,制造模腔流道系统的材料必须经过热处理加工,使之具有硬度高、耐磨、抗腐蚀等特点。

1.3.4 精密注塑工艺

要得到高精度的注塑制品,除了采用符合要求的成型设备之外,还必须运用适当的精密注塑工艺条件进行正确的注塑操作,才能达到精密注塑的要求。影响制品精度的成型工艺因素很多,主要有成型注射压力、注射充模速度和模具温度等几类。

(1) 注射压力 精密注塑所需的注射压力一般都很高,常在 220MPa 以上,有的甚至高达 400MPa 以上。精密注塑采用高的注射压力,主要有以下几个方面的作用。

① 提高精密注塑制品的精度和成型质量 从前面的一些分析可知,注射压力对注塑制品的成型收缩有着非常重要的影响。注射压力提高,成型塑料的压缩性增加,比热容减小,密度增加使线膨胀系数减小,成型制品的热收缩率减小,从而使整个收缩率得以降低而使制品的精度提高;当注射压力达到 392MPa(4000kgf/cm²)时,制品的成型收缩率则几乎降到零。

② 高压注塑可获得较大的流长比 能用于生产薄壁和结构形状复杂的精密制品,注塑一些超小型的精密注塑制品。精密注塑制品的成型长度可用下式计算:

$$L^{m+1} = \frac{K_m(m-1)H^{m+3}P_i^m}{2^{m+3}n^m(m+2)(m+3)} \quad (1.3)$$

式中 L ——制品的成型长度(m);

H ——制品的平均壁厚(m);

K_m ——成型物料熔融体的实际流动度;

m ——物料流变指数;

n ——非牛顿指数;

P_i ——注射压力。

值得注意的是,提高注射压力会导致注塑制品的内应力增加,在透明制品表面会出现应力条纹。

(2) 注射充模速度 精密注塑时采用较高的注射速度,可以成型形状复杂的薄壁制品,而且能提高制品的精度,减小制品的尺寸公差。但要注意过高的注射速度对一些制品表面质量可能带来的影响。

(3) 模具温度 模具温度对制品表面质量和尺寸精度有着重要的影响。不同类型的

塑料制品的最小壁厚不仅受冷却时间的影响,而且受模具模腔温度的控制。在冷却时间相同的情况下,模腔温度低的制品的最小壁厚大于模腔温度高的制品的最小壁厚。图 1-4 为模具模腔温度对 POM 注塑制品和 PA 注塑制品的最小壁厚的影响。

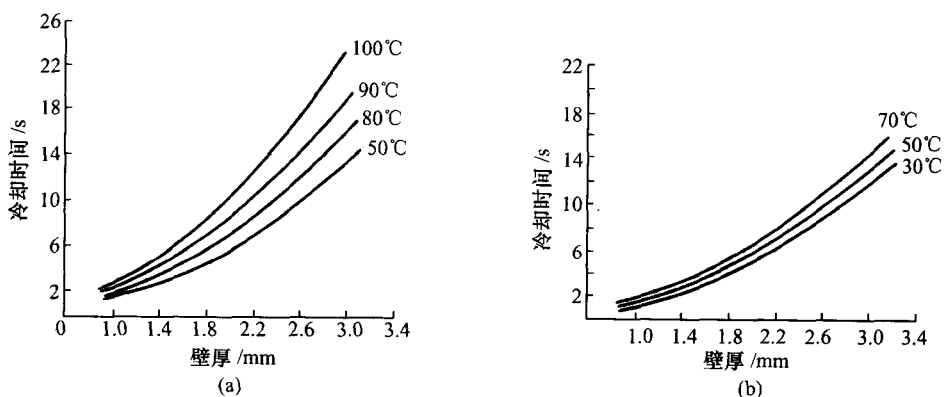


图 1-4 模腔温度对精密注塑制品壁厚的影响

(a) POM 冷却曲线; (b) PA 冷却曲线。

对于精密注塑,由于制品的尺寸精度要求较高,因此室温对注塑制品尺寸精度的影响也不可忽视,尤其是进行大批量连续注塑时,室温对制品尺寸精度的影响就更加明显。因此,在进行精密注塑操作时,应注意对操作环境温度的控制,使之维持恒定以减小对制品精度的影响。

1.3.5 精密注塑机要点

(1) 注塑系统的注射参数应能满足精密注塑要求,其注射压力要高,注射速度要快,以克服流动阻力并能注塑复杂形状的制品。所有注塑参数要有较高的精度和重复精度。

(2) 为了能够注塑各种类型的复杂制品,注塑系统应具有多级注射压力和注射速度,以使注塑机在一个注射行程中能够实现不同位置上有不同的注射速度,不同的保压阶段采用不同的压力,从而满足多级注射和保压的工艺要求。

(3) 预塑的精确计量和注射量的精确控制。图 1-5 为一种用于精密注塑的螺杆头部止逆环的典型结构。该结构可消除注射时的漏流从而有效提高注射量的控制精度。

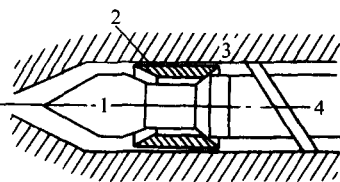


图 1-5 止逆环结构

1—螺杆头; 2—止逆环;
3—加热料筒; 4—螺杆。

(4) 合模系统要求有较高的锁模力,为了减小模具及合模系统对系统变形的影响,对合模系统的各个组成部件如拉杆、动定模板等的刚度、强度及精度的要求更高。

(5) 具体成型时要能对合模系统的合模力大小进行精确的调节和控制。太大的合模力和太小的合模力都将影响到注塑制品的精度。

(6) 注塑机所有动作灵敏、平稳、精确、重复精度高、动作切换迅速准确。

(7) 料筒、喷嘴、模具的温度控制精度要高,温度波动要小。