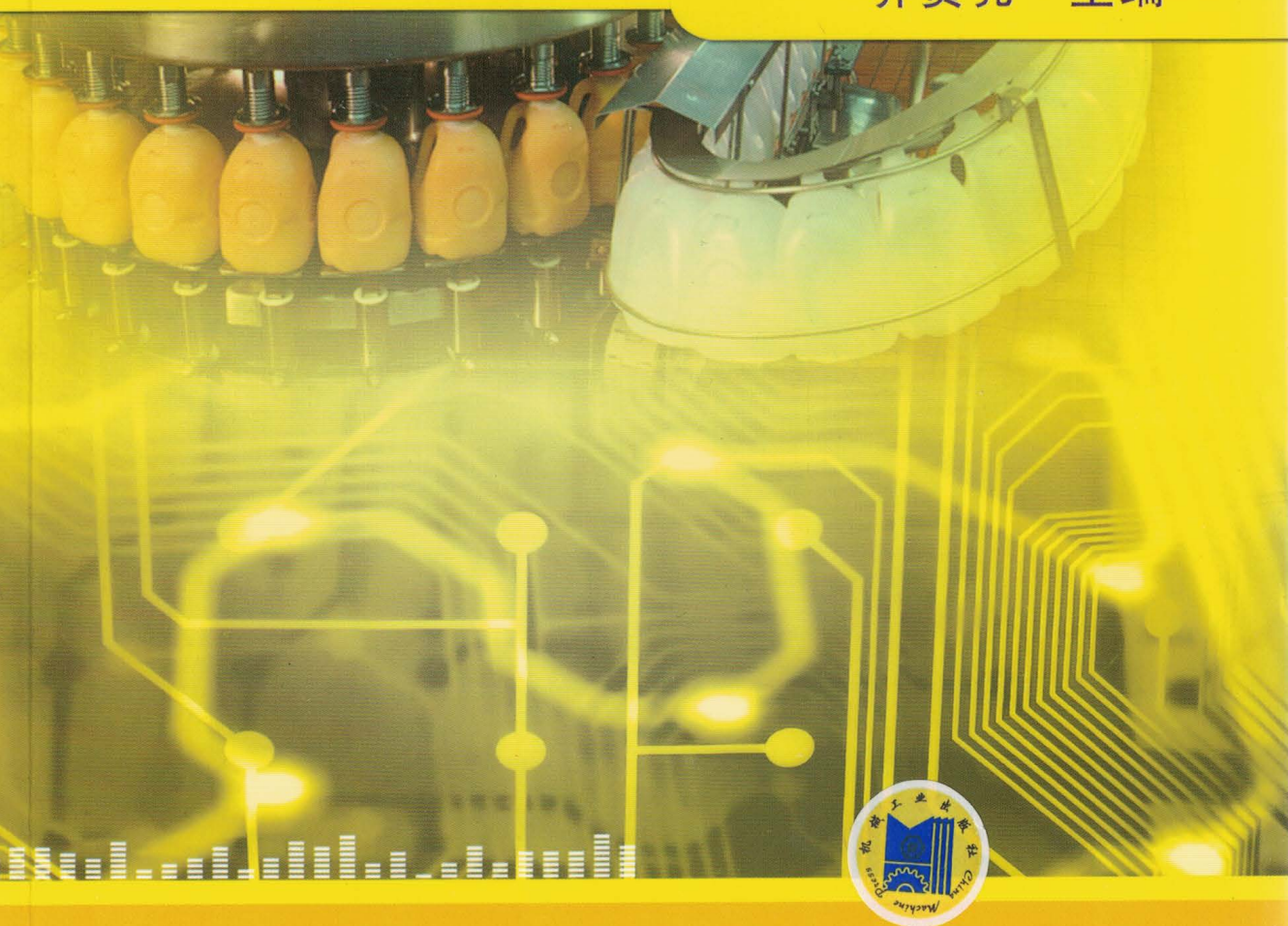


塑料注射成型 实用技术

齐贵亮 主编



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

塑料注射成型实用技术



机械工业出版社

前 言

注射成型也称注塑或注射模塑，是高分子材料成型加工中一种重要的方法。其基本原理是：固态物料先在注射机机筒中均匀塑化后，由螺杆或柱塞将其推挤到闭合的模具型腔内，型腔内的塑化物料通过冷却或反应固化而得到模塑制品。注射成型几乎适用于所有的热塑性塑料，也可以用于成型某些热固性塑料和橡胶，还扩展到了陶瓷加工和粉末冶金等领域。它的主要特点是能在较短的时间内一次成型出形状复杂、尺寸精度高和带有金属嵌件的制品，并且生产效率高，适应性强，易实现自动化，因而被广泛用于塑料制品的生产中。

为满足我国塑料工业迅速发展的需要，我们编写了《塑料注射成型实用技术》一书，对注射成型生产中所涉及的技术问题和工艺参数资料进行了较全面、系统的收集整理。全书分为七章，包括第1章注射机，第2章注射成型制品与模具设计，第3章注射成型工艺，第4章热塑性塑料的注射成型，第5章热固性塑料的注射成型，第6章其他材料的注射成型，第7章注射成型制品的质量分析与检验。前两章详细地介绍了注射机的类型、结构组成、技术参数、安装与调试、操作规程，注射制品的设计原则和程序，注射模具的类型、结构设计、材料选择和模具调试等内容；在第3章注射成型工艺中较为翔实地阐述了注射机的选择，注射前的准备，工艺过程，工艺条件与控制及注射制品的后处理技术和具体操作方法；在第4、5、6章热塑性塑料、热固性塑料和其他材料的注射成型中详细地论述了各种材料的工艺特性，制品与模具特点，成型设备，成型工艺以及注射成型中的常见问题、产生原因和解决方法；最后一章介绍了注射制品质量分析和检验的相关知识。全书内容具体、全面，语言简练、通俗易懂，数据资料实用性强，很多内容是注射成型工厂生产技术及科学管理的经验总结。

参加本书编写的还有张永爱、韦亚利、王强、王鲁飞、付广慧、孙健、李树梅、宋秀敏、杜厚波、范翠美、梁振河。

本书内容参阅了部分近年发表在国内外主要期刊的学术论文和技术资料，同时还参阅了本行业许多资深专家的专著，在此向文献的作者表示衷心感谢！

由于编者水平所限，不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

本书是一本有关注射成型生产的指导书,内容包括注射成型过程中所涉及的塑料材料、注射机、注射模具、注射成型过程与工艺控制、注射制品的质量分析与检验等方面。主要介绍了常用注射机的注射成型系统、合模系统和控制系统,注射机的安装、调试及安全生产;注射制品的设计;注射模的组成以及成型零件、浇注系统、合模导向机构、脱模机构、侧向分型抽芯机构、温度调节系统等的设计;注射成型工艺过程及工艺条件分析;热塑性塑料、热固性塑料、泡沫塑料、橡胶、液晶聚合物、金属和陶瓷粉末等材料的工艺特性、制品与模具特点、成型设备选择、成型工艺以及注射成型中的常见问题、产生原因和解决方法;注射成型制品的质量分析与检验等。本书内容全面,语言简练,图文并茂,通俗易懂,数据资料实用性强,很多内容是注射成型工厂生产技术及科学管理的经验总结。

本书可作为塑料研究、产品和模具设计、制品加工、销售和管理人员的参考用书,也可作为塑料成型加工技术工人和塑料专业师生的教材。

图书在版编目(CIP)数据

塑料注射成型实用技术/齐贵亮主编. —北京:机械工业出版社, 2012. 1

ISBN 978-7-111-36940-0

I. ①塑… II. ①齐… III. ①注塑—塑料成型 IV. ①TQ320.66

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第276945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:曲彩云 责任编辑:曲彩云 王彦青

版式设计:霍永明 责任校对:常天培

封面设计:赵颖喆 责任印制:李妍

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2012年4月第1版第1次印刷

169mm×239mm·22.75印张·468千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-36940-0

定价:49.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售一部:(010)68326294

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售二部:(010)88379649

读者购书热线(010)88379203

封面无防伪标均为盗版

目 录

前言

第 1 章 注射机	1
1.1 注射机的分类和规格表示	1
1.1.1 注射机的分类	1
1.1.2 注射机的规格表示	5
1.2 注射机的结构组成和功能	7
1.2.1 注射系统	7
1.2.2 合模系统	17
1.2.3 液压系统	21
1.2.4 控制系统	23
1.2.5 加热冷却系统	24
1.2.6 润滑系统	24
1.2.7 安全保护和监测系统	25
1.2.8 辅助系统	25
1.3 注射机的主要参数	26
1.3.1 注射系统的主要技术参数	26
1.3.2 合模系统的主要技术参数	29
1.3.3 注射机综合技术参数	32
1.4 注射机的选择	32
1.4.1 注射机的评估标准	32
1.4.2 选择注射机要考虑的因素	34
1.4.3 注射机选择步骤	35
1.5 注射机的安装与调试	37
1.5.1 注射机的安装	37
1.5.2 注射机的调试	37
1.6 注射机的操作与安全生产	39
1.6.1 注射机工作程序	39
1.6.2 注射机操作项目	39
1.6.3 注射工艺条件的控制	42
1.6.4 注射机的操作规程	44
1.6.5 生产中的安全与保护措施	46
第 2 章 注射成型制品与模具设计	47
2.1 注射制品设计	47
2.1.1 制品设计的基本原则	47

2.1.2	制品设计的一般程序·····	47
2.1.3	注射制品的工艺性设计·····	49
2.1.4	注射制品的形状和结构设计·····	50
2.2	注射模具设计·····	59
2.2.1	注射模具的分类·····	59
2.2.2	注射模具的结构组成·····	62
2.2.3	注射模具设计要点·····	63
2.2.4	注射模具设计步骤·····	64
2.2.5	成型零件设计·····	67
2.2.6	浇注系统设计·····	74
2.2.7	合模导向机构设计·····	83
2.2.8	脱模机构设计·····	86
2.2.9	侧向分型抽芯机构设计·····	91
2.2.10	温度调节系统设计·····	97
2.2.11	模具材料的选用·····	100
2.2.12	注射模具的安装调试·····	102
第3章	注射成型工艺·····	106
3.1	注射成型前的准备工作·····	106
3.1.1	原材料的预处理·····	106
3.1.2	螺杆的选择·····	109
3.1.3	模具的安装调试·····	109
3.1.4	嵌件的预热·····	109
3.1.5	机筒的清洗·····	110
3.1.6	脱模剂的选用·····	112
3.2	注射成型工艺参数的选择·····	113
3.2.1	温度的选择·····	113
3.2.2	压力的选择·····	118
3.2.3	时间（成型周期）的选择·····	122
3.2.4	其他参数的选择·····	123
3.3	注射成型过程与注射机动作程序·····	124
3.3.1	注射成型过程·····	124
3.3.2	注射机动作程序·····	127
3.4	制品的后处理·····	128
3.4.1	退火处理·····	128
3.4.2	调湿处理·····	129
第4章	热塑性塑料的注射成型·····	131
4.1	通用塑料的注射成型·····	131
4.1.1	聚乙烯的注射成型·····	131
4.1.2	聚丙烯的注射成型·····	136

4.1.3	聚氯乙烯的注射成型	140
4.1.4	聚苯乙烯的注射成型	148
4.1.5	ABS 的注射成型	152
4.1.6	聚甲基丙烯酸甲酯的注射成型	160
4.2	工程塑料的注射成型	165
4.2.1	聚酰胺的注射成型	165
4.2.2	聚碳酸酯的注射成型	178
4.2.3	聚甲醛的注射成型	188
4.2.4	聚对苯二甲酸丁二醇酯的注射成型	197
4.2.5	聚对苯二甲酸乙二醇酯的注射成型	203
4.2.6	聚苯醚和改性聚苯醚的注射成型	208
4.2.7	聚苯硫醚的注射成型	213
4.2.8	聚砜类塑料的注射成型	218
4.2.9	聚醚醚酮的注射成型	223
4.2.10	聚酰亚胺的注射成型	226
第5章 热固性塑料的注射成型		230
5.1	热固性塑料注射成型设备	230
5.1.1	热固性塑料注射机	230
5.1.2	热固性塑料注射成型模具	232
5.2	热固性注射料	233
5.2.1	热固性注射料的种类	233
5.2.2	热固性注射料的组成	233
5.2.3	热固性注射料的成型工艺特性	235
5.3	热固性塑料注射成型工艺	238
5.3.1	热固性塑料注射成型工艺流程	238
5.3.2	热固性塑料注射成型工艺条件分析	239
5.4	常用热固性塑料的注射成型	241
5.4.1	酚醛塑料的注射成型	241
5.4.2	环氧塑料的注射成型	244
5.4.3	氨基塑料的注射成型	246
5.4.4	不饱和聚酯塑料的注射成型	248
5.4.5	有机硅塑料的注射成型	252
5.5	热固性塑料无流道注射成型	253
5.5.1	热固性塑料无流道注射成型的分类	253
5.5.2	热固性塑料无流道注射成型的特点和注射料的选择	254
5.5.3	热固性塑料无流道注射成型设备	255
5.5.4	热固性塑料无流道注射成型控温精度	256
5.6	热固性塑料无流道注压成型	257
5.6.1	热固性塑料无流道注压成型设备	257

5.6.2 热固性注压料的选择	258
5.6.3 注射压缩成型工艺	258
5.7 反应注射成型、增强反应注射成型与结构反应注射成型	259
5.7.1 反应注射成型	259
5.7.2 增强反应注射成型与结构反应注射成型	261
5.8 液体注射成型	263
5.8.1 液体注射成型的特点	263
5.8.2 液体注射成型设备和模具	264
5.8.3 液体注射成型常用的材料和成型工艺	265
5.9 热固性塑料注射制品缺陷及产生原因	266
第6章 其他材料的注射成型	270
6.1 热塑性弹性体的注射成型	270
6.1.1 聚烯烃类弹性体的注射成型	270
6.1.2 苯乙烯类弹性体的注射成型	272
6.1.3 聚酯类弹性体的注射成型	277
6.1.4 聚氨酯类弹性体的注射成型	279
6.1.5 聚酰胺类弹性体的注射成型	281
6.1.6 聚氯乙烯类弹性体的注射成型	281
6.1.7 热塑性弹性体注射成型中的注意事项及影响因素分析	281
6.2 发泡塑料的注射成型	284
6.2.1 塑料的发泡方法	284
6.2.2 结构发泡注射成型	285
6.2.3 微孔塑料注射成型	290
6.3 液晶聚合物的注射成型	292
6.3.1 液晶聚合物的工艺特性	293
6.3.2 液晶聚合物注射成型设备和模具	294
6.3.3 液晶聚合物注射成型工艺	295
6.3.4 液晶聚合物注射成型注意事项	298
6.4 橡胶的注射成型	299
6.4.1 注射成型设备	299
6.4.2 对胶料的要求	301
6.4.3 注射过程与原理	301
6.4.4 注射成型工艺	303
6.4.5 橡胶注射成型中的质量问题及对策	308
6.5 粉末注射成型	311
6.5.1 制品设计	312
6.5.2 原材料的选择与配料	314
6.5.3 注射成型技术	320
6.5.4 脱脂技术	322

6.5.5 烧结技术	326
6.5.6 影响粉末注射成型制品质量的因素	327
第7章 注射成型制品的质量分析与检验	330
7.1 注射制品的质量分析	330
7.1.1 内应力	330
7.1.2 收缩性	333
7.1.3 熔接痕与熔接强度	335
7.1.4 冲击强度	336
7.1.5 透明性	337
7.1.6 注射成型制品的表面缺陷与处理	337
7.2 注射制品的质量检验	342
7.2.1 外观检验	342
7.2.2 尺寸检验	343
7.2.3 强度检验	344
7.2.4 老化试验	344
附录	346
附录1 部分国产注射机的技术参数	346
附录2 塑料原料名称中英文对照表	347
附录3 常用单位、名称及换算值	351
附录4 筛孔尺寸与对应的标准目数	352
参考文献	353

第 1 章 注 射 机

注射机又名注射成型机或注塑机。它是将热塑性塑料或热固性塑料利用塑料成型模具制成各种形状的塑料制品的主要成型设备。其工作原理与打针用的注射器相似，它是借助螺杆（或柱塞）的推力，将已塑化好的熔融状态（即粘流态）的塑料注入闭合好的模具型腔内，经固化定型后取出，制得塑料制品。

1.1 注射机的分类和规格表示

1.1.1 注射机的分类

注射机的类型和规格很多，其分类方法也没有统一的规定，通常的分类方法有以下几种。

1. 按注射机的加工能力分类

按加工能力大小给注射机分类是注射机分类中最常用的一种方法。注射机的加工能力大小，就是指注射机的锁模力和一次注射原料量的大小。根据加工能力大小，注射机可分为以下几种类型：

- (1) 超小型注射机 锁模力小于 160kN，一次理论注射熔体容积小于 16cm^3 。
- (2) 小型注射机 锁模力在 160 ~ 2000kN 之间，一次理论注射熔体容积在 $16 \sim 630\text{cm}^3$ 之间。
- (3) 中型注射机 锁模力在 2000 ~ 4000kN 之间，一次理论注射熔体容积在 $800 \sim 3150\text{cm}^3$ 之间。
- (4) 大型注射机 锁模力在 4000 ~ 12500kN 之间，一次理论注射熔体容积在 $4000 \sim 10000\text{cm}^3$ 之间。
- (5) 超大型注射机 锁模力大于 12500kN，一次理论注射熔体容积大于 16000cm^3 。

2. 按注射机的塑化和注射方式分类

(1) 柱塞式注射机 柱塞式注射机是用柱塞依次把落入机筒中的塑料推向机筒前端的塑化室内，塑料在塑化室内依靠机筒外围加热器提供的热量塑化成熔融状态，然后通过柱塞快速前移把熔融料注射到模具型腔内，冷却成型。图 1-1 为柱塞式注射机结构示意图。

(2) 螺杆式注射机 在螺杆式注射机中，塑料在机筒外加热和螺杆旋转时塑料被挤压、剪切产生的摩擦热共同作用下，软化、熔融，达到塑化的目的。然后再经过

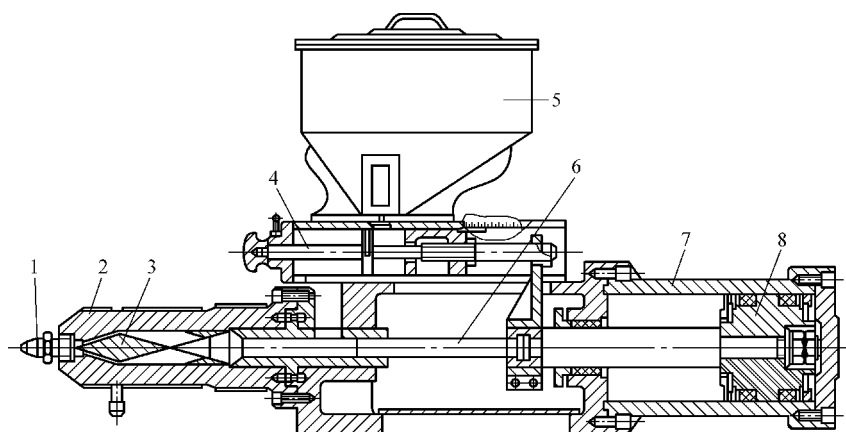


图 1-1 柱塞式注射机结构示意图

1—喷嘴 2—加热器 3—分流梭 4—计量装置 5—料斗 6—柱塞 7—注射液压缸 8—注射活塞

螺杆轴向往复运动，像柱塞一样把塑化好的物料注射到模具型腔内，冷却成型。往复螺杆式注射机结构示意图如图 1-2 所示。目前这种结构形式的注射机应用最多。

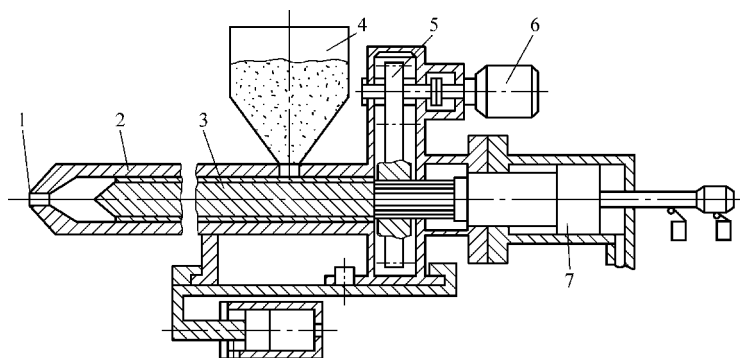


图 1-2 往复螺杆式注射机结构示意图

1—喷嘴 2—机筒 3—螺杆 4—料斗 5—齿轮箱 6—电动机 7—液压缸

3. 按注射机的外形特征分类

(1) 立式注射机 立式注射机的合模装置和注射装置处于同一垂直中心线上，且模具是沿垂直方向打开的，如图 1-3 所示。优点是占地面积小，容易安放嵌件，装卸模具较方便，自料斗落入的物料能均匀地进行塑化。缺点是制品顶出后不易自动落下，必须用手取下，不易实现自动操作。立式注射机多数是小型注射机，大、中型机不宜采用。主要用于生产注射量在 60cm^3 以下多嵌件的制品。

(2) 卧式注射机 卧式注射机的合模装置和注射装置处于同一水平中心线上，且模具是沿水平方向打开的，如图 1-4 所示。其特点是：机身低，易于操作和维修；机器重心低，安装较平稳；制品顶出后可利用重力作用自动落下，易于实现全自动操作。目前，市场上的注射机多采用此种形式。

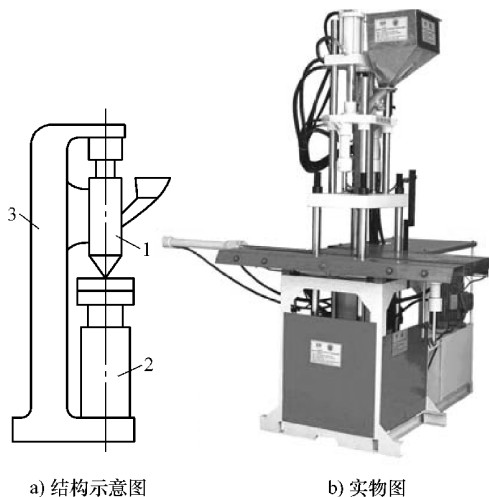
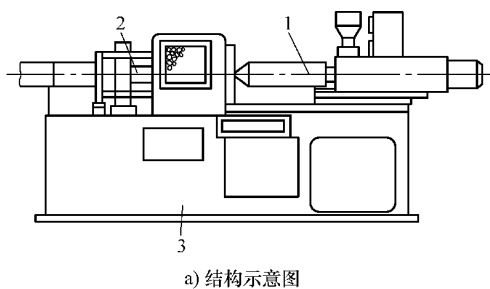


图 1-3 立式注射机

1—注射系统 2—合模系统 3—机身

(3) 角式注射机 角式注射机的注射装置与合模装置的轴线相互成垂直排列，注射时，熔体从模具分型面进入型腔，如图 1-5 所示。该类注射机特别适合于加工中心部分不允许留有浇口痕迹的平面制品。它占地面积比卧式注射机小，但放入模具内的嵌件容易倾斜落下。这种形式的注射机多是小型注射机，大、中型注射机一般不采用这种形式。

(4) 多模注射机 多模注射机是一种多工位操作的特殊注射机，其特点是合模装置采用了转盘式结构，模具围绕转轴转动，如图 1-6 所示。这种形式的注射机充分发挥了注射装置的塑化能力，可以缩短生产周期，提高机器的生产能力，因而特别适合于冷却定型时



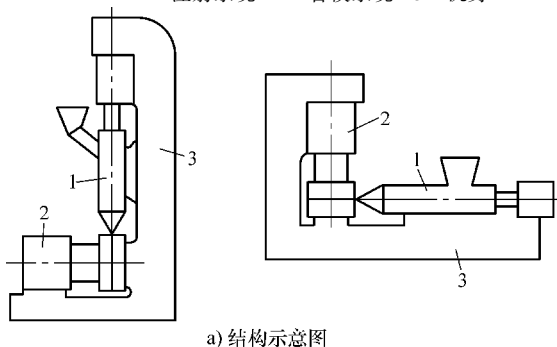
a) 结构示意图



b) 实物图

图 1-4 卧式注射机

1—注射系统 2—合模系统 3—机身



a) 结构示意图

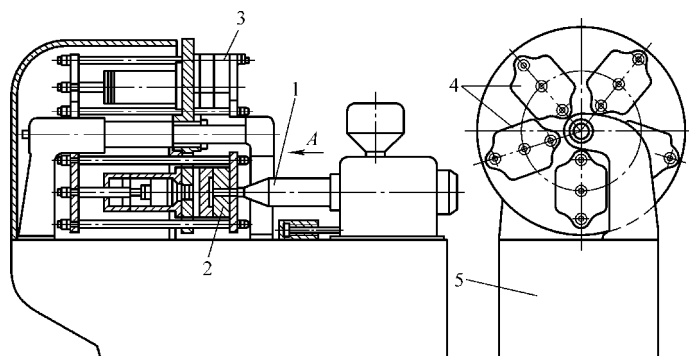


b) 实物图

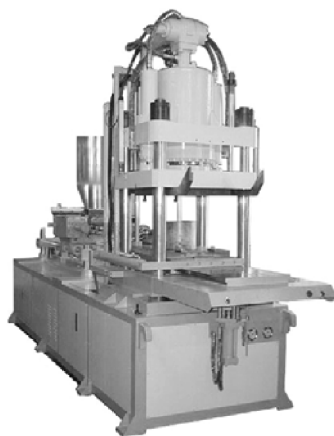
图 1-5 角式注射机

1—注射系统 2—合模系统 3—机身

间长，或因安放嵌件而需要较多辅助时间的大批量塑料制品的生产，但因合模系统庞大、复杂，合模装置的锁模力往往较小，故这种注射机多用于塑胶鞋底等制品的生产。



a) 结构示意图



b) 实物图

图 1-6 多模注射机

1—注射系统 2—合模系统 3—另一组合模系统 4—五组合模系统位置分配 5—机身

4. 按注射机的合模系统特征分类

按注射机合模系统的特征可分为机械式、液压式和液压-机械式三种类型。

5. 按注射机的操作方式分类

注射机按操作方式可分为自动操作、半自动操作、手动操作。

6. 按注射机的用途分类

随着塑料新产品的不断开发，注射新工艺不断涌现，注射机的适用范围也在不断扩大。目前主要有热塑性塑料通用型注射机、热固性塑料注射机、排气式注

射机、塑料鞋用注射机、多色注射机、精密注射机、高速注射机、发泡注射机等。

1.1.2 注射机的规格表示

对注射机的规格表示，虽然各个国家有所差异，但大部分都是采用注射量、锁模力及注射量与锁模力同时表示三种方法。

1. 注射量表示法

利用注射机的注射容量来表示注射机的规格，即以标准螺杆注射时的 80% 理论注射量表示。如常用卧式注射机型号：XS-ZY-30、XS-ZY-60 等，XS 表示塑料成型机械；Z 表示注射成型；Y 表示螺杆式；30、60 为最大注射量（ cm^3 或 g）。由于容量随设计注射机时所取的注射压力即螺杆直径而改变，同时，注射容量与加工物料的性能和状态有密切的关系，因此采用注射容量表示法并不能直接判断出两台注射机的规格大小。

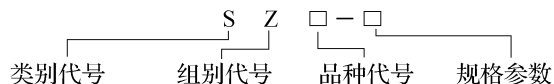
2. 锁模力表示法

利用注射机最大锁模力（kN）来表示注射机规格。该方法简单、直观，不会受其他取值的影响，可直接反映出注射机成型面积的大小，但不能反映注射量的大小。

3. 锁模力与注射量表示法

该方法为国际通用的表示法，即以理论注射量作分子，锁模力作分母（即注射容量/锁模力）表示设备的规格。具体表示为 SZ-□/□，S 表示塑料机械，Z 表示注射机，如 SZ-200/1000 表示塑料注射机（SZ），理论注射量为 200cm^3 ，锁模力为 1000kN。

我国注射机的规格是按国家标准 GB/T 12783—2000 编制的。注射机规格表示的第一项是类别代号，用 S 表示塑料机械；第二项是组别代号，用 Z 表示注射；第三项是品种代号，用英文字母表示；第四项是规格参数，用阿拉伯数字表示。第三项与第四项之间一般用短横线隔开，其表示方法为：



如理论注射容积为 10000cm^3 ，锁模力为 16000kN 的塑料注射成型机的型号为 SZ-16000；理论注射容积为 160cm^3 ，锁模力为 800kN 的塑料双色注射成型机的型号为 SZS-800。

注射机产品型号、规格表示见表 1-1，锁模力参数应符合表 1-2 的规定。

为了与国际命名取得一致，目前热塑性塑料注射机基本上都采用新式命名法。

1) 一般开首为厂家名称或商标的大写汉语拼音缩写（取第一个字母）。如海天 HT、甬江 YJ、双马（伯乐牌）BL、韩国的宇进 SELEX。

表 1-1 注射机产品型号和规格表示 (GB/T 12783—2000)

类别	组别	品 种		基本 代号	规 格 参 数	备 注
		产 品 名 称	代 号			
塑料 注射 成型 机 S (塑)	塑料 注射 成型 机 Z (注)	塑料注射成型机	不标	SZ	锁模 力/kN	卧式螺杆式预塑 为基本型不标注品 种代号
		立式塑料注射成型机	L (立)	SZL		
		角式塑料注射成型机	J (角)	SZJ		
		柱塞式注射成型机	Z (柱)	SZZ		
		塑料低发泡注射成型机	F (发)	SZF		
		塑料排气式注射成型机	P (排)	SZP		
		塑料反应式注射成型机	A (反)	SZA		
		热固性塑料注射成型机	G (固)	SZG		
		塑料鞋用注射成型机	E (鞋)	SZE	工位 数×注射 装置数	注射装置数为 1 不标注
		聚氨酯鞋用注射成型机	EJ (鞋聚)	SZEJ		
		全塑鞋用注射成型机	EQ (鞋全)	SZEQ		
		塑料雨鞋、靴注射成型机	EY (鞋雨)	SZEY		
		塑料鞋底注射成型机	ED (鞋底)	SZED		
		聚氨酯鞋底注射成型机	EDJ (鞋底聚)	SZEDJ		
		塑料双色注射成型机	S (双)	SZS	锁模 力/kN	卧式螺杆式预塑 为基本型不标注品 种代号
		塑料混色注射成型机	H (混)	SZH		

表 1-2 锁模力参数

系 列	锁模力参数值/kN											
第 1 系列	160	200	250	320	400	500	530	800	1000	1250	1600	
第 2 系列	180	220	280	360	450	560	(600)	710	900	1100	(1200)	1400
	(1500)		1800									
系列	锁模力参数值/kN											
第 1 系列	2000	2500	3200	4000	5000							
第 2 系列	(2100)	2200	(2400)	(2700)	2800	(3000)	(3500)	3600				
	(4200)	(4300)	4500	5600	(5700)							
系列	锁模力参数值/kN											
第 1 系列	6300	8000	10000	12500	15000	20000	25000	32000	40000	50000		
第 2 系列	(6500)	7100	(7500)	9000	11000	14000	18000	22000	28000	36000	45000	

注：1. 优先选用第 1 系列。
2. 带括号的尽量不采用。

2) 接着为系列代号字母。如宇进 SELEX 的 NE 系列为精密注射成型机、NS 系列是节能型精密注射机、NM 系列是超高速精密注射机、NT 系列是手机专用注射

成型机。

3) 再下来为具体规格参数,一般用锁模力表示。有的厂家用 t 锁模力表示,如海天 HTF250X1 型号中的 250,即锁模力为 250t;而有的则用 kN 来表示,如甬江 YJ2500C 型号中的 2500,即锁模力为 2500kN。

4) 规格后面为分系列或不同型号配置。如海天 HTF 系列已发展到 HTFX1、HTFX2、HTF3、HTF5 四个系列;SELEX 的手机专用注射机就有 NT-I 型和 NT-II 型。

5) 一般每个厂家同一锁模力规格的注射机都配有 2~4 种螺杆(直径不同),多用 A、B、C、D 字母来区分,也有少量用罗马数字 I、II、III、IV 来区分。

1.2 注射机的结构组成和功能

无论何种注射机,其总体结构通常由注射系统、合模系统、液压传动系统、电气控制系统四部分组成,如图 1-7 所示。其他还包括加热与冷却系统、润滑系统、安全保护和监测系统。

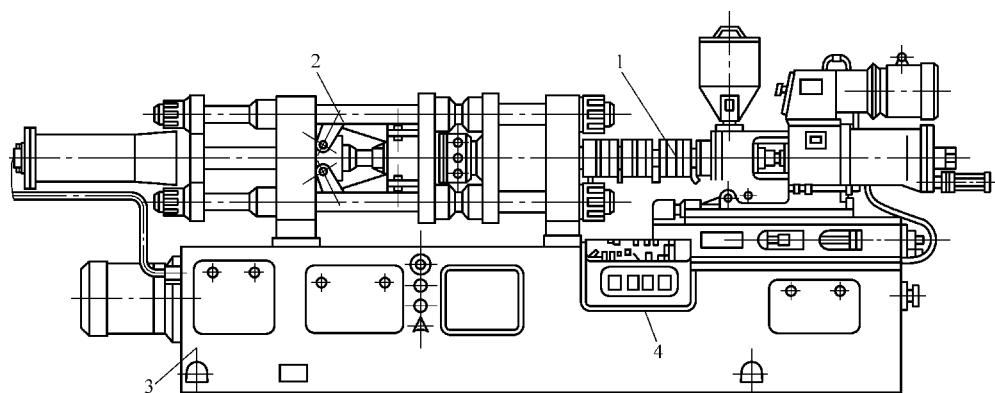


图 1-7 往复螺杆式注射机的组成

1—注射系统 2—合模系统 3—液压传动系统 4—电气控制系统

1.2.1 注射系统

注射系统的主要作用是将各种形态的塑料均匀地熔融塑化,并在很高的压力和较快的速度下通过螺杆或柱塞的推动将塑化好的塑料注射入模具型腔。当熔体充满型腔后,仍需保持一定的压力和作用时间,使其在合适的压力作用下冷却定型。因此注射系统应具有塑化良好、计量精确的性能,并且在注射时能够对熔体提供足够的压力和速度。

注射系统是注射机最主要的组成部分之一,主要有活塞式和往复螺杆式两种形

式。现在活塞式的注射机已很少见，这里不作介绍。往复螺杆式注射机的注射系统主要由加料装置、塑化装置、螺杆驱动装置、注射座及其移动液压缸等组成。

1. 加料装置

即加料斗，是储存塑料原料的部件，有的加料斗还设有加热和干燥装置。加料斗的形状一般是下部为圆锥形而上部为圆筒形。其容量视注射机大小而定，一般要求能容纳 1~2h 的用料量。圆锥形的锥面斜度对于不同粒度、不同颗粒形状以及颗粒之间摩擦因数和粘接系数不同的塑料都有不同的最佳值，否则不是浪费了加料斗的储料量，就是出现加料不畅或根本不下料的“架桥”或“漏斗成管”现象。引起“架桥”现象的原因是塑料颗粒之间在圆锥小口处形成压实的固体，阻止原料进入机筒，对于颗粒较大以及形状不规则的塑料颗粒比较容易发生这种现象。“漏斗成管”是因为往下流的颗粒不足以拉动其相邻的颗粒一起流动，这种现象往往在塑料粒度较小时发生。一般的解决方法是在加料斗上安装振动装置或减小圆锥斜度。如果机筒上的热量传递到加料斗，使加料斗温度过高，塑料颗粒表面软化或粘接成块，更容易形成“架桥”或阻塞。

2. 塑化装置

塑化装置由螺杆、机筒、喷嘴及加热冷却元件组成，在螺杆头部还可设置防止熔体倒流的止逆环或各种剪切混炼元件。

(1) 螺杆 螺杆是注射机的重要部件。它的作用是与机筒、喷嘴构成塑化部件完成对塑料的输送、压实、均匀塑化和定量注射，如图 1-8 所示。

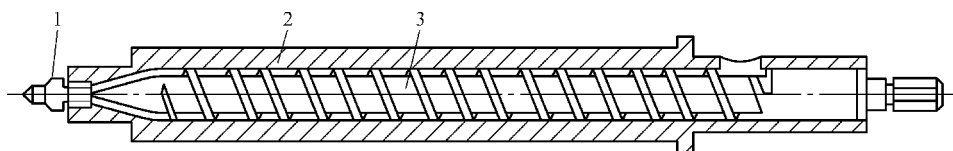


图 1-8 螺杆式塑化部件

1—喷嘴 2—机筒 3—螺杆

1) 螺杆分类和基本结构。注射螺杆有多种结构形式，按其对于塑料的适应性，可分为通用螺杆和特殊螺杆，特殊螺杆有渐变型螺杆、突变型螺杆两大类，如图 1-9 所示。

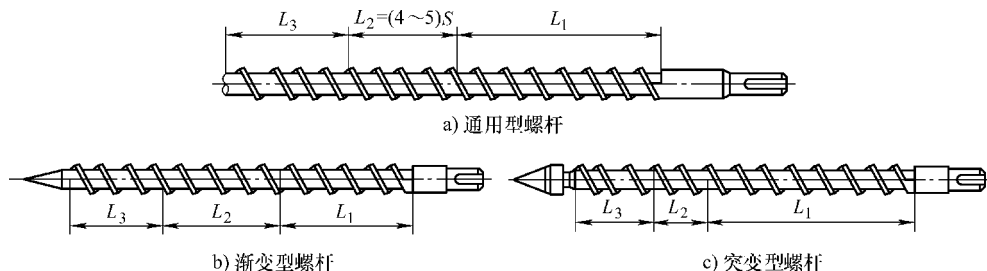


图 1-9 注射螺杆形式

① 通用型螺杆（图 1-9a）。通用型螺杆又称三段式螺杆，是螺杆的基本形式。根据塑料在螺杆螺槽中的不同形态，把螺杆分为三段，即加料段（也叫输送段或进料段）、压缩段（也叫塑化段或熔融段）和均化段（也称计量段）。其特点是压缩段的长度介于渐变型和突变型螺杆之间，约 4~5 个螺距（ S ）。通用型螺杆可加工大部分具有中、低粘度的塑料，但其塑化效率低，单耗大，使用性能不如专用螺杆。

② 渐变型螺杆（图 1-9b）。其特征是压缩段较长，塑化时能量转换较缓和，主要用于加工具有较宽软化温度范围的高粘度非结晶型塑料，如 PVC 类。

③ 突变型螺杆（图 1-9c）。其特征是压缩段较短，塑化时能量转换较剧烈，主要用于加工低粘度、熔点温度范围较窄的结晶型塑料，如聚酰胺、聚烯烃类。实践证明，突变型螺杆的使用效果并非十分理想，采用不多。

在螺杆旋转时，塑料对于机筒内壁、螺杆螺槽底面、螺棱推进面以及塑料与塑料之间都会产生摩擦及相互运动。塑料的向前推进就是这种运动组合的结果，而摩擦产生的热量也被吸收用来提高塑料温度及熔化塑料。螺杆的结构将直接影响到这些作用的程度。因此为了提高塑化质量，出现了一些新型螺杆，如分离型螺杆，屏障型螺杆或分流型螺杆。

2) 螺杆的几何形状和参数。如图 1-10 所示。

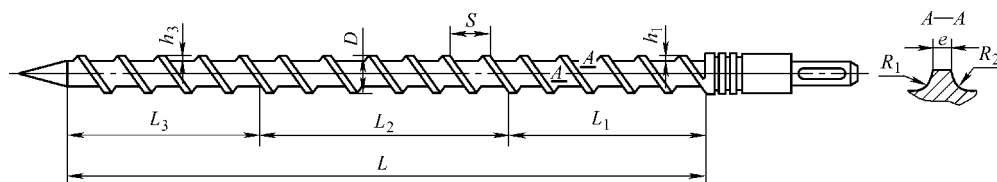


图 1-10 通用型螺杆的几何形状及各部位尺寸代号

L —螺纹部分长度 L_1 —加料段长度 L_2 —压缩段长度 L_3 —均化段长度 S —螺距 D —螺杆直径
 h_1 —加料段螺槽深 h_3 —均化段螺槽深 e —螺棱宽 R_1 、 R_2 —螺纹根部圆角半径

① 螺杆直径（ D ）。螺杆直径大小直接影响塑化能力的大小，也就直接影响到理论注射量的大小。一次最大注射量是根据螺杆直径与最大行程决定的。直径与行程之间有一定的比例关系，行程过长会使螺杆的有效长度缩短，影响塑化均匀性。行程过短也不好，为保持一定的注射量就得增大螺杆的直径，也要相应地增大注射液压缸的直径。一般螺杆的行程与直径之比为 3~5。注射量小或长径比小的螺杆其比值较小，即螺杆直径较大，以增加强度和刚度。

② 螺杆的长径比（ L/D ）。 L 是螺杆螺纹部分的长度。螺杆长径比越大，说明螺纹部分的长度越长，直接影响到物料在螺槽中的受热状况，决定物料的熔化效果和熔体质量。注射机螺杆的长径比（ L/D ）一般比挤出机螺杆的小，这是因为注射机螺杆仅作预塑之用，塑化时出料的稳定性对制品质量的影响很小，而且喷嘴对物

料还起到塑化作用，故长径比没有必要像挤出机那样大，一般在 18 ~ 22mm 之间，长的也很少超过 24（排气等特殊螺杆例外），就能满足使用要求。

③ 加料段长度（ L_1 ）。为提高输送能力，加料段应保证足够的长度，一般 $L_1/D = 9 \sim 10$ 。

④ 压缩段长度（ L_2 ）。在压缩段，物料完成从玻璃态经粘弹态向粘流态的转变，即从固定床向熔体床的转变， L_2 的大小会影响该转变过程，太小来不及转化，固体物料堵塞在 L_2 段的末端，形成很高的压力和扭矩；太长也会增加螺杆的扭矩和能耗，一般 $L_2/D = 6 \sim 8$ 。

⑤ 均化段长度（ L_3 ）。熔体在均化段得到进一步的均化，温度均匀，粘度均匀，组分均匀，相对分子质量分布均匀。 L_3 段有稳定压力的作用，使物料以均匀的流量从螺杆头部挤出，所以又称为计量段，一般 $L_3/D = 4 \sim 5$ 。

表 1-3 列出了螺杆各段长度值范围，可供选择参考。

表 1-3 螺杆的各段长度

螺 杆 类 型	加料段/mm	压缩段/mm	均化段/mm
渐变型螺杆	30 ~ 50	50	20 ~ 35
突变型螺杆	65 ~ 70	(3 ~ 4) D	20 ~ 35
通用型螺杆	45 ~ 50	20 ~ 30	20 ~ 30

⑥ 螺槽深度（ h ）和螺杆压缩比（ ε ）。均化段的螺槽深度是螺杆性能的重要参数之一。在其他条件不变的情况下，螺杆的塑化能力正比于螺槽深度。注射螺杆在预塑时的熔体压力大约在 3.5 ~ 10MPa 之间，一般要比挤出螺杆低。因此，适当加深注射螺杆的螺槽深度（ h ），有利于提高塑化能力； h 过大，会降低塑化效果，同时回流作用也增加；反之，螺槽浅， h 小，能提高熔体的塑化效果，有利于熔体的均化；但过小，剪切热大，螺杆消耗的功率也大。所以合适的 h 应由压缩比（ ε ）确定，即

$$\varepsilon = \frac{h_1}{h_3}$$

其中 h_1 、 h_3 分别为加料段和均化段螺槽深度。

压缩比大，会增强剪切效果，但会减弱塑化能力，相对于挤出螺杆，压缩比应取小些，有利于提高塑化能力并增强对物料的适应性。对于通用型螺杆， ε 可取 2.3 ~ 2.6。

⑦ 螺距（ S ）、螺棱宽（ e ）、径向间隙。注射螺杆一般具有恒定的螺距，且螺距与螺杆直径相等，这时螺旋角等于 17.6°。

螺杆棱顶的宽度一般为直径的 10%。

螺杆与机筒的间隙是一个重要参量。间隙过大，塑化能力下降，注射时回流增加；间隙过小，会增加机械制造的困难和螺杆功率的消耗。根据实际情况，径向间

隙一般为 $(0.002 \sim 0.005) D$ 。螺杆与机筒较合理的装配间隙值见表 1-4。

表 1-4 螺杆与机筒的装配间隙

螺杆直径/mm	30 ~ 50	55 ~ 80	100 ~ 115	130 ~ 170	200 ~ 250	280 ~ 350
最大径向间隙/mm	0.30	0.40	0.45	0.55	0.65	0.80
最小径向间隙/mm	0.18	0.25	0.30	0.35	0.40	0.50

3) 螺杆头部形状。螺杆的头部形状一般多采用尖锥形, 如图 1-11 所示。尖锥形角度在 $15^\circ \sim 30^\circ$ 之间, 主要是为了减少熔体的注射阻力, 使螺杆前端的滞留料减少, 对于熔体粘度高的热敏性塑料, 锥形结构更为有利。图 1-11a 所示结构, 主要用于 PVC 塑料的塑化注射; 图 1-11b 所示结构

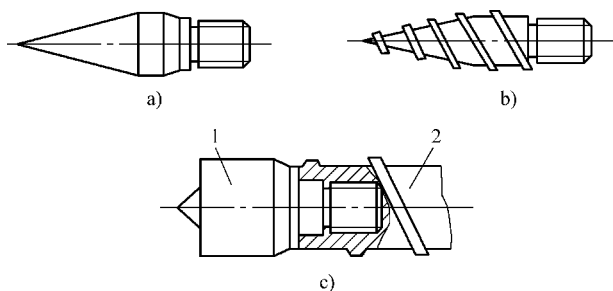


图 1-11 常用的几种螺杆头部锥形结构

1—螺杆头部 2—螺杆

是锥形部位带有螺纹, 对原料的清洗净化效果会更好些; 图 1-11c 所示结构是螺杆头部为山字形, 适合注射成型透明度要求较高的制品。

在注射成型中、低熔体粘度的塑料时, 螺杆头部还装有单向阀, 其作用是为了减少或避免注射过程中熔体的回流, 从而达到节省能源, 提高工作效率和避免残余熔体分解的目的。图 1-12 是注射机螺杆常用的单向阀结构。

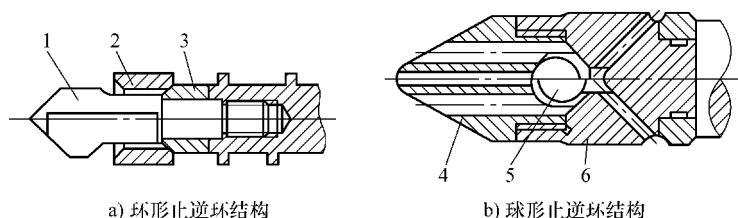


图 1-12 单向阀结构

1—锥形环体 2—止逆环 3—止逆环座 4—锥形头体 5—钢球 6—钢球座

4) 螺杆的选用。不同的塑料, 因为其熔融的速度, 熔融时吸收的热量, 熔体粘度, 吸水率, 热稳定性等特性的差异, 对于注射机塑化螺杆的形状要求有很大区别。即使同一种塑料, 由于制品不同, 塑料所添加的阻燃剂、润滑剂、玻璃纤维、无机矿物质等改性剂及填充物不同, 或者混色的要求、熔融均化的要求不同, 未熔时的颗粒形状不同, 都对螺杆有不同的要求。对于一般未加阻燃剂的塑料, 使用通用螺杆就可以加工, 只需要根据不同熔体粘度选用不同直径的螺杆 (大、中、小直

径)即可。对于性能较特殊的塑料(PA、PVC、CA、CP,热固性塑料等)、特殊制品(瓶坯、光学透镜、有色太阳镜片、PP-R管接头、液晶显示发光板等)或特殊颗粒形状(粉状、片状)的塑料,必须使用专用螺杆。以下是各种专用螺杆可供选择。

PC专用螺杆:针对PC等高粘度塑料,螺杆剪切发热少,耐酸性腐蚀,中、小直径。成型PC、PP-R、阻燃ABS等效果好,也可成型一般塑料及PMMA普通制品,但混色效果较差。如果塑料中加色粉,需采用加强混色型螺杆。

PA专用螺杆:针对PA粘度低、着色难、熔融速度快、自润滑性好等特点,螺杆混色效果好,进料量稳定、排气效果好。中间直径。成型PA、PP、LCP等结晶类低粘度塑料效果好,也可成型一般塑料。对于PC、PMMA、阻燃ABS等高粘度及热稳定性差的塑料不适用(中段温度过高,分解)。

PMMA专用螺杆:针对PMMA透明产品要求塑化效果好、分解率低等特性,螺杆塑化效果好、剪切发热少、混色好。中间直径。成型PMMA、PP-R、PC、ABS等加色粉时效果好,如果塑料中加有阻燃剂,螺杆需镀铬。

UPVC专用螺杆:针对UPVC粘度高、易分解、腐蚀性强以及PVC管接头要求塑化好等特点,螺杆塑化效果好、剪切发热少,耐酸性腐蚀。因为没有过胶圈,不能用于低粘度塑料和注射速度、压力分级较精确的制品。另外,由于需散热降温,生产UPVC产品时机筒要采用强制风冷措施与螺杆配合使用。

PET专用螺杆:针对PET粘度低、比热容大、易粘料以及PET瓶坯要求塑化快、塑化均匀的特性,螺杆塑化效果好、稳定性高、不粘料、熔胶速度快、所做瓶坯吹瓶时成品率高。大直径。也可成型一般塑料。

PBT专用螺杆:针对PBT容易分解,对压力敏感以及需添加玻璃纤维的特性,螺杆产生压力稳定,并使用双合金提高耐磨性。

酸性螺杆组件:针对CP、CA等酸性塑料腐蚀性强的特性,螺杆、机筒以及其他塑化零件在结构及表面处理上都做了特殊设计,螺杆组件耐蚀性好。

双合金螺杆:针对杂质含量较多的再生料、玻璃纤维增强塑料及无机矿物填料(钙粉、碳粉、滑石粉等)含量较多的塑料,螺杆耐磨性好。

(2) 机筒 机筒是用于塑料加热和加压的容器,其结构就是一根中间开了下料口的圆管,内装螺杆,外装加热圈,承受复合应力和热应力的作用。注射机机筒大多用整体结构,如图1-13所示。在塑料的塑化过程中,其前进和混合的动力都是来源于螺杆和机筒的相对旋转。机筒应满足

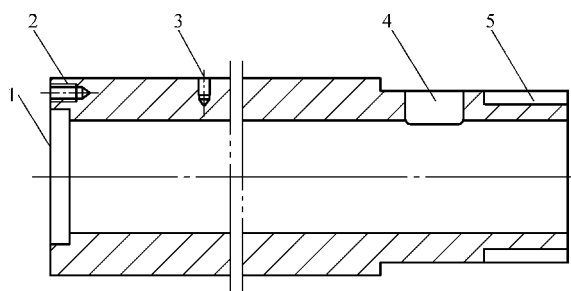


图 1-13 机筒结构

1—定位孔 2、3—螺孔 4—加料口 5—尾螺纹

塑料的加入与输送、加热与冷却、强度等要求。

1) 加料口处的截面。注射机大多数使用的是自重加料, 加料口结构形式直接影响进料效果和塑化部件的吃料能力, 因此加料口形状要有利于增强输送能力。目前在螺杆式塑化部件上普遍使用的加料口有对称型和非对称型两种形式 (如图 1-14 所示)。非对称型加料口由于物料与螺杆的接触角大, 接触面积大, 有利于提高进料效率, 从输送效果看, 优于对称加料口。根据固体输送理论, 为提高加料段的输送效率, 在注射机机筒的加料段也有开设沟槽的结构。

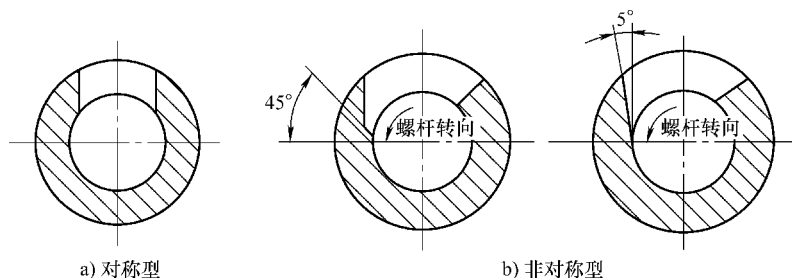


图 1-14 加料口截面形状

2) 机筒的加热。机筒外部配有加热装置, 机筒的加热功率除了要满足塑料塑化时所需的热量外, 还要保证有足够快的升温速度。常用的是电阻加热器 (带状加热器、铸铝加热器、陶瓷加热器)。小型机器加热升温时间不超过 0.5h, 大、中型机器约为 1h 左右。否则, 过长的升温时间, 将会影响到机器的生产效率。

为使机筒达到符合工艺要求的温度分布, 需要对机筒的加热进行分段控制。一般小型机分 3 段, 大型机分 5 段, 每段长约 $(3 \sim 5) D$ (D 为螺杆直径), 温控精度为 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$, 对热敏性塑料应不大于 2°C 。在压缩段应配置较大的加热功率。

注射机机筒内产生的剪切热比挤出机要小, 一般机筒不专设冷却系统, 靠自然冷却就可以了, 但是为了保证良好的加料和输送条件, 以及防止机筒热量传递到传动部分和物料堵塞料口, 在加料口处设有冷却水套。

3) 机筒的容积。柱塞式注射机的机筒容积约为最大注射量的 4~8 倍。螺杆式注射机因为有螺杆在机筒内对塑料进行搅拌, 料层比较薄, 传热效率高, 塑化均匀, 一般机筒容积只需要最大注射量的 2~3 倍。

4) 机筒的质量要求。机筒不仅受到高温、高压的作用, 同时还受到较严重的腐蚀和磨损 (特别是加工玻璃纤维增强塑料), 因此要求机筒在高温下耐磨、耐腐蚀、传热性好, 并且各部分的机械配合要精密。大多采用 45 钢表面镀铬, 合金钢 38CrMoAl, 内表面经氮化处理或用合金钢衬套以及内孔浇注合金的双金属机筒, 其表面硬度不应低于 65HRC。

(3) 喷嘴 喷嘴是连接机筒和模具的过渡部分。塑化后的熔融物料在螺杆或柱塞的压力作用下, 以相当高的剪切速率流经喷嘴而进入模具型腔。当熔体高速流

经狭小口径的喷嘴时，受到比较大的剪切作用，有部分压力经阻力损失而转变成热能，使熔体温度得到提高。同时，还有部分压力能转变成速度能使熔体高速射入模具型腔。在保压阶段，还需有少量的熔体经喷嘴向模内补缩。因此喷嘴的结构形式、口径大小以及制造精度会影响到熔体的压力和温度损失，射程的远近，补缩作用的优劣以及是否产生流延现象等。

喷嘴的类型很多，按结构可分为直通式喷嘴（开式喷嘴）、锁闭式喷嘴和特殊用途喷嘴三种类型。

1) 直通式喷嘴。直通式喷嘴是一种应用最多的结构形式，其结构简单，制造方便，压力损失小，补缩作用大，不易产生滞料分解现象，特别适用于加工高粘度的塑料，如 PC、硬质 PVC、PMMA、聚砜、聚苯醚等。因这种喷嘴易产生流延现象，故不适用于低粘度塑料的加工。几种常用的直通式喷嘴结构如图 1-15 所示。

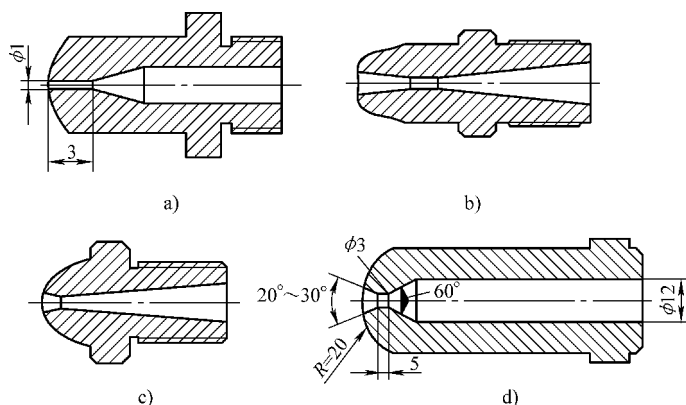


图 1-15 直通式喷嘴结构

图 1-15a 中喷嘴结构，熔体空腔比较大，喷嘴口直径为 1mm 左右，长约 3 ~ 4mm，适于原料熔体粘度比较高，注射成型薄壁制品。此种结构的喷嘴不易产生冷料，注射后也很少有熔体流延现象。

图 1-15b 中喷嘴结构与图 1-15a 相比，锥形部位和孔径尺寸都略大些，喷嘴口直径约是其长度的 1/10。此种喷嘴结构适合注射熔体粘度较高的大型、厚壁制品。由于喷嘴口径尺寸较大，注射后容易出现熔体流延现象。

图 1-15c 中喷嘴结构，喷嘴口径大而且短，适合于加工厚壁制品和热稳定性差的高粘度物料（如 PVC），但注射后熔体流延现象较严重。

图 1-15d 中喷嘴结构是一种应用较多的通用型喷嘴。

2) 锁闭式喷嘴。针对直通式喷嘴的流延现象，设计了锁闭式喷嘴，主要有弹簧针阀自锁式和液控锁闭式两种。图 1-16 为弹簧针阀自锁式喷嘴，它是依靠弹簧力通过挡圈和导杆压合顶针（即阀芯）实现喷嘴锁闭的。注射前喷嘴内压较低，针形阀在弹簧力的作用下关闭喷嘴。注射时内压升高，当阀的左右两端总压力差足

以克服弹簧力时，喷嘴便自动开启，使熔体注射到型腔中；当注射压力下降到一定值时，针形阀立即自动关闭，以免流延。

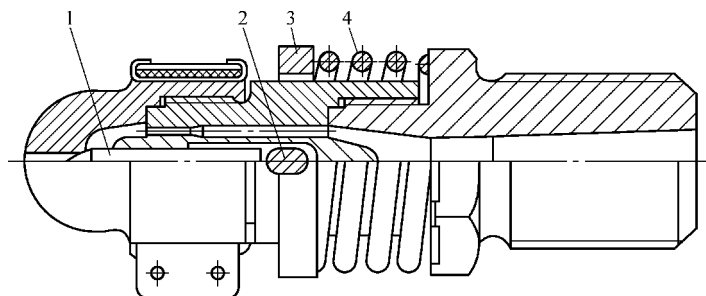


图 1-16 弹簧针阀自锁式喷嘴

1—顶针 2—导杆 3—挡圈 4—弹簧

液控锁闭式喷嘴如图 1-17 所示。液压系统通过控制操纵杆来控制喷嘴的开闭，这种喷嘴使用方便，锁闭可靠，压力损失小，计量准确。

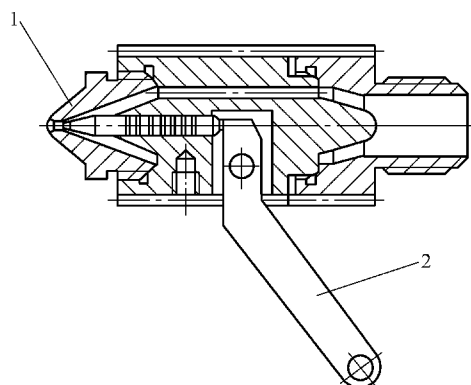


图 1-17 液控锁闭式喷嘴

1—喷嘴 2—操纵杆

3) 特殊用途喷嘴。除了上述常用的喷嘴以外，还有适合特殊场合下使用的喷嘴，其结构形式如图 1-18 ~ 图 1-21 所示。

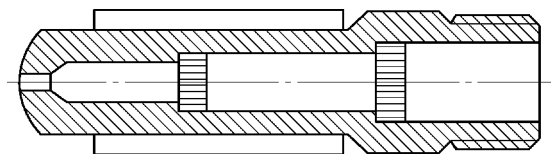


图 1-18 混色喷嘴

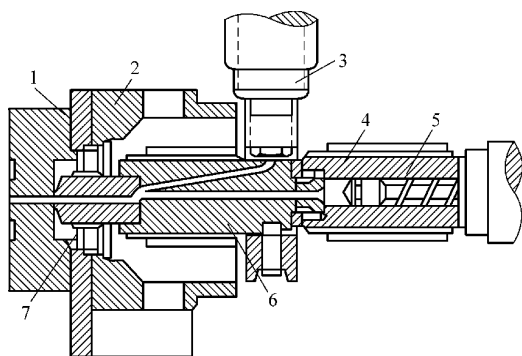


图 1-19 双流道喷嘴

1—模具 2—模板 3、4—机筒
5—螺杆 6—分配喷嘴 7—喷嘴头

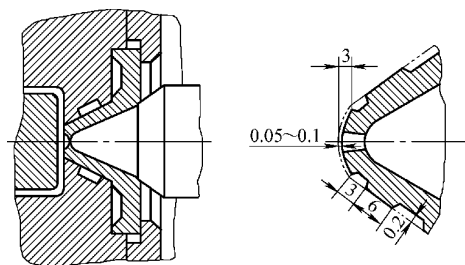


图 1-20 热流道喷嘴

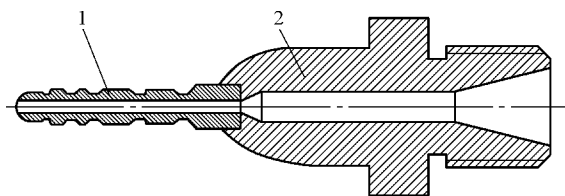


图 1-21 保温式喷嘴

1—保温头 2—喷嘴体

图 1-18 所示为混色喷嘴，喷嘴的熔体流道较长，而且在流道中还设置了双过滤板，以增加剪切混合作用。主要用于加工热稳定性好的混色物料。

图 1-19 所示为双流道喷嘴，可用在夹芯发泡注射机上，注射两种材料的复合制品。

图 1-20 所示为热流道喷嘴，由于喷嘴体短，喷嘴直接与模具型腔接触，压力损失小，主要用来加工热稳定性好、熔融温度范围宽的物料。

图 1-21 所示为保温式喷嘴，它是热流道喷嘴的另一种形式，保温头伸入热流道模具的主浇套中形成保温室，利用模具内熔体自身的温度进行保温，防止喷嘴流道内熔体过早冷凝，适用于某些高粘度物料的加工。

喷嘴形式主要由物料性能、制品特点和用途决定。对于粘度高、热稳定性差的物料，适宜用流道阻力小、剪切作用小、口径较大的直通式喷嘴；对于低粘度结晶型物料，宜用带有加热装置的锁闭式喷嘴；对于厚壁制品，最好采用口径较大、补缩性能好的喷嘴。

喷嘴口径关系到熔体的压力损失、剪切发热以及补缩作用等。对于高粘度塑料，喷嘴口径约为螺杆直径的 $1/10 \sim 1/15$ ；而中、低粘度的塑料为 $1/15 \sim 1/20$ 。喷嘴口径一定要比主浇口直径略小（约小 $0.5 \sim 1.0\text{mm}$ ），且两孔应在同一中心线

上（如图 1-22 所示），避免产生死角和防止漏料现象，同时也便于将两次注射之间积存在喷孔处的冷料连同主流道赘物一起拉出。

为使喷嘴头与模具主流道保持良好的接触，喷嘴的球面半径要小于主流道衬套的球面半径。喷嘴头与模具进料衬套口之间的装配关系如图 1-22 所示。

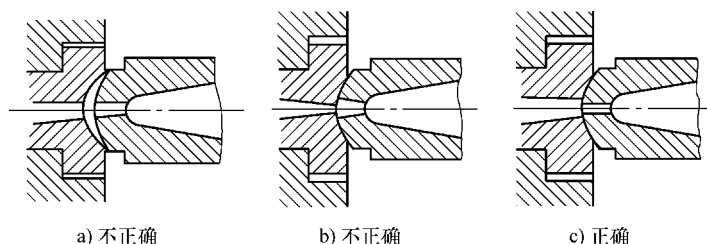


图 1-22 喷嘴头与模具进料衬套口接触位置示意

3. 螺杆驱动装置

螺杆驱动装置主要由减速装置、主轴套和螺杆旋转驱动电动机或液压电动机所组成，是给螺杆在加料预塑时提供所需的扭矩和可调转速的工作部件。其特点是：螺杆加料预塑是间歇进行的，并带有负载的频繁启闭；螺杆传动要求平稳可靠、低噪声，并具有过载保护功能；驱动装置结构要求简单、紧凑；应有背压调整装置。

4. 注射座及其移动液压缸

(1) 注射座 注射座是一个可以在机身上移动的基座，塑化装置、注射装置以及计量装置和料斗都固定在注射座上。注射座在注射座整体移动液压缸作用下，沿注射座上的导轨（或导柱）往复运动，使喷嘴与模具接触或脱离，以满足注射工艺要求。同时，为了便于拆换螺杆和清洗机筒，在底座中部设有回转机构，使注射座能绕其转轴旋转一个角度。

(2) 注射液压缸 注射液压缸有左右两个，但也有采用单液压缸注射的，其作用是提供推动螺杆的动力，进而将机筒内已塑化好的熔体快速推入模具型腔。

(3) 注射座移动液压缸 注射座移动液压缸通常采用通用型液压缸，安装在注射座与前模板之间，带动整个注射座上的所有部件前进或后退。

1.2.2 合模系统

合模系统的作用是保证模具闭合、开启和顶出制品。同时在模具闭合后供给模具足够的锁模力，以抵抗熔融塑料进入模具型腔产生的压力，防止发生模具开缝影响制品质量的不良现象。

合模系统主要由合模装置、调模装置、顶出装置、前后固定模板、移动模板、合模液压缸和安全保护机构组成。

1. 合模装置

按照提供锁模力的方式，合模装置可分为机械式、液压式、液压-机械式和电

动-机械式。机械式合模装置由于工作时噪声大，惯性冲击大，零部件易磨损，目前已很少采用。

(1) 液压式合模装置 液压式合模装置是依靠液体压力实现模具的启闭和锁紧作用的。目前常用的液压式合模装置有单缸直压式、增压式和充液式，如图 1-23 ~ 图 1-25 所示。

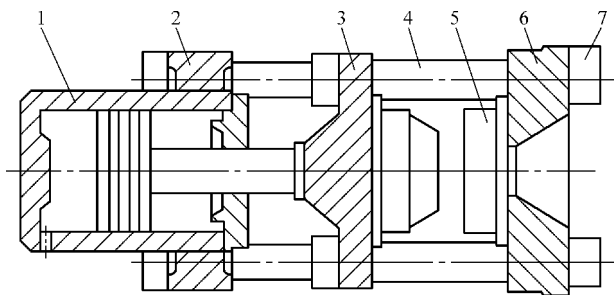


图 1-23 单缸直压式合模装置

1—合模液压缸 2—后定模板 3—动模板 4—拉杆 5—模具 6—前定模板 7—拉杆螺母

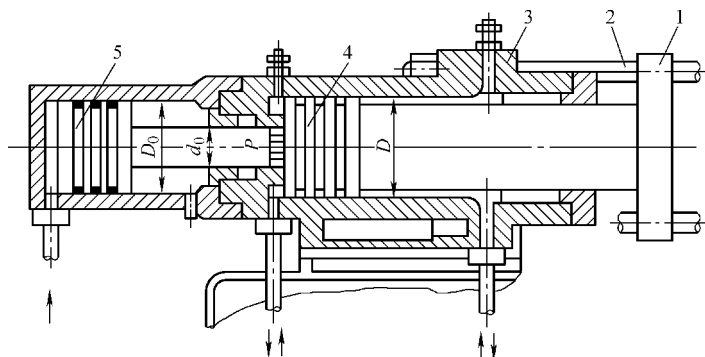


图 1-24 增压式合模装置

1—定模板 2—拉杆 3—动模板 4—合模液压缸 5—增压液压缸

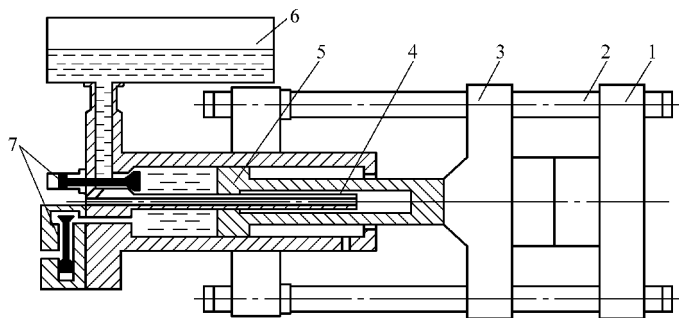


图 1-25 充液式合模装置

1—定模板 2—拉杆 3—动模板 4—移模液压缸 5—合模液压缸 6—充液液压缸 7—充液阀

(2) 液压-机械式合模装置 液压-机械式合模装置是通过液压系统驱动连杆或曲肘连杆机构来实现模具的启闭和锁紧。如图 1-26 所示液压-机械式合模装置结构是目前通用型注射机中应用最普遍的一种合模机构。

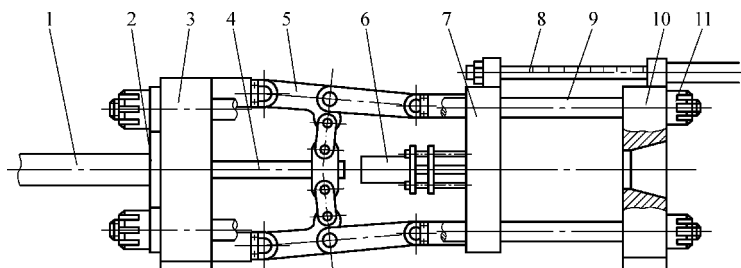


图 1-26 液压-机械式合模装置主要零部件位置

1—合模液压缸 2—调模距机构 3—固定后模板 4—活塞杆 5—曲肘连杆机构 6—制品顶出液压缸
7—移动模板 8—安全保护机构 9—拉杆 10—固定前模板 11—拉杆固定螺母

(3) 电动-机械式合模装置 电动-机械式合模装置是利用电动机械、减速器、曲柄与连杆等机械装置来实现模具的启闭和锁紧。这种装置具有体积小、质量轻、结构简单、制造容易等特点，但机构受力和运动性不如前两种好，而且易产生冲击，振动大，不能适应模具变化范围大的要求。

2. 调模装置

调模装置是为实现不同模具厚度变化而设置的。其作用是调整模具行程，确定模具最大厚度和最小厚度。此外，该装置还可用来调节锁模力的大小。对调模装置的要求是：调节要方便，便于操作；轴间位移准确、灵活，保证同步性，受力均匀；对合系统应有防松、预紧作用；安全可靠；调节行程应有限位及过载保护。目前常用的调模装置有以下四种形式：

(1) 螺纹肘杆式调模装置 如图 1-27 所示，此结构是通过调节肘杆的长度 L ，实现模具厚度和锁模力的调整。调距时，先松动两端的锁紧螺母，再旋动带有正反扣的调节螺母，使肘杆的两段发生轴向位移，改变肘杆的长度，实现调节模板距离的目的。这种调模装置结构简单，制造容易，但调节螺母和螺纹要承受锁模力，多用在小型注射机上。

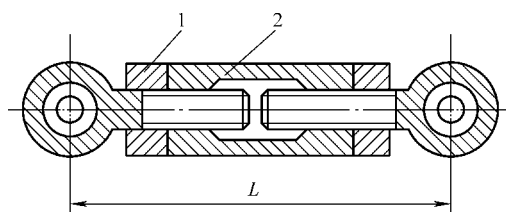


图 1-27 螺纹肘杆式调模装置

1—锁紧螺母 2—调节螺母

(2) 动模板厚度可调式调模装置 如图 1-28 所示，此结构的动模板是由左右两块组成，并用螺纹方式连接起来。通过旋动调节螺母，使动模板厚度发生改变，从而实现模具厚度和锁模力的调整，多用于中小型注射机上。

(3) 移动合模液压缸式调模装置 如图 1-29 所示，合模液压缸和后定模板用

螺纹相连接。调节时，转动调节手柄，使液压缸上的螺母转动，合模液压缸产生轴向位移，使合模机构沿拉杆移动，达到调距的目的。这种结构主要适用于中小型注射机。

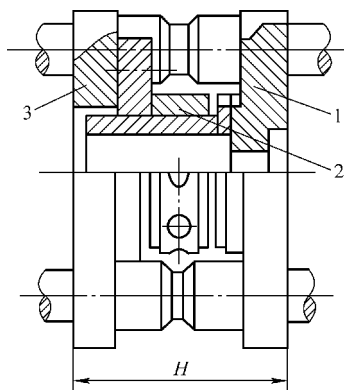


图 1-28 动模板厚度可调式调模装置

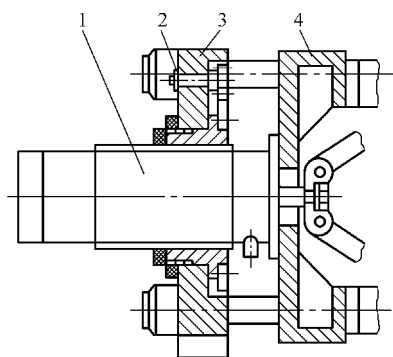


图 1-29 移动合模液压缸式调模装置

1—右动模板 2—调节螺母 3—左动模板 1—合模液压缸 2—调节手柄 3—后固定模板 4—后模板

（4）拉杆螺母式调模装置 如图 1-30 所示，合模液压缸装在后模板上，通过调节拉杆上的调节螺母，使拉杆轴向位移，改变拉杆两端模板距离，达到调距的目的。调节时，四个螺母的调节量必须一致，否则模板会发生歪斜。用手动调节达到四个螺母的调节量完全一致是困难的，为使四个螺母的调节量一致，有的设有联动机构。

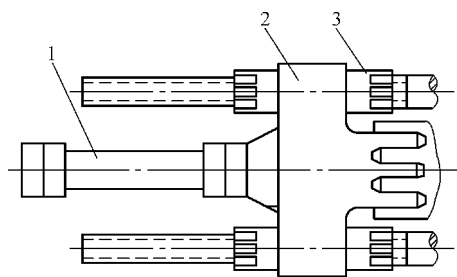


图 1-30 拉杆螺母式调模装置

1—合模液压缸 2—后模板 3—调节螺母

3. 顶出装置

顶出装置是为顶出模内制品而设置的，它是注射机不可缺少的组成部分。对顶出装置的要求是：具有足够的顶出力和可控的顶出次数及顶出速度；具有足够的顶出行程和行程限位调节机构；顶出力应均匀而且便于调节；工作应安全可靠，操作方便。

顶出装置一般有机械顶出、液压顶出、气动顶出三种形式。

（1）机械顶出装置 如图 1-31 所示，利用固定在后模板或其他非移动件上的顶出杆，在开模时，动模板后退，顶出杆穿过动模板上的孔，与其形成相对运动，从而推动模具中设置的脱模机构而顶出制品。机械顶出装置结构简单，使用较广。

（2）液压顶出装置 液压顶出是利用专门设置在动模板上的顶出液压缸进行制品的顶出，如图 1-32 所示。由于顶出力、顶出速度、顶出位置、顶出行程和顶出次数都可根据需要进行调节，因此使用方便，但结构比较复杂。

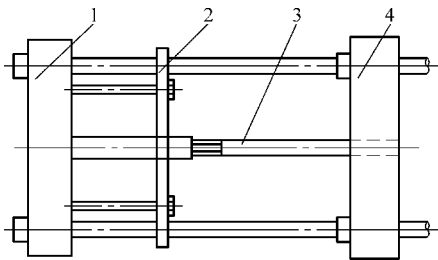


图 1-31 机械顶出装置

1—后模板 2—撑板 3—顶杆 4—动模板

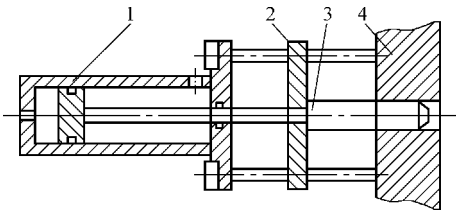


图 1-32 液压顶出装置

1—顶出液压缸 2—顶板 3—顶杆 4—动模板

一般小型注射机若无特殊要求，使用机械装置顶出简便、可靠。大中型注射机，一般同时设有机械和液压两种装置，使用时可根据制品的特点和要求进行选择。

(3) 气动顶出 气动顶出是利用压缩空气为动力，通过模具上设置的气道和微小的气孔，直接把制品吹出。这种顶出方法比较简单，在制品表面不留痕迹，对大而薄的盒、壳等制品顶出十分有利。但此法需要增设气源和气路等辅助设备，应用受到限制，目前采用较少。

1.2.3 液压系统

1. 液压系统的作用与组成

液压系统的作用是为注射机按工艺过程所要求的各种动作提供动力，并满足注射机各部分所需压力、速度、温度等的要求。它主要由各种液压元件和液压辅助元件所组成，其中液压泵和电动机是注射机的动力来源，各种阀（压力阀、流量阀、方向阀、调速阀、行程阀等）控制油液压力和流量，从而满足注射成型工艺各项要求。注射机常用液压元件见表 1-5。

表 1-5 注射机常用液压元件

类型	名 称		特 性	作 用
动力 元件	液压泵	定量泵	泵输出流量在任何情况下无变化	将机械能转换为液压能，给系统提供动力
		变量泵	泵输出的流量随执行元件速度可发生变化	
执行 元件	液压缸		活塞双向运动，在行程终了时不减速	将液压能转换为机械能，对外做功

(续)				
类型	名 称		特 性	作 用
控制 元件	压力 控制阀	溢流阀	保持压力恒定	使液压系统中的压力保持恒定，防止系统过载
		减压阀	降低系统压力，保持出口压力恒定	使出口压力低于进口压力，并保持出口压力恒定
		背压阀	增加回油阻力	使回油产生背压，保持工作机构运动的平稳性
	流量 控制阀	节流阀	利用改变节流口的大小来改变流量	调节进入工作机构的流量，改变其运动速度
		单向节流阀	一个方向节流调速，另一方向无节流	实行工作机构的正向节流，反向快速运行
		调速阀	保持节流阀前后压差稳定，提高速度的稳定性	用于要求负载稳速移动的油路
	方向 控制阀	单向阀	只允许液体向一个方向流动，不能反流	防止液压系统中油液反向流动
		换向阀	利用阀芯与阀体间的相对位置变化来控制油流的通与断及方向变换	控制工作机构的启动、停止或改变运动方向
	比例 控制阀	比例压力阀	改变输入电流的大小，能得到连续按比例变化的油压	根据油路各工作阶段的不同要求，获得不同的压力，减少元件数
		比例流量阀	改变输入电流的大小，能得到连续按比例变化的油液的流量	改变进入工作机构流量的大小，使其运行速度变化，也可切断油路
辅助 元件	滤油器		结构简单，制造容易，过滤精度视其型号而定	过滤油液中的杂质
	堵塞指示器		滤油器堵塞时，滤芯前后压差增大，并通过指针发出堵塞信号	监视滤油器的过滤精度，避免未过滤的油液进入系统中
	蓄能器		储存和释放液体的压力能	可作辅助动力源及消除泵的脉动或回路冲击压力的缓冲器
	压力继电器		将某一定值的液体压力转换为电信号	控制电磁阀的接通或断开
	热交换器		通过冷却或加热使油温保持稳定	降低回油温度；避免低温启动液压泵

2. 注射机各装置对液压系统的要求

(1) 合模装置对液压系统的要求 在注射成型时，熔融塑料通常以40 ~ 130MPa的压力注射到模具型腔内，因此模具必须有足够的锁模力，以避免制品由于模具被胀

开而产生飞边，为此合模液压缸的推力必须满足锁模力的要求。

另外，合模液压缸的工作推力，应能顺利启闭模具，并满足模具启闭时的速度要求。在合模时，合模液压缸工作速度应先快后慢；开模时应先慢后快再慢停。为了较好地满足模具启闭时的速度要求，一般用双泵并联或多泵分级控制及节流调速等方法来保证开模速度的调节。

(2) 注射座移动对液压系统的要求 移动液压缸应有足够推力使注射座迅速前移和后退，并且移动液压缸的推力，应保证喷嘴与模具口紧密、牢靠贴合。另外还应满足预塑中的固定加料、前加料和后加料要求，以保证移动液压缸及时动作。

(3) 注射装置对液压系统的要求 注射液压缸应能适应不同塑料及制品形状对注射压力和注射速度的要求。对于粘度较高、壁薄、面积大和形状较复杂的制品，应采用较高的注射压力，反之要低些。注射速度要选择适当，速度过慢，易形成冷接缝，制品外形不易保证；速度过快，物料易分解变黄，模具型腔内的空气不易排出，制品中易产生气泡。注射完成后，要有保压压力，保证熔体充满型腔并及时补充物料因冷却造成的收缩。另外注射液压缸还应能适应不同塑料在预塑时的螺杆转速及背压的调节。

(4) 制品顶出装置对液压系统的要求 顶出装置应有足够的顶出力，使制品顺利脱模，在多支点顶出时，各顶出支点要顶出均匀。同时要求顶出杆的运行速度要平稳、可调。

1.2.4 控制系统

1. 注射机控制系统的组成和类型

控制系统是注射机的“神经中枢”系统，主要由各种继电器元件、电子元件、检测元件及自动化仪表所组成。它控制着注射机的各种程序动作，实现对时间、位置、压力、速度和转速等进行有效的控制和调节。

目前，常用的注射机控制系统有三种，即传统继电器型、可编程序控制器型（PLC）和计算机控制型（PCC）。近年来，可编程序控制器以其高可靠性、高性能的特点，在注射机控制系统中得到了广泛应用。为了提高注射机控制系统的水平和品质，一种较 PLC 更高层次的、专为中小型控制系统设计的可编程计算机控制器（PCC）应运而生。PCC 集成了标准的 PLC 和工业控制计算机的特点，具有多任务分时操作系统，数据运算和处理能力比 PLC 更强大。用 PCC 组成注射机的控制系统，以实现包括位置控制、速度控制、温度控制、故障控制和实时显示等注射全过程的多种控制，可大大提高塑料制品的品质，有利于提高经济效益。

2. 注射机控制的内容

目前，注射机的过程控制系统主要包含两大部分：一是温度控制系统，实现对机筒、熔体和模具的温度进行有效的控制；二是运动控制系统，实现对注射过程的压力、速度、位移进行多级切换。

在温度控制中，其控制精度已经达到了 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。精确的温度控制在精密注射中有利于提高产品质量和原材料的利用率，是一项十分重要的指标。在塑料加工过程中，温度控制主要包括机筒、喷嘴和模具的温度控制。机筒温度即机筒表面加热温度，由于机筒的壁比较厚，因此热电偶检测点的选择非常关键，不同检测点上的温度曲线有较大的差异。因此双点平行检测，即在机筒表面与深处同时设置热电偶，将得到比较稳定的温度曲线，有利于提高温度控制的精度。喷嘴温度直接影响着熔体通过时的剪切流动，对制品的质量有较大的影响，因此喷嘴温度的控制精度要求更高。模具温度是指与制品接触的型腔表面温度，它会显著影响充膜、冷却和保压过程。模具温度的控制方法可以采用控制加热载体温度的方法，也可以直接控制模具温度。在前一种方法中，以加热载体的出口温度为控制对象，比较简单，能满足一般的温控要求。当温度控制精度要求较高时一般采用第二种方法进行温度控制。

注射速度、保压压力、塑化压力是注射部分首先要控制的三个变量，其控制精度直接影响制品的质量。现代较为先进的注射机具备了5~10级的注射速度和多段保压以及熔胶背压控制。一般通过位移（速度）传感器、压力传感器、闭环注射控制器和高响应伺服阀的配合使用，实现注射成型过程中熔胶背压、注射速度和保压工况的精确控制。另外比较简单的办法是采用闭环比例阀，通过比例阀本身的阀芯位置的闭环控制来提高控制精度，然而阀芯位置是一个中间变量，因此控制精度稍差。

移模过程控制最主要的变量是锁模力，锁模力的重复再现是稳定成型周期的必要条件。移模过程中应该控制的另一个重要变量是位置。一方面，先进的注射机不断追求效率的提高，移模速度直接影响成型周期，而快速移模本身对减速控制提出了更高的要求。另一方面，由于特殊工艺的不断开发和推广，模具位置的控制精度要求越来越高。

1.2.5 加热冷却系统

加热系统是用来加热机筒及注射喷嘴的，机筒一般采用电热圈作为加热元件，安装在机筒的外部，并用热电偶分段控温及检测，热量通过筒壁向内传热为物料塑化提供热源。

冷却系统主要是用来冷却液压油、加料口及模具的。冷却系统是一个封闭的循环系统，将冷却水分配到几个独立的回路中，并能对冷却介质流量进行调节。较先进的注射机冷却系统通过温度检测，能对冷却介质的流量实行闭环自动反馈控制和调节。

1.2.6 润滑系统

润滑系统是为注射机的动模板、调模装置、肘杆铰链等有相对运动的部位提供润滑的回路，以减少能耗和延长零件的使用寿命。润滑可以是定期的手动润滑，也

可以是连续的自动润滑。润滑的油源可以从液压系统的低压油路中引出，也可建立单独的泵润滑回路。

1.2.7 安全保护和监测系统

注射机的安全装置是用来确保人身及设备安全的装置。主要由安全门、液压阀、限位开关、光电检测元件等组成，可以实现电气-机械-液压的联锁保护。监测系统则主要对注射机的油温、料温、系统超载、工艺和设备故障进行监测，并对异常情况进行自动指示或报警。

现代的注射机通常配备有计算机电子监控装置和各类数显仪表，如 CRT 示频显示和可编程微处理控制系统等。此外，还可装设电子函数分析仪、中央故障诊断装置、自动油温预热和显示装置、电气指示回油滤清装置、快速注射用蓄能器控制系统、模具低压保护微调装置、制品脱模光电监测装置、自动上料装置和制品取出机械手等。

1.2.8 辅助系统

注射制品生产中常采用以注射机为主机的完整配套系统组织生产。这样可以节省人力、物力、占地面积，而且可以极大地提高生产效率，缩短生产周期。这些配套机械主要有各种形式的供料系统，干燥系统，各种形式的料斗及其混合加料系统，粉碎机，浇口分离机，模温控制器以及各种形式的自动取件机械手等。

1. 供料系统

由于注射机螺杆的塑化能力有限，因此在加工中，一般采用粒料。若是回收料，须先破碎造粒，经筛选后再供注射机使用；若是粉料，也须先经造粒后再使用。中小型注射机一般采用人工上料，而大型注射机由于机身较高且注射量大，用人工上料的劳动强度大，因此必须备有自动上料系统。生产中应用较多的是弹簧上料装置、鼓风上料装置和真空上料装置。

2. 干燥系统

塑料原料中的水分直接影响注射制品的质量，尤其是工程塑料。通过预干燥除去原料中的水分不仅可以增加制品的表面光泽度，提高弯曲强度、拉伸强度，避免内部出现银丝、裂纹、气泡和麻点，而且还能提高塑化能力，缩短成型周期。常用的干燥方式有热风循环烘箱干燥、热风料斗干燥、真空干燥、除湿干燥、远红外线干燥和沸腾床干燥等。

3. 混合加料系统

当在料斗内同时装入粒料和粉料时，物料依靠重力落入机筒料口时会产生团形流动，这种流动会使物料在入口处堆积，产生“架桥”现象。在生产中可采用混合加料装置来避免架桥发生，常用的混合加料装置有在料斗中设置搅拌器、螺旋强制加料装置、多组分加料装置等。

4. 其他辅助设备

塑料注射成型的其他辅助设备还有冷却系统、模温控制机、机械手、破碎机和起吊装置等。

1.3 注射机的主要参数

注射机的主要技术参数有注射量、注射压力、注射速率、塑化能力、锁模力、合模装置的基本尺寸、开合模速度、空循环时间等。这些参数是设计、制造、购置和使用注射机的依据。

1.3.1 注射系统的主要技术参数

1. 注射量

(1) 定义 注射量是指在对空注射条件下, 注射螺杆或柱塞作一次最大注射行程时, 注射装置所能达到的最大注出量。该参数在一定程度上反映了注射机的加工能力, 标志着该注射机能成型塑料制品的最大质量, 是注射机的一个重要参数。

(2) 表示方法 注射量一般有两种表示方法, 一种是以 PS 为标准 (密度 $\rho = 1.05\text{g/cm}^3$), 用注射出熔体的质量 (g) 表示; 另一种是用注射出熔体的容积 (cm^3) 来表示。

我国注射机系列标准采用后一种表示方法。系列标准规定的注射量有 16cm^3 、 25cm^3 、 40cm^3 、 63cm^3 、 100cm^3 、 160cm^3 、 200cm^3 、 250cm^3 、 320cm^3 、 400cm^3 、 500cm^3 、 630cm^3 、 800cm^3 、 1000cm^3 、 1250cm^3 、 1600cm^3 、 2000cm^3 、 2500cm^3 、 3200cm^3 、 4000cm^3 、 5000cm^3 、 6300cm^3 、 8000cm^3 、 10000cm^3 、 16000cm^3 、 25000cm^3 、 40000cm^3 等。

(3) 理论注射量 根据注射量的定义, 注射螺杆一次所能注出的最大注射量的理论值为: 螺杆头部在其垂直于轴线方向的最大投影面积与注射螺杆行程的乘积。其表达式为

$$Q_{\text{理}} = \pi D^2 S / 4$$

式中 $Q_{\text{理}}$ ——理论最大注射量 (cm^3);

D ——螺杆或柱塞的直径 (cm);

S ——螺杆或柱塞的最大行程 (cm)。

(4) 公称注射量 (即实际最大注射量) 由于注射时, 有少部分熔体在压力作用下回流, 为了保证塑化质量和在注射完毕后保压时补缩的需要, 故实际注射量要小于理论注射量, 为描述二者的差别, 引入了公称注射量。

$$Q_{\text{公称}} = \alpha Q_{\text{理}}$$

式中 α ——注射系数。

影响注射系数的因素很多, 如被加工物料的性能、螺杆结构参数、模具结构、

制品形状、注射压力、注射速率、背压大小等。对于采用止回环的螺杆头，注射系数 α 一般在 0.75 ~ 0.85 之间。对那些热扩散系数小的塑料， α 取小值，反之取大值，通常多取 0.8。

(5) 实际注射量 在实际使用注射机时，通常注射制品与浇注系统的总用料量为公称注射量的 25% ~ 70% 为好，最低也不应小于公称注射量的 10%。如果总用料量太少，则注射机不能充分发挥效能，而且熔体也会因在机筒中停留时间过长而分解；若总用料量大于注射量的 70%，则制品成型时易出现缺陷。

2. 注射压力

(1) 定义 注射压力是指注射螺杆或柱塞的端部作用在物料单位面积上的压力。在注射成型时，为了克服熔体流经喷嘴、流道和型腔时的流动阻力，螺杆或柱塞对熔体必须施加足够的压力。注射压力的大小与流动阻力、制品的形状、塑料的性能、塑化方式、塑化温度、模具温度以及对制品精度要求等因素有关。

(2) 计算 注射压力可用下式计算：

$$p_{\text{注}} = (D_0/D)^2 p_0$$

式中 $p_{\text{注}}$ ——注射压力 (MPa)；

D_0 ——注射液压缸内径 (cm)；

D ——螺杆或柱塞直径 (cm)；

p_0 ——工作油压力 (MPa)。

(3) 不同直径的螺杆和注射压力的关系 为了满足加工不同物料对注射压力的要求，一般注射机都配备三种不同直径的螺杆和机筒（或用一根螺杆而更换螺杆头）。采用中间直径的螺杆，其注射压力范围在 100 ~ 130MPa；采用大直径的螺杆，注射压力范围在 65 ~ 90MPa；采用小直径的螺杆，其注射压力范围在 120 ~ 180MPa。

由于注射液压缸活塞施加给螺杆的最大推力是一定的，故改变螺杆直径，便可相应改变注射压力。不同直径的螺杆和注射压力的关系为

$$D_n / D_1 = p_1^2 / p_n^2$$

式中 D_1 ——第一根螺杆的直径（一般指中间螺杆即加工 PS 的螺杆直径）(cm)；

D_n ——所换用螺杆的直径 (cm)；

p_1 ——第一根螺杆的注射压力 (MPa)；

p_n ——所换用螺杆的注射压力 (MPa)。

在实际生产中，注射压力应能在注射机允许的范围内调节。若注射压力过大，则制品上可能会产生飞边；制品在型腔内因镶嵌过紧造成脱模困难；制品内应力增大，强制顶出会损伤制品；影响注射系统及传动装置的设计。若注射压力过小，易产生缺料和缩痕，甚至出现根本不能成型等现象。根据塑料的性能，目前对注射压力的使用情况大致可分为以下几类。

注射压力小于 70MPa，用于加工流动性好的塑料，且制品形状简单、壁厚

较大。

注射压力为 70 ~ 100MPa，用于加工塑料粘度较低，形状、精度要求一般的制品。

注射压力为 100 ~ 140MPa，用于加工中、高粘度的塑料，且制品的形状、精度要求一般。

注射压力为 140 ~ 180MPa，用于加工较高粘度的塑料，且制品壁薄或不均匀，流程长，精度要求较高。对于一些精密塑料制品的注射成型，注射压力可达到230 ~ 250MPa。

3. 注射时间（注射速率、注射速度）

注射时，为了使熔体及时充满型腔，除了必须有足够的注射压力外，熔体还必须有一定的流动速率。描述这一参数的有注射时间、注射速率和注射速度。

（1）定义 注射时间是指注射螺杆或柱塞向型腔内注射最大容量的物料时所需要的最短时间。

注射速率是表示单位时间内从喷嘴射出的熔体量。

注射速度是表示注射螺杆或柱塞的移动速度。

（2）注射时间、注射速率、注射速度三者的关系 注射时间、注射速率、注射速度三者是一致的。注射时间短，则注射速率或注射速度快。

注射速率、注射速度、注射时间可用下面两个式子定义：

$$q_{\text{注}} = Q_{\text{公}}/t_{\text{注}}$$
$$v_{\text{注}} = S/ t_{\text{注}}$$

式中 $q_{\text{注}}$ ——注射速率（ cm^3/s ）；
 $Q_{\text{公}}$ ——公称注射量（ cm^3 ）；
 $t_{\text{注}}$ ——注射时间（s）；
 $v_{\text{注}}$ ——注射速度（ mm/s ）；
 S ——注射行程，即螺杆移动距离（mm）。

可见，注射速率是将公称注射量的熔体在注射时间内注射出去，单位时间内所达到的体积流率；注射速度是指螺杆或柱塞的移动速度；而注射时间，是指螺杆（或柱塞）射出一公称注射量所需要的时间。

一般来说，注射速率应根据工艺要求、塑料性能、制品形状及壁厚、浇口类型以及模具冷却情况来选定。表 1-6 列出了目前常用的注射速率和注射时间，仅供参考。

表 1-6 目前常用的注射速率和注射时间

注射量/ cm^3	125	250	500	1000	2000	4000	6000	10000
注射速率/（ cm^3/s ）	125	200	333	570	890	1330	1600	2000
注射时间/s	1	1.25	1.5	1.75	2.25	3	3.75	5

为了提高注射制品的质量,尤其对形状复杂制品的成型,近年来发展了变速注射,即注射速度是变化的,其变化规律由制品的结构形状和塑料的性能决定。

4. 螺杆直径和注射行程

注射机的一次注射量由螺杆直径 D 和注射行程 S 所决定,而 S 值与 D 值之间应保持一定比例。

$$K = S/D$$

K 称为比例系数。 K 值过大,螺杆的有效长度缩短,影响塑化能力和质量; K 值过小,为保证达到同样的注射容积,势必要增大 D 值,这将会导致塑化部件变得庞大。一般 K 值的范围为 $1 \sim 3$ 。

螺杆直径 D 可由下式求得:

$$D = [4V/(\alpha\pi K)]^{1/3}$$

式中 V ——最大注射容积 (cm^3);

α ——注射系数。

5. 塑化能力及回复率

(1) 定义 塑化能力是指单位时间内所能塑化的物料量。显然,注射机的塑化装置应该在规定的时间内,保证能够提供足够量的塑化均匀的熔体。塑化能力与螺杆转速、驱动功率、螺杆结构、物料的性能有关。

回复率是塑化能力的另一种表示,用来反映螺杆间断工作时恢复原注射状态能力的大小。即加工温度一定,其塑化与空注连续进行 10 次,并在一定的注射速率条件下,总注射量(空注)与螺杆转动总时间之比。

(2) 塑化能力与成型周期 塑化能力应与注射机的整个成型周期配合协调,若塑化能力高而机器的空循环时间太长,则不能发挥塑化装置的能力,反之,则会加长成型周期。一般注射机的理论塑化能力大于实际所需量的 20% 左右。目前注射机的塑化能力有了较大的提高。

塑化能力与成型周期的关系为

$$Q = W/t$$

其中 Q ——塑化能力 (g/s);

W ——实际注射量 (g);

t ——塑化时间(一个生产周期内) (s)。

1.3.2 合模系统的主要技术参数

1. 锁模力

(1) 定义 锁模力是指注射机的合模机构对模具所能施加的最大夹紧力。在此力的作用下,模具不应被熔融的塑料所顶开。锁模力与公称注射量一样,也在一定程度上反映出机器所能加工制品的大小,是一个重要的技术参数,所以有的国家采用最大锁模力作为注射机的规格参数。

(2) 计算 为使注射时模具不被熔融的物料顶开，则锁模力应满足下式：

$$F > KpA$$

式中 F ——锁模力 (kN)；

K ——安全系数，一般在 1.1 ~ 1.6 之间选取，对粘度小的取大值，对粘度大的取小值；模具温度高时取大值，模具温度低时取小值；

p ——物料在型腔内的平均压力 (MPa)；

A ——制品在模具分型面上的投影面积 (mm²)。

制品在模具分型面上的最大投影面积比较容易确定，型腔平均压力要根据物料性能，制品形状和精度要求，成型工艺条件，模具结构，喷嘴和流道形式，模具温度等因素来确定。不同塑料注射时型腔内的平均压力见表 1-7。不同塑料制品成型条件与型腔内平均压力见表 1-8。

表 1-7 不同塑料注射时型腔内平均压力

塑 料 名 称	平均压力/MPa
LDPE	10 ~ 15
MDPE	20
HDPE	35
PP	15
PS	15 ~ 20
AS	30
ABS	30
PMMA	30
乙酸纤维树脂类塑料 (CA)	35

表 1-8 不同塑料制品成型条件与型腔内平均压力

成 型 条 件	型腔平均压力/MPa	制 品 结 构
易于成型制品	25	PE、PP、PS 成型壁厚均匀日用品、容器等
普通制品	30	薄壁容器类原料为 PE、PP、PS
物料粘度高 制品精度高	35	ABS、聚甲醛 (POM) 等精度高的工业用零件
物料粘度很高 制品精度高	40	高精度机械零件

锁模力的选取很重要。若注射机的锁模力不够，在成型时易使制品产生飞边，不能成型薄壁制品；若锁模力选用过大，容易压坏模具，使制品内应力增大和造成不必要的浪费。因此锁模力是保证塑料制品质量的重要因素之一。近年来，由于改善了塑化机构的效能，对注射量进行了精确控制，改进了合模机构，提高了注射速度并对其实现程序控制（变速注射）等，注射机的锁模力有了明显的下降。

2. 合模装置的基本尺寸

合模装置的基本尺寸包括模板尺寸、拉杆间距、模板间最大开距、动模板行

程、模具最大厚度与最小厚度等。这些参数规定了机器加工制品所使用的模具尺寸范围，也是衡量合模装置好坏的参数。

(1) 模板尺寸及拉杆间距 模板尺寸 ($H \times V$) 和拉杆有效间距 ($H_0 \times V_0$) 如图 1-33 所示。显然这两个尺寸都涉及所用模具的大小，模板尺寸决定模具的长度和宽度，并能用常规方法将模具安装到模板上，它限制了注射机的最大成型面积，而拉杆间距限制了模具的尺寸。模板面积大约是注射机最大成型面积的 4 ~ 10 倍，是拉杆有效面积 ($H_0 \times V_0$) 的 2.5 倍。

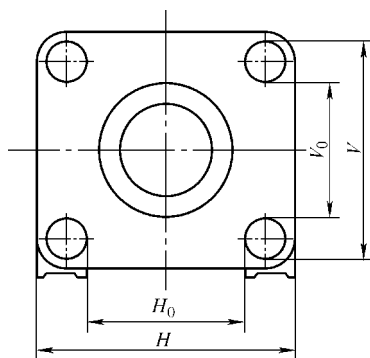


图 1-33 模具与模板尺寸

近年来，由于模具结构的复杂化，低压成型方法的使用，注射机塑化能力的提高以及锁模力的下降，模板尺寸有增大的趋势，以适应加工投影面积较大的制品及自动化模具的安装要求。

(2) 模板间最大开距 模板间最大开距是指开模时，定模板与动模板之间，包括调模行程在内所能达到的最大距离，如图 1-34 所示。

模板间最大开距决定了注射机所能加工制品的最大高度。为使成型后的制品顺利取出，模板最大开距 L 一般为成型制品最大高度 δ 的 3 ~ 4 倍。据统计模板最大开距 L 与公称注射量 Q 常有如下关系：

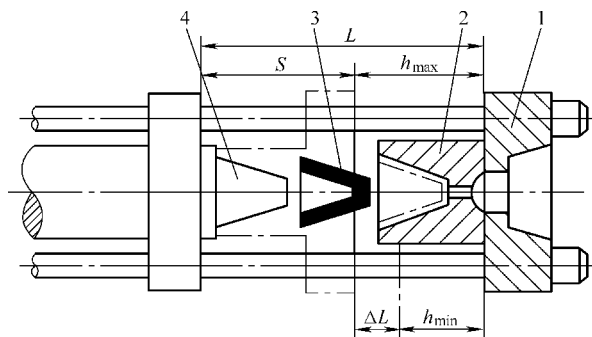


图 1-34 模板间最大开距

1—定模板 2—凹模 3—制品 4—凸模

$$L = 125Q^{1/3}$$

式中 L ——模板最大开距 (cm)；

Q ——公称注射量 (cm^3)。

(3) 动模板行程 动模板行程是指动模板移动距离的最大值，一般用 S 表示 (见图 1-34)。为了便于取出制品， S 一般大于制品最大高度 δ 的两倍，即

$$S > 2\delta$$

为了减少机械磨损和动力消耗，成型时应尽量使用最短的动模板行程。

(4) 模具最小厚度与最大厚度 模具最小厚度 $h_{\min}$ 和模具最大厚度 $h_{\max}$ 是指模具闭合后，达到规定锁模力时，动模板和定模板间的最小和最大距离。如果模具的厚度小于规定的 $h_{\min}$ ，应加垫板 (块)，否则将不能实现最大锁模力或损坏机件；

如果模具的厚度大于 $h_{\max}$ ，也不可能达到最大的锁模力。

(5) 调模行程 为了成型不同高度的制品，模板间距应能调节。调节范围是最大模具厚度的 30% ~ 50%。 $h_{\min}$ 和 $h_{\max}$ 之差即为调模装置的最大可调行程。

1.3.3 注射机综合技术参数

选择注射机时除了考虑能否生产出合格的制品外，还要考虑机器的生产效率、能耗等因素，如开合模速度、空循环时间、用电总功率、机器质量及外形尺寸等。

1. 开合模速度

开合模速度是指动模板的移动速度，是注射机的经济指标参数之一。为使模具闭合时平稳以及开模、顶出制品时不使制品损坏，要求模板慢行，但模板又不能在全行程中都慢速运行，这样会降低生产率。因此在每一个成型周期中，模板的运行速度是变化的，即在合模时从快到慢，开模时则由慢到快再慢。

目前国产注射机的动模板移动速度，高速为 12 ~ 22m/min，低速为 0.24 ~ 3m/min。随着生产的高速化，动模板的移动速度，高速已达 25 ~ 35m/min，有的甚至可达 60 ~ 90m/min。

2. 空循环时间

空循环时间是指在没有塑化、注射保压、冷却及取出制品等动作的情况下，完成一次动作循环所需要的时间 (s)。它由合模，注射座前进和后退，开模以及动作间的切换时间所组成。

空循环时间是表征机器综合性能的参数，也是衡量注射机生产能力的指标。它反映了注射机机械结构的好坏，动作灵敏度，液压系统以及电气系统性能的优劣（如灵敏度、重复性、稳定性等）。

近年来，由于注射、移模速度的提高和采用了先进的液压电气系统、计算机程序控制技术，空循环时间已明显缩短，即空循环次数得到提高。

1.4 注射机的选择

1.4.1 注射机的评估标准

对注射机的购买者和使用者来说，首先应该知道怎样才能算是一台好的注射机，需要从哪些方面评估，然后才能合理地选择和使用。注射机的评估标准包括以下几方面。

1. 注射机的技术参数要先进合理

用户可通过纵向或横向的比较来判别。所谓“纵向”就是注射机主要技术参数应满足行业标准，根据行业标准审视。所谓“横向”是根据国内外同类注射机的技术参数进行比较。这是一项很仔细的科学性的工作，要根据注射制品的材料、

形状、结构乃至应用的领域和具体场合；根据模具的结构、质量、精度、型腔数目、流道的类型及其结构、形状、尺寸；根据制品的日、月、年的生产能力，自动化程度等来选择注射机各级参数。

2. 机器工作的稳定性、可靠性、安全性和使用寿命

机器的稳定性多表现在合模机构和注射系统在各循环周期中运行是否平稳，在无撞击的静音下工作，噪声不得超过行业标准。

可靠性及使用寿命，主要反映在合模机构的系统刚性方面，与模板、拉杆、连杆及其销轴的结构、尺寸以及材料及其热处理工艺等有关；注射机的塑化系统如机筒、螺杆、螺杆头、止逆环以及螺杆的驱动主轴的结构及其制造工艺等，这些都是注射机的主要受力件和磨损件，直接影响着使用寿命。

注射机的安全性主要体现在两个方面：一是对模具的安全保护，二是对人身的安全保护。在闭模前，当安全门未关好时，闭模应无法动作；在闭模过程中，如果安全门未关到正确位置，模板动作停止或者自动开模。如果在闭模时，有异物如嵌件，由于振动等原因误落入型腔，或有其他异物错误地置入模具内，模具应停止闭模动作，或自动开模并报警。注射机另一安全环节是防止预塑螺杆的冷启动，当物料未达到指定温度和保温时间时，螺杆是禁止启动的，否则会发生报警。此外，注射机喷嘴还必须有防溅料装置，以防发生烫伤事故。

3. 自动化程度要高，功能要齐全完善，生产效率高

现代注射机都可以实现手动、半自动、全自动操作，只要模具设计合理，就能实现从注射充模到制品顶出落下的全自动操作，也可配备机械手实现无人操作。抽插芯功能、液压喷嘴控制功能以及快速加热流道探针功能等均可编入注射成型周期中的自动化程序，进行自动循环。生产效率高主要表现在每模制品在正常的注射工艺条件下，成型周期要短。因此必须采用高质量的液压、电子元器件，采用精密的制造技术才能提高注射系统的灵敏度和各项重复精度，这是注射系统高效工作的可靠保证。

4. 节能和环保

节能和环保是评判注射机不可忽视的指标。节能主要是反映注射机在动力驱动系统、加热系统、散热系统满足正常工艺条件下与同类机比较的节水、节电能力。注射机设计应充分地考虑“环保”这一主题，注射机应防止液压油泄漏或噪声超标，要安静地工作。此外，注射机本身也应多采用环保材料。

5. 人机对话能力和可操作性

注射机应使其操作和管理更加人性化，操作要方便，显示要明确、易懂，一目了然。要有对参数选择、制品质量控制、模具资料存储以及各项参数的自动再现功能，能对故障进行快速地诊断与排除，以减少物料浪费，恢复系统正常操作。

6. 机器维护、检修要便利

各种机械、液压、电子、电器元器件的安装位置应有利于机器的维护和检修，

同时注射机的通用化、标准化程度对用户也十分重要。

1.4.2 选择注射机要考虑的因素

通常影响注射机选择的重要因素包括模具、产品、塑料、成型要求等，因此在进行选择前必须先收集或具备下列信息。

1. 注射量

根据注射制品的质量，计算出注射机应具备的注射量。

1) 当注射制品是用 PS 制造时，注射机应具备的注射量为 Q_{ps} ，则

$$Q_{ps} = (\text{制品质量} + \text{浇口系统总质量}) \div (0.75 \sim 0.9)$$

$$\text{即 } Q_{ps} = (1.1 \sim 1.3) \times (\text{制品质量} + \text{浇口系统总质量})$$

2) 如果制品是由其他塑料（命名为 X 塑料）制造，先计算出该种塑料的理论注射量 Q_x ，即

$$Q_x = (1.1 \sim 1.3) \times (\text{制品质量} + \text{浇口系统总质量})$$

但是不能简单地用 Q_x 决定注射机的注射量，必须换算成 Q_{ps} 值，换算公式是

$$Q_{ps} = Q_x \div \rho$$

式中 ρ ——该塑料的密度值。

另外一种比较简单的方法是判断注射量是否满足下式：

$$Q = (0.75 \sim 0.8) Q_{max} \rho$$

式中 Q ——实际能成型的产品最大质量（含浇口质量）（g）；

Q_{max} ——注射机理论最大注射量（PS 质量）（g）；

ρ ——原材料的密度值。

只要制品质量小于计算出来的 Q ，就说明可行。

2. 锁模力

根据注射制品在模板上的垂直投影面积，计算锁模力 F 。

锁模力 = 锁模力常数 $\times$ 制品在模板上的垂直投影面积

$$\text{即 } F = KS$$

式中 F ——锁模力（t）；

K ——锁模力常数（t/cm²）；

S ——制品在模板上的垂直投影面积（cm²）。

不同塑料的 K 值见表 1-9。

表 1-9 锁模力常数 K 值

塑料名称	PE	PP	PS	ABS	PA	其他工程塑料
$K/(\text{t}/\text{cm}^2)$	0.32	0.32	0.32	0.30 ~ 0.48	0.64 ~ 0.72	0.64 ~ 0.72

3. 模具尺寸

即模具的长 $\times$ 宽 $\times$ 高。由模具的外形轮廓尺寸决定注射机拉杆（导柱）的内

间距尺寸，后者大于前者。

4. 制品尺寸

即注射成品的外观尺寸（长、宽、高、厚度）。制品高度决定注射机应有的开模行程，后者应大于前者2倍。

5. 产品精度

产品的精度直接关系到机器的选购与配置要求，比如说工程类塑料要选用合金螺杆与机筒，螺杆长径比 L/D 大于20:1，才能达到良好的塑化标准和要求。

6. 其他要考虑的因素

其他要考虑的因素包括使用塑料的种类及数量（单一原料或多种塑料），成型要求（如工艺因素、生产能力）等。

1.4.3 注射机选择步骤

在获得以上信息后，即可按照下列步骤来选择合适的注射机。

1. 选对型

由产品及塑料决定注射机的类型及系列。由于注射机的种类较多，因此一开始要先正确判断此产品应由哪一种或哪一个系列的注射机来生产，例如是一般热塑性塑料还是电木原料或PET原料等，是单色还是双色、多色、夹层或混色等。此外，某些产品需要高稳定（闭回路）、高精密、超高速注射、高压注射或快速生产（多回路）等条件，也必须选择合适的系列来生产。

2. 放得下

由模具尺寸判定机台的拉杆间距、模厚、模具最小尺寸及模板尺寸是否适当，以确认模具是否放得下。具体要求是：模具的长度和宽度需小于或至少有一边小于拉杆间距；模具的长度及宽度最好在模板尺寸范围内；模具的厚度需介于注射机要求的最大和最小模具厚度之间；模具的长度及宽度需符合该注射机建议的最小模具尺寸，太小也不行。

3. 拿得出

由模具及成品判定“开模行程”及“脱模行程”是否足以让成品取出。具体要求是：开模行程至少需大于成品在开关模方向高度两倍以上，且需含竖流道的长度；脱模行程需足够将制品顶出。

4. 锁得住

由产品及塑料决定锁模力大小。当原料以高压注入模具型腔内时会产生一个撑模力，因此注射机的锁模装置必须提供足够的锁模力使模具不至于被撑开。为了保险起见，注射机的锁模力通常要大于撑模力的1.17倍以上。

至此已初步确定合模装置的规格，并大致确定机种吨数，接着必须再进行下列步骤，以确认哪一个注射装置的螺杆直径比较符合所需。

5. 射得饱

由成品质量及模具型腔数目判定所需注射量并选择合适的螺杆直径。具体要求是：计算成品质量需考虑型腔数目（一模几腔）；为了稳定性起见，理论注射量需为成品质量的 1.35 倍以上，亦即成品质量需在理论注射量的 75% 以内。

6. 射得好

由塑料判定螺杆压缩比及注射压力等条件。有些工程塑料需要较高的注射压力及合适的螺杆压缩比设计，才有较好的成型效果，因此为了使成品射得更好，在选择螺杆时亦需考虑注射压力的需求及压缩比的问题。一般而言，直径较小的螺杆可提供较高的注射压力。

7. 射得快和注射速度的确认

有些制品需要高速注射才能稳定成型，如超薄类成品，在此情况下，可能需要确认机器的注射速度是否足够，是否需搭配蓄压器、闭回路控制等装置。一般而言，在相同条件下，可提供较高注射压力的螺杆通常注射速度较低，相反，可提供较低注射压力的螺杆注射速度较高。因此选择螺杆直径时，注射量、注射压力及注射速率（注射速度）需交叉考虑及取舍。

此外，也可以采用多回路设计，以同步复合动作缩短成型时间。

经过以上步骤之后，原则上可以决定符合需求的注射机，但是有一些特殊问题还必须加以考虑，包括：

（1）大小配的问题 在某些特殊状况下，可能模具体积较小但产品所需注射量大，或模具体积大但所需注射量小，在这种情况下，注射机设定的标准规格可能无法符合实际需求，而必须进行所谓“大小配”，亦即“大壁小射”或“小壁大射”。所谓“大壁小射”是指以原先标准的合模装置搭配较小的注射螺杆，反之，“小壁大射”即是以原先标准的合模装置搭配较大的注射螺杆。

（2）快速机或高速机的观念 在实际运用中，越来越多的客户要求购买所谓“高速机”或“快速机”。一般而言，其目的除了产品本身的需求外，大多是要缩短成型周期，提高单位时间的产量，进而降低生产成本，提高竞争力。通常要达到上述目的，有以下几种做法：

1) 注射速度加快。将电动机功率及泵加大，或加蓄压器（最好加闭回路控制）。

2) 加料速度加快。将电动机功率及泵加大，使螺杆转速加快。

3) 多回路系统。采用双回路或三回路设计，以同步进行复合动作，缩短成型时间。

4) 增加模具水路，提升模具的冷却效率。

然而，机器性能的提升及改造固然可以增加生产效率，但往往也增加投资成本及运转成本，因此投资前的效益评估需仔细衡量，才能以最合适的机型产生最高的效益。

1.5 注射机的安装与调试

1.5.1 注射机的安装

1. 注射机安装场地要求

1) 安装地面必须平整,地基应有足够的承载能力,能承受注射机的质量,同时要求能抗振动,尤其对大型注射机更应注意地面质量,保证在生产时设备不下沉、不偏斜,不允许产生共振现象。

2) 安装时要注意注射机四周环境,操作方便,采光、通风要好。同时还要考虑到设备的维修、模具的拆卸和原料及成品的堆放空间。

3) 车间高度要能允许有模具吊装的空间。

4) 生产用水、气及线路等管路,应在铺设车间地面时,同时埋入地基内。

2. 注射机的安装要求

1) 中小型注射机通常无须地脚螺栓,而是采用调整垫安装。在安装时,先将各调整垫调整到相同高度,然后用水平尺校正(以注射座导轨和合模系统拉杆为基准)调整水平。

2) 大型注射机通常要考虑地脚螺栓的安装位置、距离及浇灌深度。在安装时,一般首先安装合模部分(大型机的注射部件与合模部件可能是分体式的),把螺栓插入地脚孔中,把垫板和楔子放置好后,再拿走辊杠。在安装注射部分之前,把地脚螺栓穿入地脚孔中,再灌入混凝土。当混凝土固化后,再校平找正,拧紧地脚螺母。调平找正之后,要使机身结合面完全接触,设法防止垫板与楔子滑出来。

3) 机身稳固后,装设合模部件与注射部件之间的各种管件。液压管路按液压回路图施工,电路及温度控制接线按电气线路图施工。

4) 安装注射料斗、储料桶(自动上料料仓)等装置。

1.5.2 注射机的调试

注射机在正式生产操作运行之前,必须经严格地调试,以确保生产的正常进行及人身、设备的安全。

1. 整机性能的调试

1) 接通操纵柜上的主开关,首先将操作方式选择开关置为点动或手动上。按启动键并立刻停车,检查液压泵的运转方向是否正确。若发现方向不对,应立即停车断电,调换两相接引电动机的电源线,然后再点动运转,观察液压泵旋转方向是否正确。

2) 机器启动应在液压系统无压的情况下进行。启动之后再调节各泵溢流系统的压力到安全压力。在使用过程中对调整好的各压力控制阀不要轻易变动。

3) 在开泵之前一定要确保油箱中已灌装液压油, 否则易损坏液压泵。

4) 检查注油器的液面及润滑部位, 要供给足量的润滑油。特别是液压-机械式注射机的曲柄铰链部位, 缺润滑油将可能导致卡死的危险。

5) 液压泵开始工作后, 应打开油冷却器冷却水阀门, 对回油进行冷却, 以防止油温过高。待液压泵短时间空车运转后, 关闭安全门, 先采用手动闭模, 并打开压力表, 观察压力是否上升。

6) 空车时, 手动操作机器空运转动作几次。检查安全门的作用是否正常, 指示灯是否及时亮熄, 各控制阀、电磁阀动作是否正确, 调速阀、节流阀的控制是否灵敏。

7) 将转换开关转至调整位置, 检查各动作反应是否灵敏。

8) 调节时间继电器和限位开关, 并检查其动作是否灵敏、正常。

9) 进行半自动和全自动操作试车, 空车运转几次, 检查运转是否正常。

10) 检查注射制品计数装置及总停机装置(按钮)是否正常、可靠。

2. 注射系统的调试

注射成型结晶型塑料时, 喷嘴不宜长时间与温度低的模具接触。因此, 注射座一般应能在每一成型循环周期中往复移动一次(也称为注射座整体移动)。对于非结晶型塑料, 在注射机刚开始工作时, 模具温度较低, 往往也要求注射系统注射后后移。

为了使注射系统能保持良好的工作状态, 在正式投入生产应用之前, 应作如下检查调试:

1) 调节注射座移动行程, 使喷嘴能顶上模具浇口套。要注意应在低压下调节并在模具闭合后进行调整, 以保证模具的安全。

2) 检查所用喷嘴是否适用于所加工的物料, 若不符合应更换类型并能顺利装配到机筒前端。喷嘴安装前还应注意其内流道是否通畅。

3) 通过限位开关或位移传感器调节螺杆的计量行程和防延行程, 并注意限位开关或传感器是否灵敏和可靠。

4) 调整注射压力、保压压力。从注射压力切换到保压压力主要靠时间继电器来调节。

5) 调节背压压力、喷嘴控制液压缸压力及注射座液压缸压力。这些均通过液压系统相应阀件的调节手柄来进行调试。

6) 检查注射座移动导轨是否清洁和涂有润滑油。

7) 预塑螺杆空运转数秒, 有无异常刮磨声响, 料斗口开合门是否正常。

3. 合模系统调试

合模系统调试的主要目的是为了确保工作时人身及设备的安全, 能有足够的锁模力, 以保证模具在物料熔体的压力作用下不产生开缝现象, 并能顺利开闭模具及顶出制品, 故正式生产前要对合模装置作以下调试。

1) 检查安全门功能。根据安全保护要求,合模装置只能在机器两侧安全门都关闭后才能进行工作。而在合模装置开闭模工作期间,若打开操作一侧的安全门,闭模运动应会立即被制止,而若进一步打开另一安全门时,液压泵通常会停止工作。

2) 调整好所有行程开关的位置,使动模板运行顺畅。

3) 模具安装。在安装模具之前,必须清理模具的安装表面及注射机动、定模板的安装面;检查模具的中心是否与动模板的中心相符;顶出杆是否伸进模具动模板内过多;在定模板一侧要仔细检查模具的中心凸缘是否完全进入注射机前模板的同心圆内;在低压下将模具锁闭,用螺钉拧紧固定模具的夹板。对于大型模具的安装,需要在起重机或起重架辅助下来进行。

4) 模具安装完毕后调节行程滑块,限制动模板的开模行程。

5) 调整顶出机构,使之能够将制品从型腔中顶出到预定的距离。

6) 调整模具闭合保险装置。现代注射机可以调整得非常准确,如在模具分型面上贴上0.3mm厚的油纸(检查完后撕下)时,是不会接通锁模升压微型开关的。然后调整好模具闭合时的限位开关。

7) 调整锁模力。锁模力要根据注射压力和制品投影面积而定,要认真核查,防止出现不必要的高压。在保证制品质量的前提下,应将锁模力调到所需要的最小值,这样一方面可节省电能,另一方面有利于延长设备及模具的使用寿命。

8) 调节开闭模运动的速度及压力。在一般情况下,快速运动用高压;慢速闭模和开模用低压。调节时,首先把速度调整到预选值,然后再调整压力。

1.6 注射机的操作与安全生产

1.6.1 注射机工作程序

注射成型是一个循环的过程,每一周期主要包括:喷嘴前进→注射→保压→预塑→倒缩→喷嘴后退→冷却→开模→顶出→退针→开门→关门→合模→喷嘴前进,然后进行下一个循环。

1.6.2 注射机操作项目

注射机操作项目包括控制键盘操作、电器控制柜操作和液压系统操作三个方面。分别进行注射过程动作、加料动作、注射压力、注射速度、顶出形式的选择,机筒各段温度及电流、电压的监控,注射压力和背压压力的调节等。

1. 注射过程动作选择

一般注射机都有四个动作档次,即点动、手动、半自动和全自动操作。

(1) 点动操作 也称调整操作。注射机各部位的工作运动,是在按住相应的

按钮开关时才能慢速动作, 放开按钮, 动作停止。点动操作是在换模、调整各个动作之间的配合及维修拆卸螺杆时应用。

(2) 手动操作 手动操作是在一个生产周期中, 每一个动作都是由操作者按动操作开关而实现的。一般在试机、调模时才选用。

(3) 半自动操作 半自动操作时机器可以自动完成一个工作周期的动作, 但每一个生产周期完毕后操作者必须拉开安全门, 取下工件, 再关上安全门, 机器可以继续下一个周期的生产。

(4) 全自动操作 全自动操作时注射机在完成一个工作周期的动作后, 可自动进入下一个工作周期。在正常的连续工作过程中无须停机进行控制和调整。在全自动工作条件下, 须注意以下几点: ① 中途不要打开安全门, 否则全自动操作中断; ② 要及时加料; ③ 若选用电眼感应, 应注意不要遮蔽了电眼。

实际上, 在全自动操作中通常也是需要中途临时停机的, 如给模具喷射脱模剂等。

正常生产时, 一般选用半自动或全自动操作。操作开始时, 应根据生产需要选择操作方式, 如手动、半自动或全自动, 并相应拨动手动、半自动或全自动开关。

半自动及全自动的工作程序已由线路本身确定好, 操作人员只需在电柜面上更改速度和压力的大小、时间的长短、顶针的次数等, 不会因操作者调错键钮而使工作程序出现混乱。

当一个周期中各个动作未调整妥当之前, 应先选择手动操作, 确认每个动作正常之后, 再选择半自动或全自动操作。

2. 预塑动作选择

根据预塑加料前后注射座是否后退, 即喷嘴是否离开模具, 注射机一般设有三种加料方式。

(1) 固定加料 指机器在各个工作循环中, 喷嘴始终同模具接触, 也就是注射座固定不动地预塑物料。这种方式比较适合于加工温度较宽的通用塑料, 如 PS 等塑料。其特点是可缩短循环周期, 从而提高生产率。

(2) 前加料 喷嘴顶着模具进行预塑加料, 预塑完毕, 注射座后退, 喷嘴离开模具。这种方式主要用在使用直通式喷嘴或需要较高背压进行塑化的场合, 以减少喷嘴的流延现象, 预塑后可以避免喷嘴和模具长时间接触而产生热量传递, 影响它们各自温度的相对稳定。常用于注射 PA、PC 等塑料。

(3) 后加料 注射完成后, 注射座后退, 喷嘴离开模具, 然后预塑。这种方式使喷嘴与冷的模具接触时间最短, 避免了热量的流失, 也避免了熔体在喷嘴孔内的凝固, 故适用于加工结晶型塑料, 如 PE、PP 等。

注射结束、冷却计时器计时完毕后, 预塑动作开始。螺杆旋转将塑料熔融并挤送到螺杆头前面。由于螺杆前端的止逆环所起的单向阀的作用, 熔融塑料积存在机筒的前端, 螺杆将向后退。当螺杆退到预定的位置时 (此位置由行程开关确定, 控

制螺杆后退的距离,实现定量加料),预塑停止,螺杆停止转动。紧接着是倒缩动作,即螺杆作微量的轴向后退,此动作可使聚集在喷嘴处的熔体的压力得以解除,克服由于机筒内外压力不平衡而引起的流延现象。当螺杆作倒缩动作后退到压上停止开关时,倒缩停止。接着注射座开始后退,当注射座后退至压上停止开关时,后退停止。若不需要倒缩,则应把倒缩停止开关调到适当位置,当预塑停止开关被压上的同一时刻,倒缩停止开关也被压上。

一般生产多采用固定加料方式,以节省注射座进退操作时间,加快生产周期。

3. 注射压力选择

注射机的注射压力由调压阀进行调节,通过高压和低压油路的通断,控制前后期注射压力的高低。

普通中型以上的注射机设置有三种压力选择,即高压、低压和先高压后低压。高压注射是由注射液压缸通入高压压力油来实现的。由于压力高,塑料从一开始就在高压、高速状态下进入模具型腔。高压注射时塑料充模迅速,注射液压缸压力表读数上升很快。低压注射是由注射液压缸通入低压压力油来实现的,注射过程压力表读数上升缓慢,塑料在低压、低速下进入模具型腔。先高压后低压是根据塑料种类和模具的实际要求从时间上来控制通入液压缸压力油的压力高低来实现的。

为了满足不同塑料要求有不同的注射压力,也可以采用更换不同直径的螺杆或柱塞的方法,这样既满足了注射压力,又充分发挥了机器的生产能力。在大型注射机中往往具有多段注射压力和多级注射速度控制功能,这样更能保证制品的质量和精度。

4. 注射速度的选择

一般注射机控制板上都有快速-慢速旋钮用来满足注射速度的要求。在液压系统中设有一个大流量液压泵和一个小流量液压泵同时运行供油。当油路接通大流量液压泵时,注射机实现快速开合模、快速注射等;当液压油路只提供小流量时,注射机各种动作就缓慢进行。

5. 顶出形式的选择

注射机顶出形式有机械顶出和液压顶出两种,有的还配有气动顶出系统。顶出次数设有单次和多次两种。顶出动作可以是手动,也可以是自动。

顶出动作是由开模停止限位开关来启动的。操作者可根据需要,通过调节控制柜上的顶出时间按钮来达到。顶出的速度和压力也可通过控制柜面上的开关来控制,顶针运动的前后距离由行程开关确定。

6. 温度控制

以测温热电偶为测温元件,配以测温毫伏计成为控温装置,指挥机筒和模具电热圈电流的通断,有选择地固定机筒各段温度和模具温度。

机筒电热圈一般分为二段、三段或四段控制。电器柜上的电流表分别显示各段电热圈电流的大小。电流表的读数是比较固定的,如果在运行中发现电流表读数长

时间偏低,则可能电热圈发生了故障,或导线接触不良,或电热丝氧化变细,或某个电热圈烧毁,这些都将使电路并联的电阻阻值增大而使电流下降。

在电流表有一定读数时也可以简单地用塑料条逐个在电热圈外壁上抹划,看料条熔融与否来判断某个电热圈是否通电或烧毁。

7. 合模控制

合模是以巨大的机械推力将模具合紧,以抵挡注射过程中熔融塑料的高压注射及填充模具而令模具发生的巨大张开力。

关好安全门,各行程开关均给出信号,合模动作立即开始。首先是动模板以慢速启动,前进一小段距离以后,原来压住慢速开关的控制杆压块脱离,活动板快速向前推进,在前进至靠近合模终点时,控制杆的另一端压杆又压上慢速开关,此时活动板又以慢速且以低压前进。在低压合模过程中,如果模具之间没有任何障碍,则可以顺利合拢至压上高压开关,转高压是为了伸直连杆从而完成合模动作。这段距离极短,一般只有 0.3 ~ 1.0mm,刚转高压旋即就触及合模终止限位开关,这时动作停止,合模过程结束。

注射机的合模结构有全液压式和机械连杆式。不管是哪一种结构形式,最后都是由连杆完全伸直来实施锁模力的。连杆的伸直过程是活动板和尾板撑开的过程,也是四根拉杆受力被拉伸的过程。

锁模力的大小,可以从合紧模的瞬间液压表升起的最高值得知,锁模力大则液压表的最高值高,反之则低。小型注射机不带合模液压表,这时要根据连杆的伸直情况来判断模具是否真的合紧。如果某台注射机合模时连杆很轻松地伸直,或“差一点点”未能伸直,或几副连杆中有一副未完全伸直,注射时就会出现胀模,制品就会出现飞边或其他毛病。

8. 开模控制

当熔融塑料注入模具型腔及至冷却完成后,接着便是开模动作,取出制品。开模过程也分三个阶段,第一阶段慢速开模,防止制品在型腔内被撕裂;第二阶段快速开模,以缩短开模时间;第三阶段慢速开模,以降低开模惯性造成的冲击及振动。

1.6.3 注射工艺条件的控制

目前,各注射机厂家开发出了各式各样的程序控制方式,大致有:注射速度控制、注射压力控制、注入型腔内塑料充填量的控制、螺杆的背压和转速等状态的控制。实现工艺过程控制的目的是提高制品质量,使机器的效能得到最大限度的发挥。

1. 注射速度的程序控制

注射速度的程序控制是将螺杆的注射行程分为 3 ~ 4 个阶段,在每个阶段中分别使用各自适当的注射速度。例如在熔融塑料刚开始通过浇口时减慢注射速度,在

充模过程中采用高速注射，在充模结束时减慢速度。采用这样的方法，可以防止溢料，消除流痕和减少制品的残余应力等。

低速充模时流速平稳，制品尺寸比较稳定，波动较小，制品内应力低，制品内外各向应力趋于一致（例如将某聚碳酸酯制品浸入四氯化碳中，用高速注射成型的制品有开裂倾向，低速的不开裂）。在较为缓慢的充模条件下，料流的温差，特别是浇口前后料的温差大，有助于避免缩孔和凹陷的发生。但由于充模时间延续较长，容易使制品出现分层和结合不良的熔接痕，不但影响外观，而且使力学强度大大降低。

高速注射时，料流速度快，当高速充模顺利时，熔体很快充满型腔，料温下降得少，粘度下降得也少，可以采用较低的注射压力，是一种热料充模态势。高速充模能改进制品的光泽度和平滑度，消除了接缝现象及分层现象，收缩凹陷小，颜色均匀一致，制品较丰满，但容易产生制品发胖起泡或制品发黄，甚至烧伤变焦，或造成脱模困难，或出现充模不均的现象。对于高粘度塑料有可能导致熔体破裂，使制品表面产生云雾斑。

下列情况可以考虑采用高速高压注射：

1) 塑料粘度高，冷却速度快，流程长，采用低压慢速注射不能完全充满型腔各个角落的制品。

2) 壁厚太薄的制品，熔体到达薄壁处易冷凝而滞留，必须采用一次高速注射，使熔体能量在大量消耗以前立即进入型腔。

3) 用玻璃纤维增强的塑料，或含有较大量填充材料的塑料，因流动性差，为了得到表面光滑而均匀的制品，必须采用高速高压注射。

对高级精密制品、厚壁制品、壁厚变化大和具有较厚凸缘和筋的制品，最好采用多级注射，如二级、三级、四级甚至五级。

2. 注射压力的程序控制

通常将注射压力的控制分为一次注射压力、二次注射压力（保压）或三次以上注射压力的控制。压力切换时机是否适当，对于防止模内压力过高，防止溢料或缺料等都是非常重要的。注射制品的比体积取决于保压阶段浇口封闭时的熔体压力和温度。如果每次从保压切换到制品冷却阶段的压力和温度一致，那么制品的比体积就不会发生改变。在恒定的模塑温度下，决定制品尺寸的最重要参数是保压压力，影响制品尺寸公差的最重要变量是保压压力和温度。例如在充模结束后，保压压力立即降低，当表层形成一定厚度时，保压压力再上升，这样可以采用低锁模力成型厚壁的大制品，消除塌坑和飞边。

保压压力通常是塑料充填型腔时最高压力的 50% ~ 65%，即保压压力比注射压力低，因此在保压时间内液压泵的负荷低，故液压泵的使用寿命得以延长，同时液压泵电动机的耗电量也降低了。

三级压力注射既能使制品顺利充模，又不会出现熔接线、凹陷、飞边和翘曲变形，对于薄壁制品、多头小件、长流程大型制品的注射成型，甚至型腔配置不太均

衡及合模不太紧密的制品的注射成型都有好处。

3. 注入型腔内塑料填充量的程序控制

预先调节好一定的预塑量,使得在注射行程的终点附近,螺杆端部仍残留有少量的熔体(缓冲量),根据模内的填充情况进一步施加注射压力(二次或三次),补充少许熔体。这样可以防止制品凹陷或调节制品的收缩率。

4. 螺杆背压和转速的程序控制

高背压可以使熔体获得强剪切,低转速也会使塑料在机筒内得到较长的塑化时间,因而目前较多地使用了对背压和转速同时进行程序设计的控制。例如在螺杆计量全程先高转速、低背压,再切换到较低转速、较高背压,然后切换成高背压、低转速,最后再低背压、低转速下进行塑化,这样,螺杆前部熔体的压力得到大部分的释放,减少螺杆的转动惯量,从而提高了螺杆计量的精确程度。过高的背压往往造成着色剂变色程度增大;预塑机构的机械磨损增大;预塑周期延长,生产效率下降;喷嘴容易发生流延,再生料量增加;即使采用自锁式喷嘴,如果背压高于设计的弹簧闭锁压力,亦会造成疲劳破坏,所以背压压力一定要调得恰当。

1.6.4 注射机的操作规程

作为一名注射机操作工,认真执行生产操作程序是生产设备及个人工作安全的需要,是保证产品质量的必要手段。执行操作中的各项程序要求,就是对生产设备最好的维护保养,所以,操作工要熟记注射机的生产操作程序内容,工作时必须认真执行操作规程。

(1) 生产前的准备工作

1) 清理生产设备四周环境,不许存放任何与生产无关的物品。

2) 对生产设备进行一次清洁卫生工作,各部位不应有油污及各种污物,注射座移动导轨和合模部分拉杆一定要清洁如新,然后涂好润滑油,同时要清扫控制箱上的通风过滤网,保证通风良好。使用工具清洁后要摆放整齐。

3) 检查各部位的安全保护装置是否完好。检查试验紧急停车,各种安全防护报警是否能准确工作。安全门应滑动灵活,开与关位置应与限位开关正确接触等。

4) 检查各部位螺钉、螺母是否有松动,应确保各零件间的牢固结合。

5) 检查各控制开关、按钮及手柄等有无损坏,操作应灵活。各开关应在“断开”位置。

6) 检查液压系统的油箱、油量应在油标最高位置。同时清洗油箱中的液压过滤网、通风孔过滤网。

7) 检查冷却水管路,查看水流是否通畅。

8) 核实生产用料与工艺条件要求的螺杆结构形式和喷嘴结构形式是否相符。

9) 检测原料质量及水分含量,如超标应进行干燥处理。

10) 查看料斗内是否有异物,料斗上方不许存放任何物品。

11) 擦净模板工作面,按有关方法安装固定模具。模具在安装前应清洗油污,检测衬套口径与模板定位孔直径尺寸是否相符,以保证准确的中心对位。

(2) 注射机开车

1) 控制箱总开关合闸。

2) 机筒、喷嘴和模具合闸升温,达到工艺温度时恒温 1 ~ 2h,以确保各部位温度均匀。

3) 用水银温度计实测机筒温度,校准控制箱上仪表显示温度误差。

4) 把操作方式调整至手动位置。

5) 点车启动螺杆转动,查看螺杆转动声响有无异常。

6) 低速启动螺杆转动,如一切正常时开始加料,直至喷嘴口挤出熔体。

7) 手动操作对空注射熔体,查看熔融料塑化质量,根据塑化状况适当调整螺杆背压,直至原料塑化均匀、光泽发亮为准。

8) 合模。

9) 注射座前移,喷嘴与模具衬套口圆弧严密接触,注射制品。检查制品质量,根据制品中存在的问题,适当调整注射压力、保压时间及锁模力,直至制品质量合格。

10) 调整操作方式至半自动位置,关闭安全门,开始正常生产。生产过程中,操作工要经常检查液压系统的油温,以不超过 55℃ 为准,如温度过高,应适当加大冷却水流量。同时还要仔细查看曲柄连杆和注射座移动导轨润滑情况。

(3) 交接班工作要点

1) 交班操作工应做好本班生产工作记录,写明本班设备运转工作情况,发生过什么样的设备故障,如何排除,设备还存在什么异常现象,通知下班注意。

2) 接班操作工应先阅读交接班记录,与上班交流一些有关生产及设备工作情况。

3) 接班操作工应检查各润滑点润滑油量及润滑部位工作情况,酌情加注润滑油。

4) 查看液压系统油温,应不超过 55℃;查看油箱油量不得低于油标高度。

5) 查看曲柄连杆、拉杆及注射座导轨部位润滑情况,要保证充分润滑。

6) 查看安全报警装置是否完好。

7) 清点专用工具,摆放整齐。

(4) 停止生产时工作要点

1) 把操作方式调整至手动位置。

2) 料斗停止为机筒供料。

3) 手动操作、对空注射。注射-预塑反复动作数次,直至喷嘴无熔体流出。

4) 清洗机筒。降低螺杆转速,根据机筒内塑料品种类别清洗机筒。

5) 关闭冷却水,把各开关旋至“断开”位置。

6) 拆卸喷嘴及与机筒连接部分,用专用工具拆卸螺杆,立即用铜刷或铜质刀、铲清除喷嘴与螺杆上的粘料。

7) 关闭电源。

8) 喷嘴、螺杆清理后涂防护油。螺杆涂油后应包好,吊挂在安全通风处。

1.6.5 生产中的安全与保护措施

注射机是在高压高速下工作的,自动化水平较高,为了保证注射机安全可靠地运转,保护电器、模具和人身安全,在注射机上设置了一些安全保护措施。

1. 人身安全与保护措施

在注射机的操作过程中,保证操作人员的人身安全是十分重要的。造成人身不安全的主要因素有:安装模具、取出制品及放置嵌件时的压伤;加热机筒的灼伤;对空注射时被熔体烫伤;合模机构运动中的挤伤等。为了保证操作人员的安全,设置了安全门。安全门的保护措施有机械、液压、电气三种形式。除了电气保护外,在合模的换向回路中增加一个凸轮换向阀,当安全门打开压下凸轮时,控制油路与回油路接通,合模用的电液换向阀仍处于中间停止位置,这样即使电气保护失灵,若安全门未关上,合模机构也不能实现合模动作。

另外,在合模系统的曲柄运动部分,还设有防护罩,在靠近操作人员的显著部位设有红色紧急停机按钮,以便紧急事故发生时能迅速停机。

2. 模具安全与保护措施

模具是注射制品的主要部件,其结构形状和制造工艺都很复杂,精度高,价格也相当昂贵。随着自动化和精密注射机的发展,模具的安全保护也得到了重视。现代注射机通常都可以进行全自动生产,模具在开、闭过程中,不仅速度要有变化,而且当模内留有制品或残留物以及嵌件的安放位置不正确时,模具是不允许在闭合中升压锁紧的,以免损伤模具。目前对模具的安全保护措施是采用低压试合模,即采用将合模压力分为二级控制,在移模时为低压,其推力仅能推动动模板运动,当模具完全贴合后,才能升压锁紧达到所需的锁模力。

3. 设备安全与保护措施

注射机在成型过程中往往会出现一些非正常的情况,造成故障,甚至损坏设备,因此必须设置一些相应的防护措施,如液压式合模系统的超行程保护,螺杆式注射系统的螺杆过载保护,液压系统和润滑系统故障指示和报警,注射机动作程序的联锁和保护等。

4. 液压、电气部分安全与保护措施

液压、电气部分是对注射机进行控制和提供动力的。注射机工作时,它们发生故障就会使操作失灵或产生误动作。因此,注射机上一般都设有故障指示和报警装置,如过载继电器,联锁式电路,电路中的过流继电器、过热继电器,液压油温上、下限报警装置,液压溢流阀等。

第2章 注射成型制品与模具设计

2.1 注射制品设计

制品设计是生产优良制品的首要步骤，它是在对制品形状、结构和使用性能科学预测和判定的前提下，通过正确选用高分子材料，制定出一套完整的制品制造过程的实施方案和程序。塑料制品的设计是否先进合理，要从实用性、工艺性、经济性等多方面综合评价。

2.1.1 制品设计的基本原则

在设计塑料制品时，一定要注意参考制品用原料的特性和注射成型设备及工艺条件的合理性。在按制品的工作条件需要设计结构和决定各部位形状尺寸时，不仅要考虑到塑料制品注射成型时的可行性，同时也要注意注射制品用成型模具设计、制造的可行性及经济性。最后把这些条件综合在一起，结合各项经济指标，找出较为合理的制品结构设计方案。具体设计时必须遵循的原则如下：

- 1) 在满足使用要求的前提下，制品的结构形状尽量简单，节省原料，使用方便，同时，也应注意制品的造型艺术性，尽一切可能降低制品的制造费用。
- 2) 制品用原料的选择，要根据制品的工作强度和工作环境的需要，按原料的物理、力学性能，如强度、刚度、韧性、吸湿性以及对应力的敏感性等条件比较后进行选择。
- 3) 要注意原料在注射成型中的工艺特点，即原料塑化熔融后的流动性、结晶速率对温度及压力的敏感性及制品凝固后的成型收缩率等。
- 4) 制品结构、形状、尺寸的选择，要有利于简化模具结构，使模具的组成零件尽量减少，且结构简单、容易制造。
- 5) 制品形状应有利于充模流动、排气、补缩，同时能适应高效冷却硬化（热塑性塑料）或快速受热固化（热固性塑料）。
- 6) 对外观要求较高的制品，应先通过造型，而后逐步绘制图样。

2.1.2 制品设计的一般程序

恰当的设计程序是完成塑料制品正确设计的首要条件。由于塑料品种的复杂性、成型工艺的多样性、不同应用领域的特殊性，塑料制品的设计不可能采用统一的设计程序模式。图 2-1 所示为制品设计的一般程序。

其简要说明如下：

(1) 根据制品的使用目的和用途，确定制品应具备的性能特点、载荷条件、环境条件、适用标准、成本限制等。这是至关重要的一环。对于零部件，还应考虑与其他组装件之间的内在联系及在整个产品中的地位与影响。同时应做好数据收集（包括塑料原料的性能数据、成型加工工艺的相关数据、应用数据等）工作，并制定质量要求、预测需求和市场前景等文件。

(2) 形状造型设计 主要考虑制品的功能、刚度、强度和成型工艺等，力求做到形状对称、造型轻巧、结构紧凑。

(3) 合理选材 根据制品用途对材料性能要求和成型加工特点来选择多种候选材料，试制出样品，经性能测试，收集用户使用意见后，通过分析比较，确定制品最终选用的材料。通常选择的材料并不是惟一的，而且每种材料各有优缺点，选材时应做到在满足制品性能要求的前提下，“扬长避短、合理使用”。必须注意，在选材时应考虑与成型加工工艺的相互适应性。

(4) 样品的初步设计 包括配方设计、工艺设计、结构设计和模具设计等，这三方面要同时并举，统筹考虑，并且要多方案考虑，以便在失败时有候补方案，继续试验，成功后可以对原料、工艺、成本、质量等多方面进行综合评价。

配方设计是根据制品的功能、用途、所处的环境和成型加工对性能的影响，并考虑成本因素，确定基体树脂与添加剂的品种、规格和配比以及混合料的制备技术，配制出符合性能要求的混合料。

工艺设计是在对多种成型工艺探讨、比较的基础上，确定制品的尺寸和精度、表面质量等，进而确定技术可行、经济合理的成型工艺条件。

结构设计和模具设计是按使用要求，利用已有的公式或计算机软件，对制品进行受力分析和结构设计，确定产品结构形状造型和模具设计，画出模具加工图，确定模具加工工艺条件。

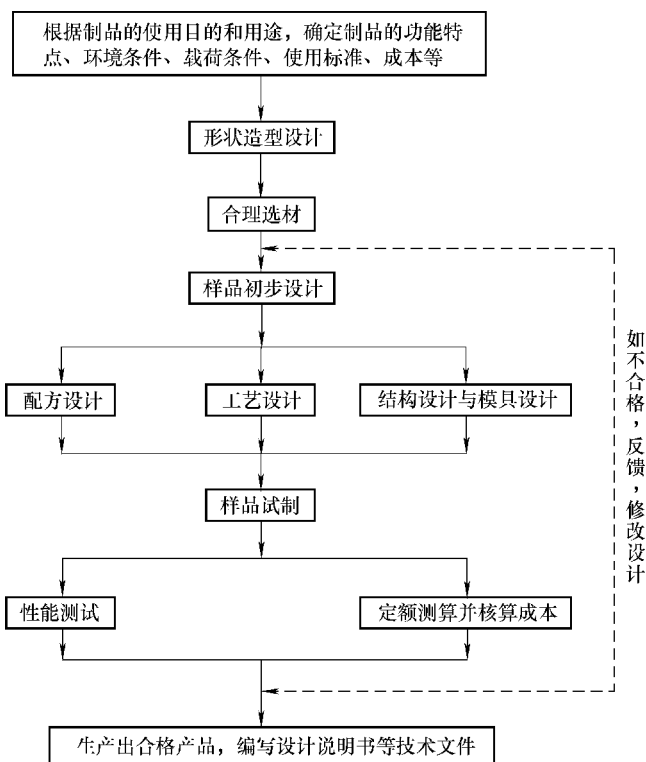


图 2-1 制品设计的一般程序

- (5) 样品试制 在初步设计的基础上，对试制样品作整体检验，通过试模，检验并分析样品的尺寸精度、粗糙度、成型时间，成型难易程度、设计的合理性和是否存在应力集中等，以获得多种不同方案的样品和工艺条件，供测试评价用。
- (6) 性能测试、定额测算及成本核算 由此确定技术质量指标、测算班（台）产量及原材料、水电煤的消耗定额、成品率，核定成本，得出理想的设计方案。如不符合制品要求，则返回重新调整设计方案，再试验，一直到符合要求为止。
- (7) 制品合格后，编制设计说明书及有关技术文件 包括原材料标准及检验方法、生产流程、工艺操作规程、制品的企业标准及检验方法、环保及三废处理、车间布置及配套设施等。

2.1.3 注射制品的工艺性设计

制品的工艺性设计主要包括尺寸、精度、表面质量等的设计。

1. 制品的尺寸

制品尺寸是指制品的总体尺寸。其大小主要取决于塑料熔体的流动性，在一定的设备和工艺条件下，流动性好的塑料可以成型较大尺寸的制品；反之，成型出的制品尺寸较小；另外，制品外形尺寸还受成型设备的限制（注射量、锁模力、工作台面等）。从能源、模具制造成本和成型工艺条件出发，在满足制品使用要求及安装要求的前提下，应尽量将制品设计得紧凑、尺寸小巧一些。

2. 制品的精度

制品的精度是指所获得的制品尺寸与产品图中设计尺寸的符合程度，即所获得制品尺寸的准确度。影响制品尺寸精度的因素很多，首先是模具的制造精度和模具的磨损程度，其次是塑料收缩率的波动以及成型时工艺条件的变化，制品成型后的时效变化和脱模斜度及模具的结构形状等。为降低模具制造成本和便于模具生产制造，在满足制品使用要求的前提下应尽量把制品尺寸精度设计得低一些。

制品的精度分为八个等级，其中1、2级为精密级，只有在特殊要求下使用，7、8级的精度太低，一般不用，常用的是3~6级，未注公差尺寸通常为8级精度。对孔类尺寸可以标正公差，而轴类尺寸可以标负公差，中心距尺寸可以存在正负公差，配合部分尺寸要高于非配合部分尺寸。常用塑料的公差等级推荐值见表2-1。

表 2-1 常用塑料的公差等级推荐值

塑料名称	高精度	一般精度	低精度
PS、ABS、PMMA、PC、聚砜、酚醛塑料、氨基塑料、玻璃纤维增强塑料	3	4	5
PA6、PA66、PA610、PA9、PA1010、PVC、氯化聚醚	4	5	6
PP、HDPE、POM	5	6	7
软质 PVC、LDPE	6	6	8

3. 制品的表面质量

塑料制品的表面质量包括表面粗糙度和表观质量。制品的表面粗糙度主要与模具型腔表面的粗糙度有关。目前,注射成型制品的表面粗糙度通常为 $Ra0.02 \sim 1.25\mu\text{m}$,型腔内壁的表面粗糙度应为制品的一半,取 $Ra0.01 \sim 0.63\mu\text{m}$ 。透明制品要求模具型腔与型芯的表面粗糙度要一致。

制品的表观质量指的是制品成型后的表观缺陷状态,常见的如缺料、溢料、飞边、凹陷、气孔、熔接痕、银纹、斑纹、翘曲与收缩、尺寸不稳定等,与制品成型工艺条件,制品成型原材料的选择,模具总体设计等多种因素有关。

2.1.4 注射制品的形状和结构设计

塑料注射制品的形状和结构设计的主要内容包括:制品形状、壁厚、斜度、加强筋、支承面、圆角、孔、螺纹、齿轮、嵌件、文字、符号及标记等。

1. 制品形状

制品的内外表面形状要尽量避免侧凹结构,以避免模具采用侧向分型和侧向抽芯机构,否则会因设置这些机构而使模具结构复杂,不但模具的制造成本增加,而且还会在制品上留下分型面线痕,增加了去除飞边的后加工工序。若有侧向凹凸时,在保证制品使用要求的前提下,适当改变制品的结构,以简化模具结构。以成型侧孔和凸凹结构为例,如图 2-2 和图 2-3 所示。图 2-2a 所示制品在取出模具前,必须先由抽芯机构抽出侧型芯,然后才能取出,模具结构复杂。图 2-2b 侧孔形式,无需侧向型芯,模具结构简单。

图 2-3a 所示制品的内侧有凸起,需采用由侧向抽芯机构驱动的组合式型芯,模具制造困难。图 2-3b 避免了组合式型芯,模具结构简单。

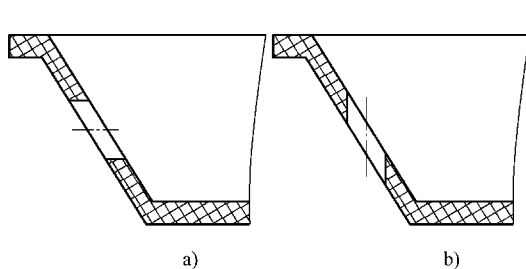


图 2-2 具有侧孔的制品

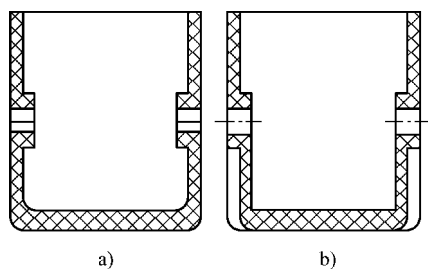


图 2-3 制品内侧表面形状改进

制品内侧凹较浅并允许带有圆角时,可以采取强制脱模的方法使制品从凸模上脱下,但此时制品在脱模温度下应具有足够的弹性,以保证制品在强制脱模时不会变形,例如 PE、PP、POM 等能适应这种情况。多数情况下制品的侧向凹凸不可能强制脱模,应采用侧向分型抽芯结构的模具。

2. 制品壁厚

在脱模时,壁厚承受着脱模推力,并且要满足使用时的强度和刚度要求,因

此, 制品应有一定的厚度。壁厚应设计合理, 壁厚太薄, 制品强度及刚度不足, 并且会增加塑料熔体充模时的流动阻力, 出现缺料现象; 壁厚太厚, 增加冷却时间, 降低生产率, 增加成本, 并且会在制品内部产生气泡, 外部产生凹陷。

制品壁厚的设计原则:

- 1) 满足制品结构和使用性能要求的条件下, 尽可能采用较小的壁厚。
- 2) 能承受推出机构等装置的冲击和振动。
- 3) 制品连接紧固处与嵌件埋入处等具有足够的厚度。
- 4) 保证贮存、搬运过程中强度所需的壁厚。
- 5) 满足成型时熔体充模所需的壁厚。

总之, 一般的原则就是能够利用最小的壁厚, 完成最终产品所需具备的功能。

制品的壁厚应尽量均匀, 壁与壁连接处的厚薄不应相差太大, 并且应尽量用圆弧过渡, 否则会造成制品各部分收缩不一致, 导致制品翘曲、缩孔、裂纹甚至开裂。壁厚设计的典型实例如图 2-4 所示。

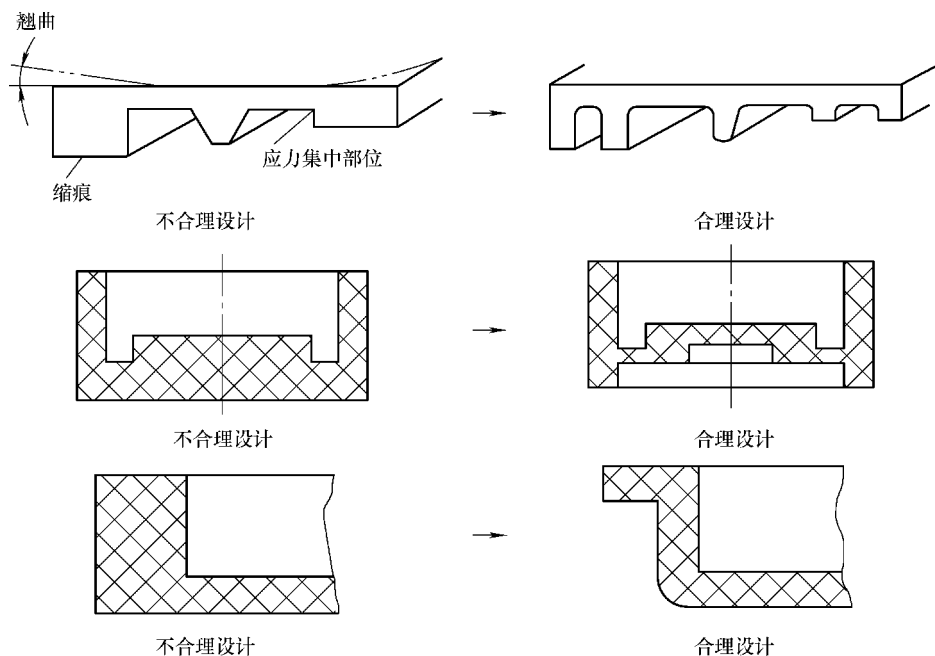


图 2-4 壁厚设计实例

热塑性塑料制品的壁厚常在 1 ~ 5mm 范围内选取, 大型制品的壁厚可达 8mm。热固性塑料制品的壁厚, 小件常在 1.5 ~ 2.5mm 范围内选取, 大件常在 3 ~ 10mm 范围内选取。精密制品的壁厚可以不受上述范围限制。

此外, 壁厚的取值范围还因选用的塑料品种而异, 流动性比较好的塑料, 如 PE、PP 和 PA 等, 壁厚可以薄一些, 一般制品可以小于 1mm, 甚至可达 0.6mm。

热塑性与热固性塑料制品壁厚常用值见表 2-2 和表 2-3。

表 2-2 热塑性塑料制品的最小壁厚和推荐壁厚

塑 料 品 种	制品流程 50mm 的最小壁厚/mm	一般制品壁厚/mm	大型制品壁厚/mm
聚酰胺 (PA)	0.45	1.75 ~ 2.60	2.4 ~ 3.2
聚乙烯 (PE)	0.60	2.25 ~ 2.60	2.4 ~ 3.2
聚苯乙烯 (PS)	0.75	2.25 ~ 2.60	3.2 ~ 5.4
改性聚苯乙烯	0.75	2.29 ~ 2.60	3.2 ~ 5.4
有机玻璃 (PMMA)	0.80	2.50 ~ 2.80	4.0 ~ 6.5
聚甲醛 (POM)	0.80	2.40 ~ 2.80	3.2 ~ 5.4
软聚氯乙烯 (SPVC)	0.85	2.25 ~ 2.50	2.4 ~ 3.2
聚丙烯 (PP)	0.85	2.45 ~ 2.75	2.4 ~ 3.2
氯化聚醚 (CPT)	0.85	2.35 ~ 2.80	2.5 ~ 3.4
聚碳酸酯 (PC)	0.95	2.60 ~ 2.80	3.0 ~ 4.5
硬聚氯乙烯 (HPVC)	1.15	2.60 ~ 2.80	3.2 ~ 5.8
聚苯醚 (PPO)	1.20	2.75 ~ 3.10	3.5 ~ 6.4

表 2-3 热固性塑料制品的壁厚

塑 料 品 种	壁厚/mm		
	制品外形高 < 50mm	制品外形高 50 ~ 100mm	制品外形高 > 100mm
粉状填料的酚醛塑料	0.7 ~ 2.0	2.0 ~ 3.0	5.0 ~ 6.5
纤维状填料的酚醛塑料	1.5 ~ 2.0	2.5 ~ 3.5	6.0 ~ 8.0
氨基塑料	1.0	1.3 ~ 2.0	3.0 ~ 4.0
玻璃纤维增强的聚酯塑料	1.0 ~ 2.0	2.4 ~ 3.2	>4.8
无机填料填充的聚酯塑料	1.0 ~ 2.0	3.2 ~ 4.8	>4.8

3. 脱模斜度

塑料制品冷却后产生收缩，会紧紧包在型芯上。另外，由于粘附作用，制品会紧贴 在凹模型腔内。为了便于脱模，防止制品表面在脱模时划伤、擦毛等，制品表面沿脱模 方向应具有合理的脱模斜度，如图 2-5 所示。

影响制品脱模斜度的因素有制品的性质、收缩率、摩擦因数、制品壁厚和几何形 状等，一般取 30' ~ 1°30'。

脱模斜度设计要点：

- 1) 制品精度高，采用较小的脱模斜度。
- 2) 制品高度较大、孔较深时，采用较小脱模斜度。
- 3) 成型孔较多或形状较复杂的制品，取较大的脱模斜度。
- 4) 硬质塑料比软质塑料脱模斜度大。
- 5) 增强塑料采用较大的脱模斜度。

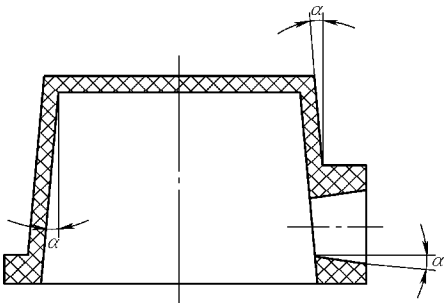


图 2-5 制品的脱模斜度

- 6) 壁厚增加, 内孔对型芯的包紧力大, 脱模斜度应大些。
 - 7) 收缩率大, 脱模斜度加大。
 - 8) 含润滑剂的塑料采用较小脱模斜度。
 - 9) 从留模方位考虑, 留在型芯, 内表面脱模斜度 $<$ 外表面脱模斜度; 留在型腔, 外表面脱模斜度 $<$ 内表面脱模斜度。
- 常见塑料制品的脱模斜度见表 2-4。

表 2-4 常见塑料制品的脱模斜度

制 品 材 料	脱 模 斜 度	
	制品外表面	制品内表面
PE	20' ~ 45'	25' ~ 45'
PS	35' ~ 1°30'	30' ~ 1°
PMMA	35' ~ 1°30'	30' ~ 1°
ABS	40' ~ 1°20'	35' ~ 1°
PA (通用)	20' ~ 40'	25' ~ 40'
PA (增强)	20' ~ 50'	20' ~ 40'
PC	35' ~ 1°	30' ~ 50'

4. 加强筋

加强筋的主要作用是增加制品的强度和刚度，避免制品翘曲变形，而不增加壁厚。合理布置加强筋还起到改善充模流动性，减少内应力，避免气孔、缩孔和凹陷等缺陷的作用。

加强筋的厚度应小于制品壁厚，并与壁圆弧过渡，如图 2-6 所示。若 t 为制品壁厚，则：加强筋高度 $L = 3A \sim 3t$ ，筋条宽 $A = (0.5 \sim 0.7)t$ ，筋根过渡圆角 $R = t/4$ ，收缩角 $\alpha = 2^\circ \sim 5^\circ$ ，筋端部圆角 $r = t/8$ 。当 $t \leq 2\text{mm}$ ，取 $A = t$ 。加强筋端部不应与制品支承面平齐，而应缩进 0.5mm 以上，如图 2-7 所示。平板类零件加强筋方向应与料流方向平行，如图 2-8 所示。

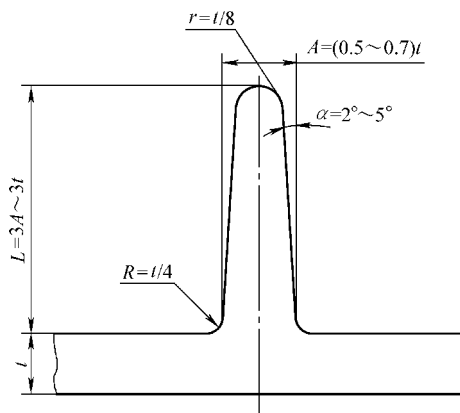
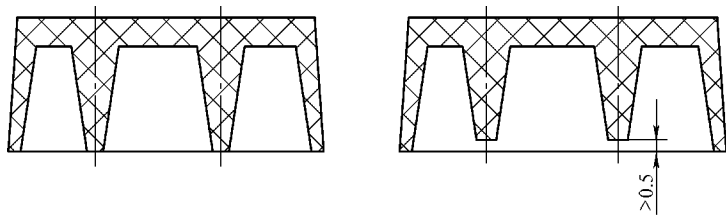
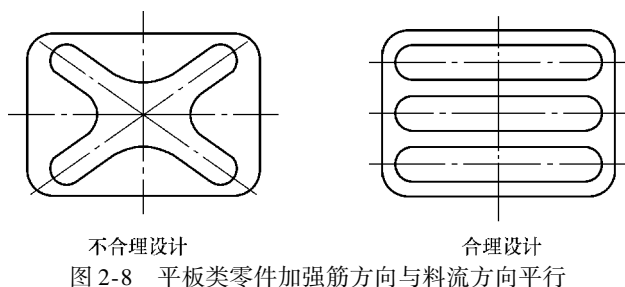


图 2-6 加强筋尺寸设计



不合理设计 合理设计

图 2-7 加强筋与支承面间留有间隙



5. 支承面与凸台

制品的支承面应充分保证其稳定性，不宜以制品的整个底面作支承面，因为制品稍有翘曲或变形就会使底面不平，通常采用凸缘或凸台作为支承面，如图 2-9 所示。

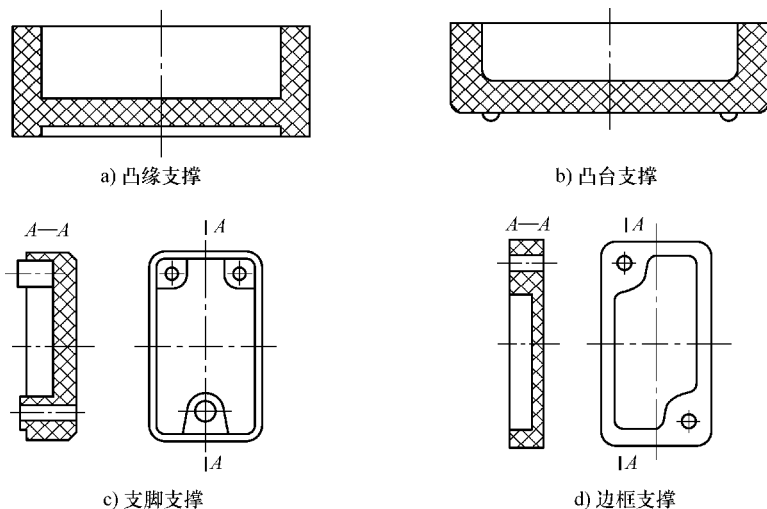


图 2-9 支承面结构形式

凸台是用来增强孔或装配附件的凸出部分，应当尽可能位于边角部位，其几何尺寸较小，高度不应超过其直径的两倍，并具有足够的脱模斜度。设计固定用的凸台时，除应保证有足够的强度以承受紧固时的作用力外，在转折处还不应有突变，连接面应局部接触。图 2-10 所示为凸台设计实例。

6. 圆角

对于制品来说，除使用要求需要采用尖角之外，其余所有内外表面转弯处都应尽可能设计成圆角，或者采用圆角

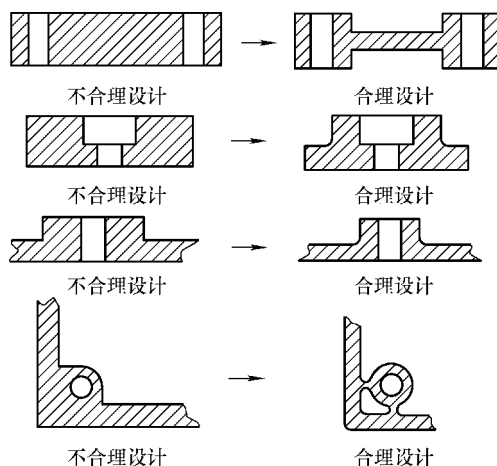


图 2-10 凸台设计实例

过渡，以避免应力集中，增加制品强度，提高熔体在型腔中的流动性。圆角过渡有利于充模和脱模，同时也有利于模具的制造和提高模具强度。但是采用圆角会使钳工劳动量增大，使模具型腔加工复杂化。

圆角半径的大小主要取决于制品的壁厚，通常内壁圆角半径应是壁厚的一半，而外壁圆角半径可为壁厚的 1.5 倍，如图 2-11 所示。一般圆角半径应大于 0.5mm；壁厚不等的转角可按平均壁厚确定内、外圆角半径；理想的内圆角半径应为壁厚的 1/3 以上。

7. 孔的设计

制品上的孔通常有盲孔、通孔、异形孔（形状复杂的孔，如层次孔、多层次孔、交错孔等），如图 2-12 所示。理论上讲，这些孔均能用一定的型芯成型。

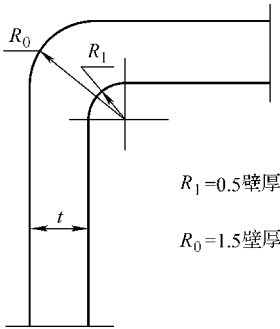


图 2-11 圆角设计

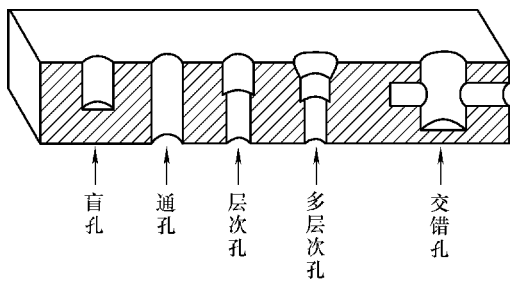


图 2-12 孔的类型

孔与孔边缘之间的距离至少要和孔径相等。成型大多数热塑性塑料制品时，孔的设计如图 2-13 所示，热固性塑料制品孔间距、孔边距与孔径的关系见表 2-5。

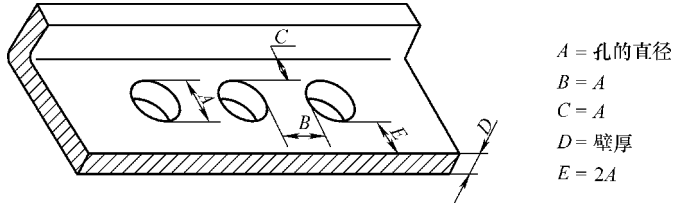


图 2-13 热塑性塑料制品孔的设计

表 2-5 热固性塑料制品孔间距、孔边距与孔径的关系

孔径 d	<1.5	1.5 ~ 3	3 ~ 6	6 ~ 10	10 ~ 18	18 ~ 30
孔间距、孔边距 b	1 ~ 1.5	1.5 ~ 2	2 ~ 3	3 ~ 4	4 ~ 5	5 ~ 7

盲孔只能用一端固定的型芯来成型，为防止型芯弯曲，孔深不宜太大，通常注射成型时，孔深应不超过孔径的 4 倍，底部的壁厚至少要为孔径的 1/6，否则制品会膨胀变形，如图 2-14 所示。盲孔的深度和直径的关系见表 2-6。

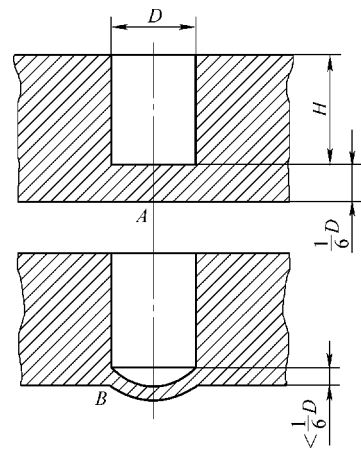


图 2-14 盲孔的尺寸标注

表 2-6 盲孔的深度和直径的关系

直径 D/mm	深度 H/mm
< 1.5	$2D$
$1.5 \sim 5.0$	$3D$
$5.0 \sim 10.0$	$4D$

异形孔设计如图 2-15 所示。

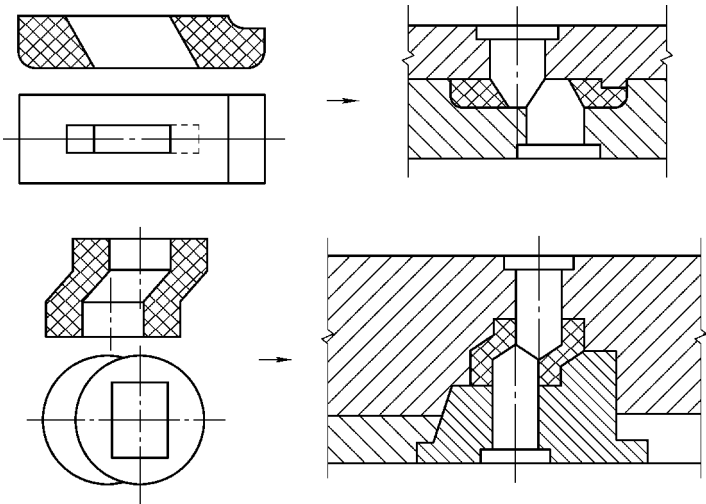


图 2-15 异形孔设计实例

8. 嵌件设计

嵌件是指制品内部镶嵌的金属、玻璃、木材、纤维、橡胶或已成型的制品，金

属是常用的嵌件材料。使用嵌件可提高制品的强度，满足制品导电、导磁、耐磨和装配连接等特定的要求。另一方面，嵌件的设置往往增加模具结构的复杂性，延长成型周期，增加制造成本，并且不易实现自动化生产。嵌件形式繁多，如图 2-16 所示。

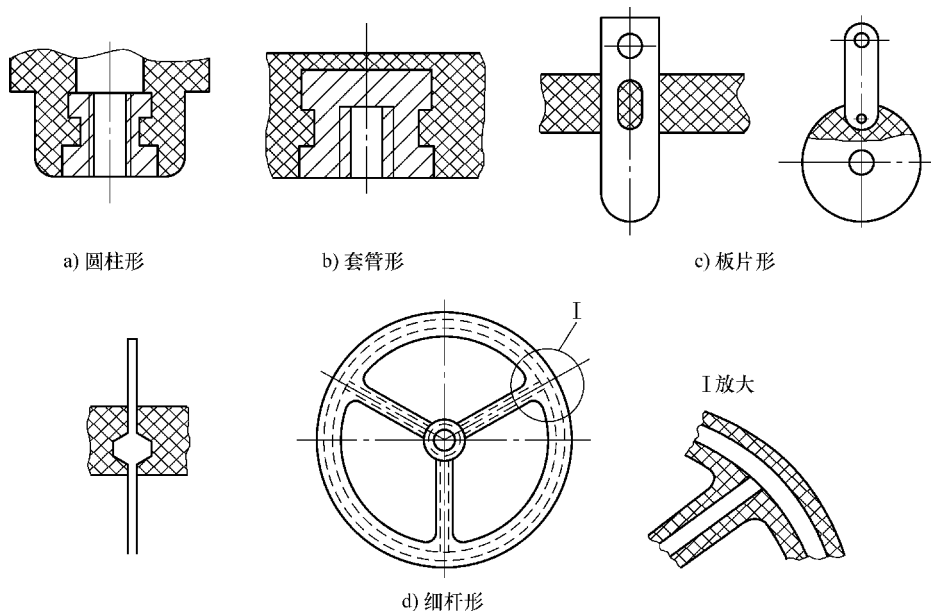


图 2-16 嵌件形式

对带有嵌件的制品，通常先设计嵌件，然后再设计制品。由于金属与制品冷却时的收缩率相差较大，使嵌件周围的塑料存在很大的内应力，设计不当会造成制品的开裂，所以应优先选用与塑料收缩率相近的金属嵌件，或保证嵌件周围的塑料层有足够的厚度。为避免出现鼓泡或裂纹，嵌件顶部的塑料也应有足够的厚度。嵌件不应带有尖角，以减少应力集中度。大嵌件要进行预热，使其温度达到接近塑料熔体的温度。嵌件上尽量不要有穿通的孔以免塑料挤入孔内。

嵌件的形状应保证嵌件与制品之间具有牢固的连接以防受力脱出，并满足成型要求。成型时要将嵌件先放在模具中固定，然后注入塑料熔体固化成型，但首先必须对嵌件进行可靠的定位，保证其尺寸精度。

当嵌件为细长杆状或嵌件太长时，为防止嵌件弯曲应在模具内设支柱。成型时为了使嵌件在塑料内牢固地固定，嵌件表面可加工成沟槽、滚花或制成各种特殊形状。

9. 螺纹的设计

不管是外螺纹还是内螺纹，都可在模腔内成型，避免利用机械加工造成的麻烦。内、外螺纹的基本规格设计如图 2-17 所示。螺纹的始末端应有一定的过渡长

度 L ，以提高强度，防止最外圈的螺纹崩裂或变形。过渡长度 L 的值可按表 2-7 选取。为了导向和防止螺纹的第一扣崩裂，两端留有无螺纹区，其长度分别为大于 0.2mm 和 0.2 ~ 0.8mm。当同一轴线上有多段螺纹时，应使两段螺纹旋转方向相同，螺距相等。

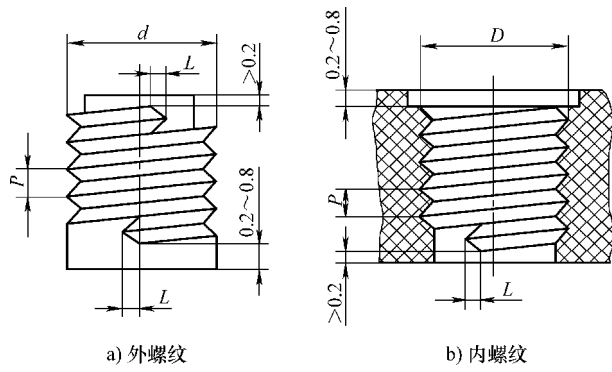


图 2-17 螺纹的基本规格设计

表 2-7 螺纹始末端过渡长度值

螺纹直径/mm	始末端过渡长度 L /mm		
	螺距 $P \leq 1\text{mm}$	螺距 P 为 1 ~ 2mm	螺距 $P > 2\text{mm}$
< 10	2	3	4
10 ~ 20	3	4	5
20 ~ 30	4	6	8
30 ~ 40	6	8	10

10. 齿轮设计

塑料齿轮用于精度及强度不太高的传动系统，其噪声低，自润滑性好。塑料齿轮的基本形状如图 2-18 所示。设计塑料齿轮时应避免在成型、装配和使用产生内应力或应力集中，避免收缩不均而变形。因此塑料齿轮要尽量避免截面突变，应以较大圆弧进行转角过渡，宜采用过渡配合和用非圆孔连接（如图 2-19 所示），不应采用过盈配合和键连接。

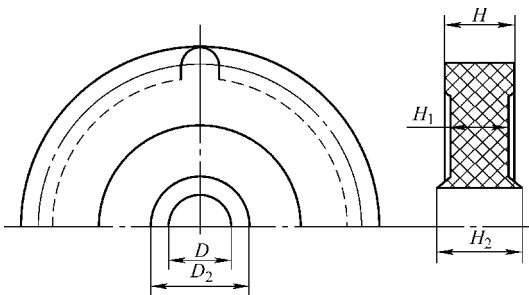


图 2-18 塑料齿轮的基本形状

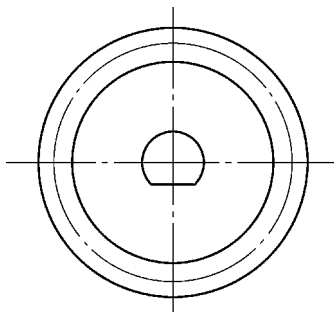


图 2-19 塑料齿轮与轴的装配

11. 标记符号

为满足装潢或某些特殊要求，有时需要制品上带有文字或图案等标记符号。标记符号应放在分型面的平行方向上，并有适当的脱模斜度。

12. 表面彩饰

制品的表面彩饰，增加了产品外观的美感，同时可以掩盖制品表面在成型过程中产生的疵点、银纹等缺陷。表面彩饰常用凹槽纹、皮革纹、菱形纹、芦饰纹、木纹、水果皮纹等。目前常用的表面彩饰方法有彩印、胶印、丝印、喷镀漆等。

2.2 注射模具设计

塑料注射成型所用的模具称为注射成型模具，简称注射模具（或注射模）。

2.2.1 注射模具的分类

注射模具的分类方法很多，通常的注射模具分类方法见表 2-8。按注射模具的总体结构特征分为七大类，见表 2-9。

表 2-8 注射模具的一般分类

分类方法	模具类型
按塑料材料类别	热塑性塑料注射模、热固性塑料注射模
按模具的型腔数目	单型腔注射模、多型腔注射模
按模具安装方式	移动式注射模、固定式注射模
按注射机类型	卧式注射机用注射模、立式注射机用注射模、角式注射机用注射模
按模具浇注系统的形式	普通浇注系统注射模、热流道浇注系统注射模

表 2-9 按注射模具的总体结构特征分类

模具名称	结构特征
单分型面注射模（二板式注射模）（如图 2-20 所示）	模具只有一个分型面，模具结构简单，分流道位于分型面上，制品连同浇注系统凝料一起取出模外。常用于大型的盒、壳类制品
双分型面注射模（三板式注射模）（如图 2-21 所示）	模具具有两个分型面，一个取出浇注系统凝料，一个取出制品。常用于针点浇口进料的单腔或多腔模具，但增加了一个可移动的中间板，结构复杂、成本高、周期长，很少用于大型塑料制品
带活动嵌件的注射模（如图 2-22 所示）	制品带有侧孔或侧凹，成型这些部位的模具零件做成活动的，随制品一起取出模外再通过手工分离。模具结构相对简单，但自动化程度低，常用于小批量或试生产
带横向分型抽芯的注射模（如图 2-23 所示）	制品带有侧孔或侧凹，成型这些部位的模具零件做成可在模内滑动的，由斜导柱或斜滑块等机构驱动。模具结构较为复杂，主要用于有侧孔或侧凹的塑料制品的大批量生产
自动卸螺纹的注射模（如图 2-24 所示）	制品带有螺纹，模具中设置可以旋转的螺纹型芯或型环，通过转动使制品自动脱模。主要用于直角式注射机，螺纹型芯由注射机开合模机构的丝杠带动旋转使其与制品脱离

(续)

模 具 名 称	结 构 特 征
定模设顶出装置的注射模 (如图 2-25 所示)	制品形状特殊, 开模后制品必须留在定模上, 可在定模一侧设置脱模机构
无流道注射模 (也叫无流道凝料注射模) (如图 2-26 所示)	生产出的制品无浇注系统凝料, 包括热流道模具和绝热流道模具。此类模具易达到全自动操作, 但模具结构复杂, 成本高, 对制品的形状和所用原料有一定的限制

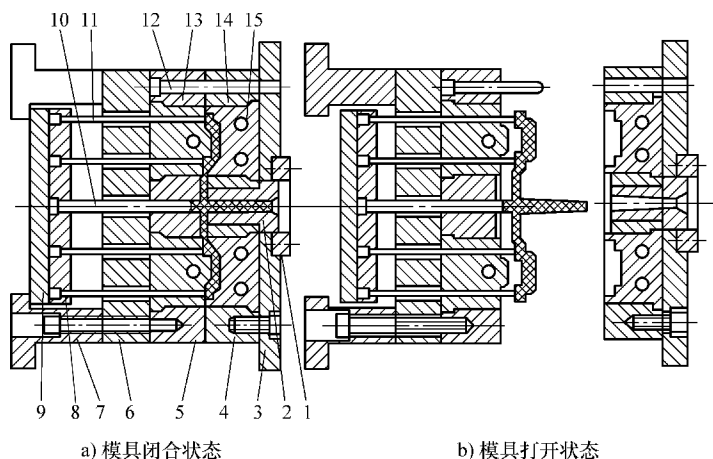


图 2-20 单分型面注射模

1—定位圈 2—主流道衬套 3—定模座板 4—定模板 5—动模板 6—动模垫板 7—支架 8—推杆固定板
9—推板 10—拉料杆 11—推杆 12—导柱 13—型芯模 14—型腔模 15—冷却水道

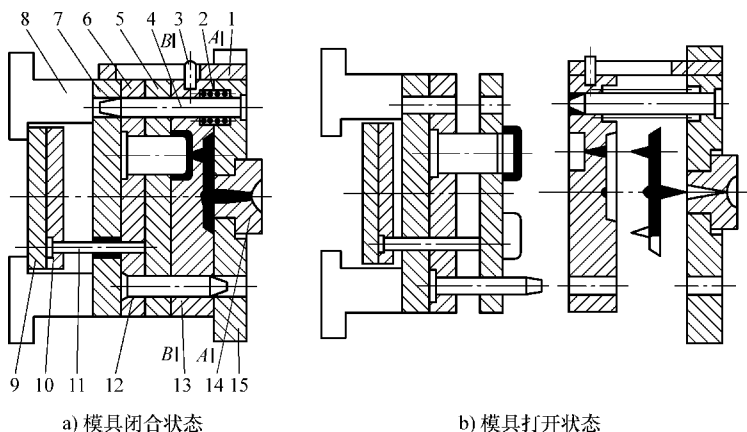


图 2-21 双分型面注射模

1—定距拉板 2—弹簧 3—限位销 4—导柱 5—脱模板 6—型芯固定板 7—动模垫板 8—支架
9—推板 10—推杆固定板 11—推杆 12—导柱 13—型腔板 14—主流道衬套 15—定模座板

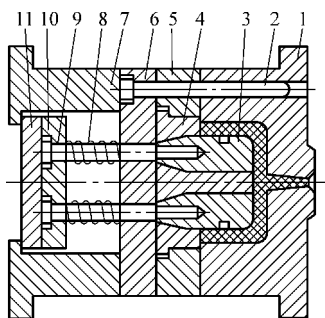


图 2-22 带活动嵌件的注射模

- 1—定模板 2—导柱 3—活动嵌件
4—型芯 5—动模板 6—动模垫板
7—支架 8—弹簧 9—推杆
10—推杆固定板 11—推板

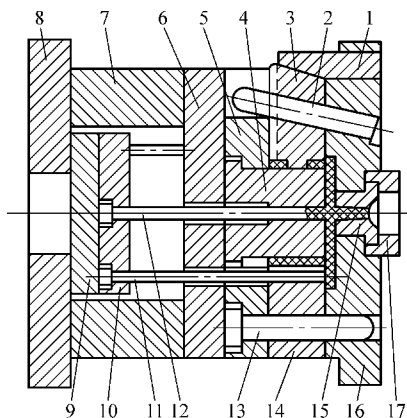


图 2-23 带横向分型抽芯的注射模

- 1—楔紧块 2—斜导柱 3—滑块
4—型芯 5—型芯固定板 6—支承板
7—垫块 8—动模座板
9—推板 10—推杆固定板
11—推杆 12—拉料杆 13—导柱
14—动模板 15—主流道衬套
16—定模座板 17—定位圈

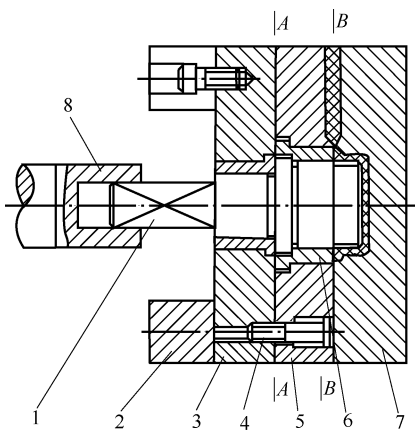


图 2-24 自动卸螺纹的注射模

- 1—螺纹型芯 2—支架 3—支承板
4—定距螺钉 5—动模板 6—衬套
7—定模板 8—注塑机开合模丝杠

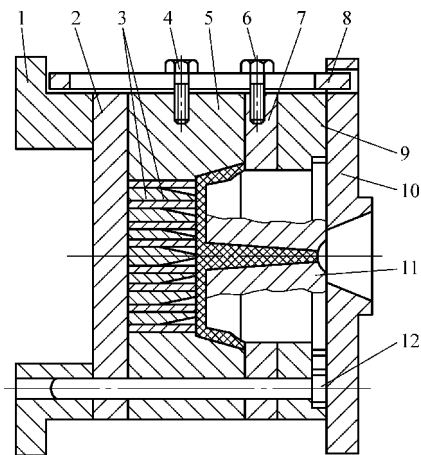


图 2-25 定模设顶出装置的注射模

- 1—支架 2—动模垫板 3—成型镶片
4—螺钉 5—动模板 6—螺钉
7—脱模板 8—定距拉板
9—定模板 10—定模座板
11—型芯 12—导柱

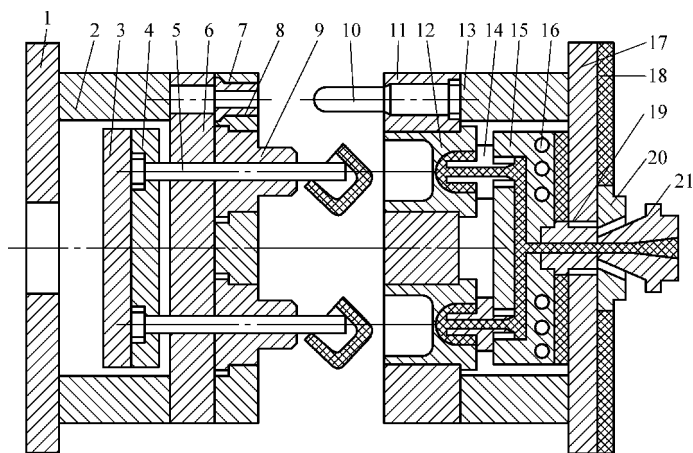


图 2-26 无流道注射模

1—动模座板 2—垫块 3—推板 4—推杆固定板 5—推杆 6—动模垫板 7—导套 8—动模板 9—型芯
10—导柱 11—定模板 12—凹模 13—支架 14—二级喷嘴 15—热流道板 16—加热器孔道
17—定模座板 18—绝热层 19—主流道衬套 20—定位圈 21—注射机喷嘴

2.2.2 注射模具的结构组成

注射模具的结构是由注射机的类型和制品的结构特点、复杂程度等因素决定的。无论其复杂程度如何，注射模具均由动、定模两大部分构成。根据模具上各部件所起的作用，可分为以下几个部分。

1. 成型零部件

成型零部件是赋予成型制品形状和尺寸的零件，通常由型芯、型腔、成型杆、镶块等组成。型芯成型制品的内部形状，型腔成型制品的外部形状。为了保证塑料制品表面光洁、美观并且容易脱模，凡与塑料制品接触的型腔表面，其粗糙度一般应小于 $Ra0.2\mu\text{m}$ 。

2. 浇注系统

浇注系统是指将塑料熔体由注射机喷嘴引向型腔的流道，一般由主流道、分流道、浇口和冷料井组成。浇注系统设计的好坏直接关系到所成型制品的质量。

3. 导向机构部分

为确保动模和定模合模时准确对中，以保证制品的精确形状和壁厚的均匀，模具中必须设置合模导向零件，通常由导柱和导套组成。有的注射模的顶出机构为避免在顶出过程中发生歪斜，也设有导向零件，使顶出板保持水平运动。

4. 分型抽芯结构

带有侧凹或侧孔的制品，在被顶出模具之前，必须先进行侧向分型，将侧向型芯从制品中抽出，方能顺利脱模。完成这部分动作的机构为侧向分型抽芯机构。

5. 脱模机构

在开模过程中,将制品和浇注系统凝料从模具中顶出的机构。一般情况下,由推杆、复位杆、推杆固定板、推板等组成。

6. 温度调节系统

为满足注射工艺对模具温度的要求,模具应设有温度调节系统,主要由加热和冷却系统组成。冷却系统一般是在模具内开设冷却水道,加热系统则是在模具内部或周围安装电加热元件,如电热棒、电热板、电热圈等,有时也可用冷却水道通热水或蒸汽来加热。成型时要力求模温稳定、均匀。

7. 排气系统

在注射过程中,为了将型腔内的气体排出,常在模具分型面处开设排气槽。对于小型制品,因排气量不大,可直接利用分型面排气。大多数中小型模具的顶杆或型芯与模具配合间隙均可起排气作用,可不必另外设置排气槽。

8. 其他结构零件

其他结构零件是为了满足模具结构上的要求而设置的,如固定板、动模座板、定模座板、支承板、连接螺钉等。

2.2.3 注射模具设计要点

在设计注射模具之前必须掌握以下几方面内容。

1. 分析制品结构及其技术要求

制品的结构决定了模具结构的复杂程度,制品的技术要求(如尺寸精度、表面粗糙度等)决定了模具制造及成型工艺的难易,因此对于不符合塑料注射成型要求的制品以及结构形状不合理的制品等均应提出改进制品设计的建议,否则会增加模具设计与制造以及注射成型工艺的难度。

2. 了解模具与注射机的关系

注射机的技术规格制约了模具的尺寸和所能成型制品的范围,因此在设计模具时,必须了解注射机的技术规格,主要了解以下内容:

(1) 注射机的类型 卧式、立式、直角式。

(2) 注射量 注射机的一次最大注射量,一定要大于该模具一次成型的所有塑料制品的质量与流道内凝料质量之和。一般成型制品的质量最好在注射机最大注射量的80%之内,否则易造成制品料量不足、外形尺寸误差大等缺陷。

(3) 锁模力 锁模力的大小与所选用的模具型腔内的平均压力有关。锁模力小会造成锁模不紧而产生溢边跑料现象;锁模力太大,会造成模具变形。

(4) 注射压力 所选用注射机的注射压力必须大于成型塑料制品所需的注射压力,否则会造成制品缺料等缺陷。

(5) 注射模的安装尺寸 主要包括喷嘴尺寸、定位圈尺寸、模具外形尺寸、模具厚度、模板行程、拉杆间距等。注射模的安装尺寸不仅涉及模具的安装和开启

空间,而且与型腔的最大成型面积、最大开模行程、模具厚度有关。

3. 了解所用塑料材料的加工工艺性能

主要了解以下内容:

1) 了解塑料熔体的流动行为,校验最大流动长度。
2) 分析塑料熔体在流道和型腔各处的流动阻力、流动速度、流动方向等,考虑熔体在型腔内重新熔合和原有空气的导出问题。

3) 塑料在模具内可能的结晶、取向以及产生的内应力问题。

4) 考虑塑料熔体在冷却过程中的收缩与补缩问题。

5) 塑料对模具温度的要求等。

4. 考虑模具的结构与制造

主要解决以下问题:

1) 正确选择进浇点、分型面和型腔的布置。
2) 型腔的组成及模具零件的强度、刚度和型腔尺寸精度。如何保证制品的尺寸精度和外观质量。

3) 采用何种脱模机构和抽芯或分型机构,将制品取出模外。

4) 模具总体结构和零件形状要简单合理,容易加工制造和装配。

5) 合理选择模具材料。

6) 模具的热量损耗,冷却水用量及制品生产效率等。

2.2.4 注射模具设计步骤

注射模具的设计可按照以下几个步骤进行。

1. 制品分析

(1) 明确制品设计要求 仔细阅读制品零件图。从制品的塑料品种、形状、尺寸精度、表面粗糙度等方面考虑注射成型工艺的可行性和经济性,必要时,要与产品设计者探讨制品的材料种类与结构修改的可能性。

(2) 明确制品的生产批量 小批量生产时,为降低成本,模具尽可能简单;大批量生产时,在保证制品质量的前提下,尽量采用一模多腔或高速自动化生产,以缩短生产周期,提高生产率,因此对模具的推出机构以及制品和流道凝料的自动脱模机构提出严格要求。

(3) 计算制品的体积和质量 计算制品的体积和质量是为了选择注射机,提高设备利用率,确定模具型腔数。

2. 选择注射机

根据制品的体积或质量大致确定模具结构,初步确定注射机型号,了解所使用的注射机与模具设计有关的技术参数,如注射机定位圈的直径、喷嘴前端孔径及球面半径、最大注射量、锁模力、注射压力、固定模板和移动模板面积大小及安装螺孔位置、拉杆间距、模具最大厚度和最小厚度、开模行程、顶出行程等。

3. 模具设计的有关计算

- 1) 凹、凸模零件工作尺寸的计算。
- 2) 型腔壁厚, 底板厚度的确定。
- 3) 模具加热, 冷却系统的确定。

4. 模具结构设计

- 1) 制品成型位置及分型面选择。
- 2) 确定模具型腔数量及排列方式。
- 3) 确定流道布局以及浇口位置设置。
- 4) 确定主要成型零件, 结构件的结构形式。
- 5) 侧分型与抽芯机构的设计。
- 6) 顶出机构设计。
- 7) 拉料杆的形式选择。
- 8) 排气方式设计。
- 9) 决定冷却、加热方式及加热冷却沟槽的形状、位置、加热元件的安装部位。

5. 模具总体尺寸的确定

模架已逐渐标准化, 根据生产厂家提供的模架图册, 选定模架。

以上这些问题如果解决了, 模具的结构形式自然就解决了, 这时就应该着手绘制模具结构草图, 为正式绘图做好准备。

6. 注射机参数的校核

- 1) 最大注射量的校核
- 2) 注射压力的校核
- 3) 锁模力的校核
- 4) 模具与注射机安装部分相关尺寸校核, 包括闭合高度, 开模行程, 模座安装尺寸等相关尺寸的校核。

7. 绘制模具总装结构图和零件工作图

模具图的绘制必须符合机械制图国家标准, 但是也要结合本厂标准和国家未规定的工厂习惯画法。模具图的绘制方法与一般机械图画法原则上没有区别, 只是为了更清楚地表达模具中成型制品的形状, 浇口位置的设置, 在模具总图的俯视图上, 可将定模拿掉, 而只画动模部分的俯视图。

(1) 绘制总装结构图 绘制总装图尽量采用 1 : 1 的比例, 先由型腔开始绘制, 主视图与其他视图同时画出。

模具总装图包括的内容:

- 1) 模具成型部分结构。
- 2) 浇注系统、排气系统的结构形式。
- 3) 分型面及分模取件方式。
- 4) 外形结构及所有连接件, 定位、导向件的位置。

5) 标注型腔高度尺寸(不强求,根据需要)及模具总体尺寸。

6) 按顺序将全部零件序号编出,并填写明细表。

7) 标注技术要求和使用说明。

模具总装图的技术要求:

1) 对于模具某些系统的性能要求。如对顶出系统、滑块抽芯结构的装配要求。

2) 对模具装配工艺的要求。如模具装配后分型面的贴合间隙应不大于0.05mm,模具上、下面的平行度要求等。

3) 模具使用,装拆方法。

4) 防氧化处理、模具编号、刻字、标记、保管等要求。

5) 有关试模及检验方面的要求。

(2) 绘制全部零件图 由模具总装图拆画零件图的顺序为:先内后外,先复杂后简单,先成型零件,后结构零件。

1) 图形要求。一定要按比例画,允许放大或缩小。视图选择合理,投影正确,布置得当。为了便于装配,图形尽可能与总装图一致,图形要清晰。

2) 标注尺寸要求统一、集中、有序、完整。标注尺寸的顺序为:先标注主要零件尺寸和脱模斜度,再标注配合尺寸,然后标注全部尺寸。在非主要零件图上先标注配合尺寸,后标注全部尺寸。

3) 表面粗糙度。把应用最多的一种粗糙度标于图纸右上角,如标注“其余3.2”,其他粗糙度符号在零件各表面分别标出。

4) 其他内容。例如零件名称、模具图号、材料牌号、热处理和硬度要求,表面处理、图形比例、自由尺寸的加工精度、技术说明等都要正确填写。

通常主要工作零件加工周期较长,加工精度较高,因此应首先认真绘制,其余零部件应尽量采用标准件。

(3) 全面审核投产制造 包括校对、审图、描图、送晒、编写工艺卡等。

8. 试模及修模

虽然是在选定成型材料、成型设备和预想的工艺条件下进行模具设计,但是人们的认识往往是不完善的,因此必须在模具加工完成以后,进行试模试验,看成型的制品质量如何。发现问题以后,进行修模。

制品出现不良现象的种类较多,原因也很复杂,有模具方面的原因,也有工艺条件方面的原因,二者往往交织在一起。在修模前,应当根据制品出现不良现象的实际情况,进行细致的分析研究,找出造成制品缺陷的原因后提出补救方法。因为成型条件容易改变,所以一般的做法是先变更成型条件,当变更成型条件不能解决问题时,才考虑修理模具。

9. 整理资料进行归档

模具经试验后,若暂不使用,应该擦除脱模渣滓、灰尘、油污等,涂上黄油或其他防锈油或防锈剂,送到保管场所保管。

把模具设计期间（从开始设计到加工成功和检验合格为止）所产生的技术资料，例如任务书、制品图、技术说明书、模具总装图、模具零件图、底图、模具设计说明书、检验记录表、试模修模记录等，按规定加以系统整理、装订、编号进行归档。以便以后修理模具或设计新模具时参考。

2.2.5 成型零件设计

成型零部件在注射成型过程中直接与塑料熔体接触，需要承受温度、压力及塑料熔体的冲击和摩擦作用，长期工作之后，容易发生磨损、变形和断裂。因此在设计模具时要针对塑料制品的结构特点、生产批量、使用要求以及模具的使用寿命等，合理确定成型零部件的结构，满足精度、表面粗糙度、强度及刚度的要求。对于成型时产生腐蚀性气体的塑料（如PVC），还应有一定的耐蚀性。

1. 确定型腔的数量及排列方式

型腔数量及排列方式的确定应考虑注射机的锁模力、最大注射量、制品的精度要求、形状大小、结构特点、批量大小以及经济性等。成型制品批量小、质量大或精度高时，一般选择单型腔；产量大而质量小时一般采用多型腔，但要注意型腔和浇口的布置，要尽可能采用平衡式排列，使充模速度一致，确保制品质量均一和稳定。型腔布置及浇口开设部位要尽量对称，并尽量使型腔排列紧凑，尽量减少和缩短流道。

2. 分型面的设计

打开模具取出制品或浇注系统凝料的面叫做分型面，也可称为合模面。分型面的选择在注射模的设计中占有相当重要的位置，它不仅影响制品的外观，而且还影响到模具的整体结构、工艺操作的难易程度及模具的制造等。

（1）分型面的形式 分型面有多种形式，常见的有水平分型面、阶梯分型面、倾斜分型面、曲面分型面、瓣合分型面等。具体采用哪种分型面，要综合考虑各种因素，如制品的几何形状、浇注系统、脱模机构等。分型面应尽可能简单，以便于制品的脱模和模具的制造。一般情况都是将简单的平面作为分型面，特殊情况下才采用复杂的形式。分型面的形状如图2-27所示。

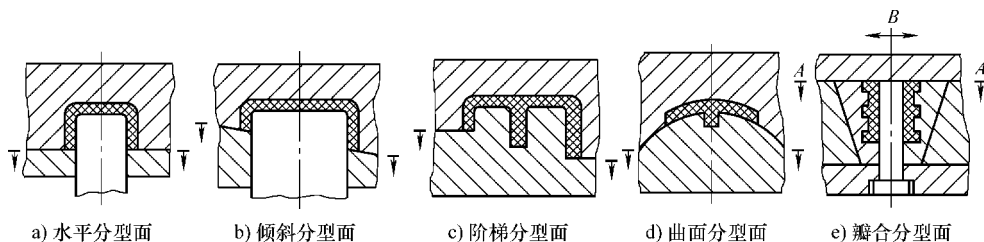


图 2-27 分型面的形状

（2）选择分型面的原则 影响分型面的因素很多，在选择分型面时，应遵循

以下基本原则。

1) 分型面应选择在制品截面轮廓最大的部位, 以利于制品顺利脱模, 如图 2-28 所示。

2) 分型面一般不设在制品要求光亮平滑的表面或带圆弧的转角处, 以免溢料飞边, 影响制品外观, 如图 2-29 所示。

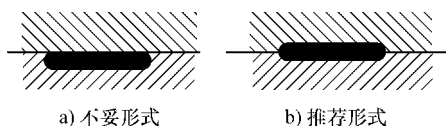


图 2-28 制品投影面积大的方向作分型面

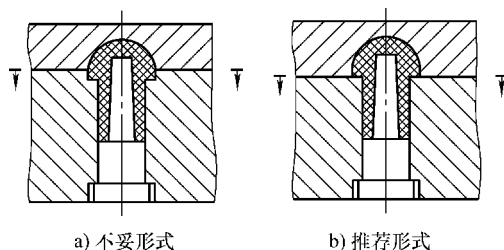


图 2-29 不在制品光滑表面或带圆弧的转角处设分型面

3) 开模时, 尽量使制品留在动模一边, 利于脱模, 如图 2-30 所示。

4) 同轴度要求较高的部分, 应尽可能设在同一侧, 以保证制品的精度要求, 如图 2-31 所示。

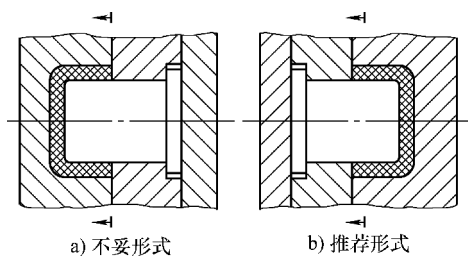


图 2-30 制品留在动模一边的分型面

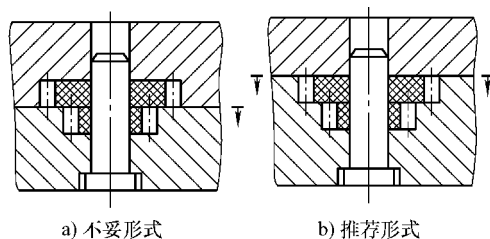


图 2-31 同轴度要求较高的制品的分型面

5) 当制品有多组抽芯时, 应将长型芯做主型芯, 短型芯做侧型芯, 如图 2-32 所示。

6) 要求壁厚均匀的薄壁制品, 不能采用一个平面作分型面时, 可采用锥形阶梯分型面, 如图 2-33 所示。

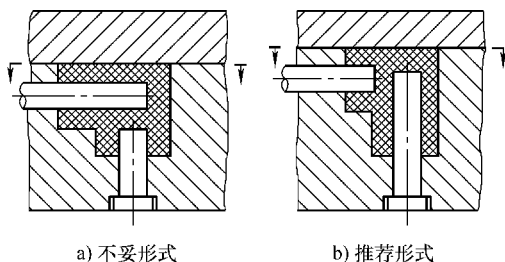


图 2-32 侧向轴芯行程最短的分型面

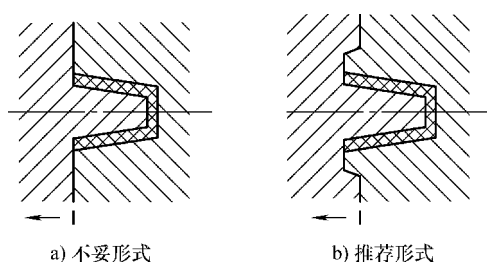


图 2-33 锥形阶梯分型面

7) 当制品有侧抽芯机构时, 应尽量采用动模边侧向分型抽芯, 这样可得到较大的抽拔距, 使模具结构简单, 如图 2-34 所示。

8) 尽量使分型面位于料流末端, 利于排气, 如图 2-35 所示。

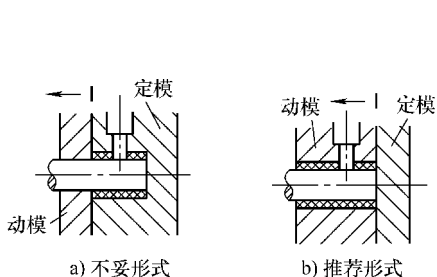


图 2-34 动模边侧向分型抽芯的分型面

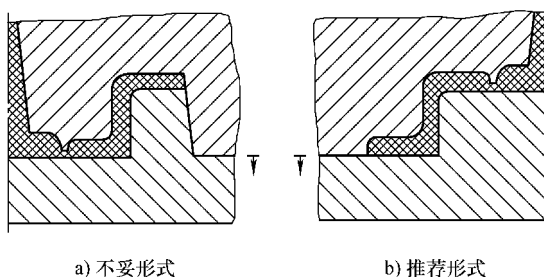


图 2-35 位于料流末端的分型面

此外, 分型面的位置选择应使模具加工尽可能方便, 保证成型零件的强度, 避免出现薄壁和锐角。

有时对于某一制品, 在选择分型面位置时, 不可能全部符合上述要求, 这时应根据实际情况, 以满足制品的主要要求为宜。

3. 型腔的结构设计

型腔也叫凹模或阴模, 是成型塑料制品外表面的部件, 一般安装固定在定模板上, 所以也叫定模。按其结构形式可分为整体式型腔和组合式型腔两类。

(1) 整体式型腔 整体式型腔是在整块模板上直接加工而成的。适用于形状简单、加工制造方便的小型模具, 如图 2-36 所示。

(2) 组合式型腔 为了便于型腔的加工、维修、热处理, 或为了节省优质钢材, 常采用组合式结构。组合式型腔有各种各样的组合形式, 常见的组合方式有以下几种:

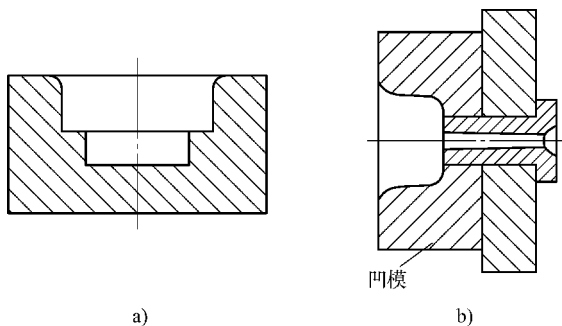


图 2-36 整体式型腔

1) 整体嵌入组合式型腔, 如图 2-37 所示。这种结构的型腔可节约模具材料, 形状、尺寸一致性好, 更换方便, 降低成本。主要用于型腔部分需采用特殊加工或需采用优质材料的小型模具。

2) 局部镶嵌式型腔, 如图 2-38 所示。主要用于局部特别容易磨损, 或者是难以加工的型腔。

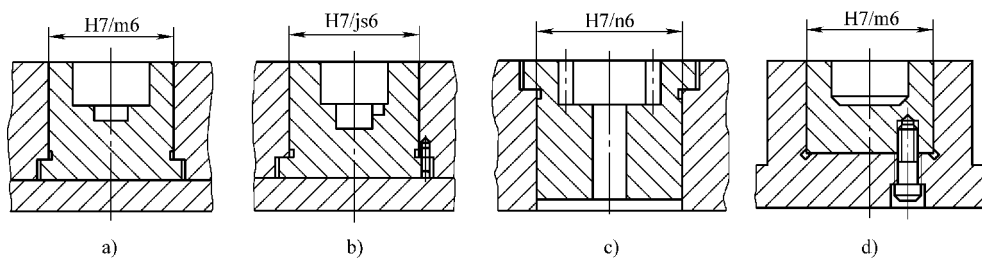


图 2-37 整体嵌入组合式型腔

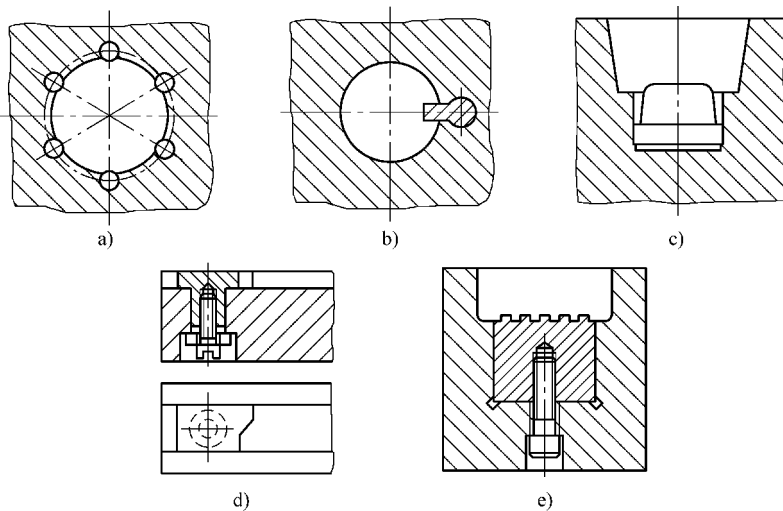


图 2-38 局部镶嵌式型腔

3) 镶拼组合式型腔。为了便于切削加工、抛光、研磨和热处理, 整个型腔可由几个部分镶拼而成。镶拼的方法如下:

底部镶拼: 型腔底部形状比较复杂或尺寸较大时, 将底部与四周侧壁分割出来单独加工, 使内型加工变为外型加工, 加工难度减小, 如图 2-39 所示。

侧壁镶拼: 对于大型型腔, 为便于加工和热处理, 将型腔壁做成镶嵌块, 如图 2-40 所示。采用此结构应将结合面磨平抛光。

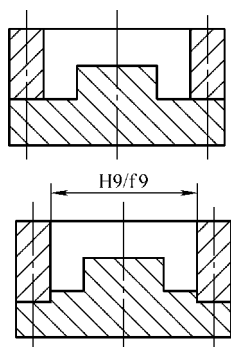


图 2-39 底部镶拼结构

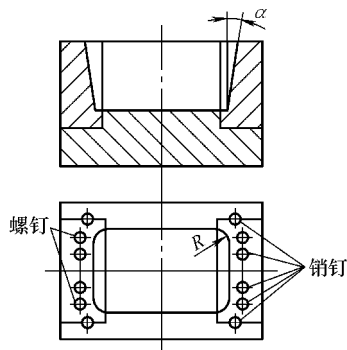


图 2-40 侧壁镶拼结构

四壁镶拼：适用于大型复杂形状型腔，各镶拼块分别加工和磨削后再嵌入到模套中镶拼对接，以便于通过模套对型腔侧壁进行加强，侧壁之间采用锁扣拼合，以保证准确连接，锁扣外侧留 $0.3 \sim 0.4\text{mm}$ 的间隙，且 $R > r$ ，如图 2-41 所示。

4. 型芯的结构设计

型芯也叫凸模或阳模，是成型塑料制品内表面的部件，一般安装固定在动模板上，所以也叫动模。其结构形式主要有整体式型芯、组合式型芯、螺纹型芯和螺纹型环等。其中组合式型芯又可分为整体组合式型芯和镶拼组合式型芯。

(1) 整体式型芯 如图 2-42 所示，型芯与底板成一体，其结构坚固，工作强度高，比型腔加工方便，但切削加工量大，材料浪费多，不便于热处理，仅适用于形状简单的小型模具。

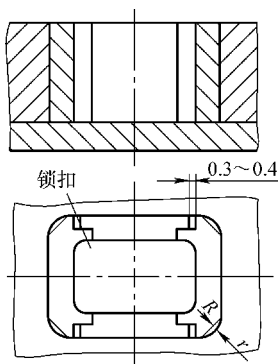


图 2-41 四壁镶拼结构

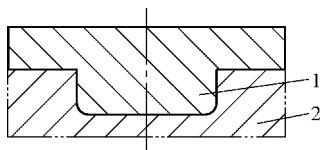


图 2-42 整体式型芯

1—型芯 2—型腔

(2) 整体组合式型芯 如图 2-43 所示，型芯本身是整体式结构，型芯和底板之间采用组合的方式。

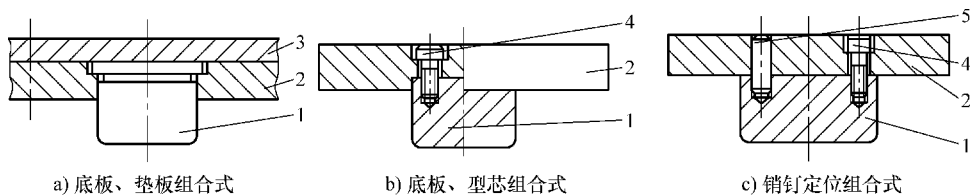


图 2-43 整体组合式型芯

1—型芯 2—底板 3—垫板 4—螺钉 5—定位销

(3) 镶拼组合式型芯 如图 2-44 所示，复杂形状的类型，如果采用整体式结构，加工较困难，而采用拼块组合，可简化加工工艺。

(4) 螺纹型芯和螺纹型环

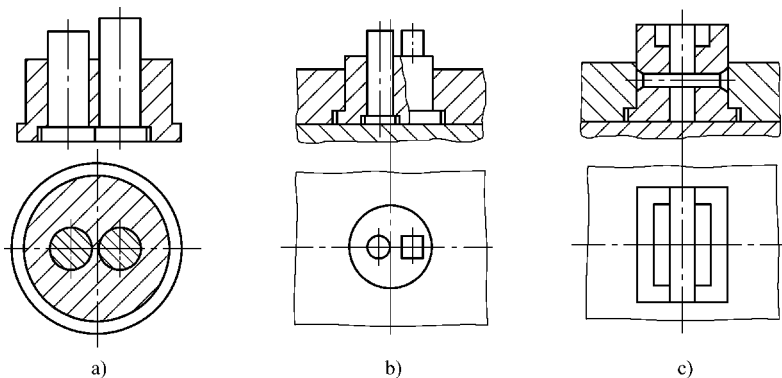


图 2-44 镶拼组合式型芯

1) 螺纹型芯。螺纹型芯的作用是成型塑料制品上的内螺纹（螺孔）。按其用途可分为直接成型螺孔和固定螺母嵌件两种。两种螺纹型芯在结构上没有原则区别，但前一种螺纹型芯在设计时必须考虑塑料的收缩率，表面粗糙度要小（ Ra 为 $0.1\mu\text{m}$ ），始端和末端应按塑料制品结构要求设计；而后一种不必考虑塑料收缩率，表面粗糙度可以大些（ Ra 为 $0.8\mu\text{m}$ 即可）。

固定在定模上的螺纹型芯的结构及固定方法如图 2-45 所示；固定在动模上的螺纹型芯的结构及固定方法如图 2-46 所示。

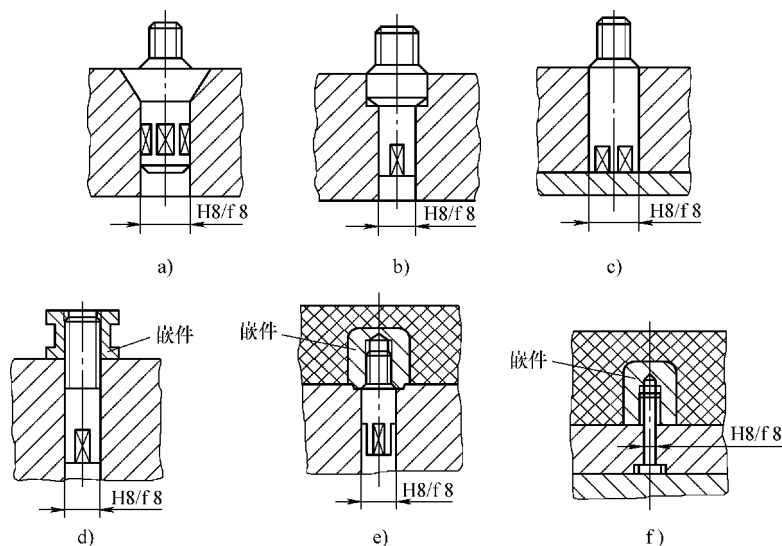


图 2-45 固定在定模上的螺纹型芯的结构及固定方法

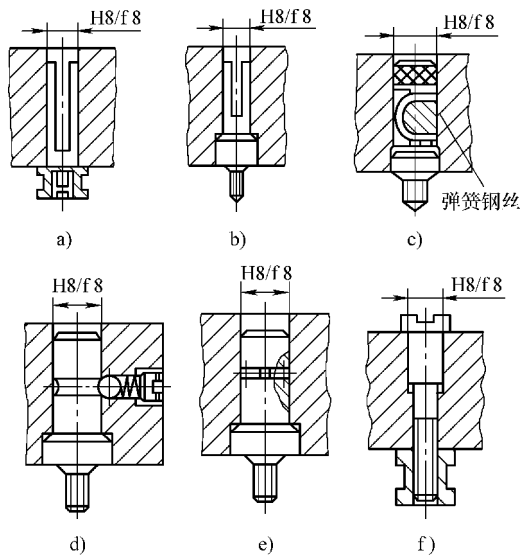


图 2-46 固定在动模上的螺纹型芯的结构及固定方法

对螺纹型芯的结构设计及固定方法有如下要求：

- ① 螺纹型芯在成型时应可靠定位，并防止塑料熔体被挤入分型面。
- ② 便于塑料制品的脱模和螺纹型芯的装拆。
- ③ 结构简单，便于制造。

2) 螺纹型环。螺纹型环是带有内螺纹的成型环，它的作用是在塑料制品上成型外螺纹。螺纹型环是在模具闭合之前装入型腔内，成型后随制品一起脱模，并在模外将螺纹型环从制品上卸下。螺纹型环常见的结构如图 2-47 所示。

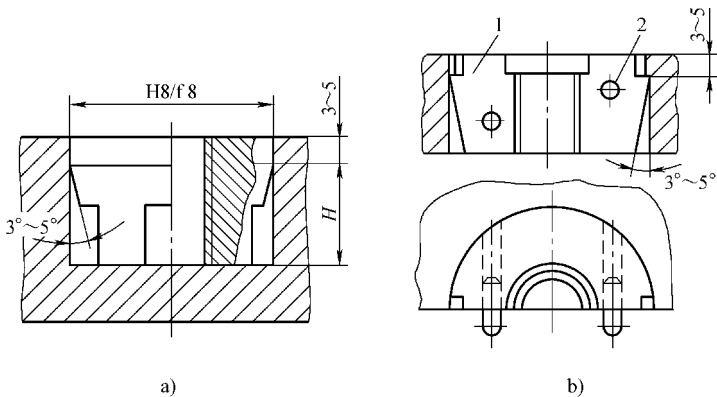


图 2-47 螺纹型环的结构

图 2-47a 是整体式螺纹型环，型环与模板的配合用 H8/f8，配合段长度为 3 ~ 5mm；为了安装，接着配合段的是斜度为 3° ~ 5°的锥形段；型环的最下端为扳手

段，在这段里被铣成四方的截面，以便使用扳手，将螺纹型环从制品上拧下。

图 2-47b 是组合式螺纹型环，型环 1 由两瓣拼合而成，两瓣中间用销钉 2 定位。成型后用尖劈状分模器楔入型环两边的楔形槽内，使螺纹型环分开。这种结构卸除螺纹型环迅速而且省力，但会在成型的塑料外螺纹上留下难以修整的拼合痕迹，因此此结构只适用于精度要求不高的粗牙螺纹的成型。

2.2.6 浇注系统设计

浇注系统是指从注射机喷嘴起到模具型腔入口为止的塑料熔体的流动通道，一般由主流道、衬套口、分流道、浇口和冷料井等部分组成，如图 2-48 所示。

1. 主流道设计

(1) 主流道形状与尺寸 主流道是指从注射机喷嘴与模具接触处起到分流道为止的一段料流通道，负责将塑料熔体从喷嘴引入模具。为便于将凝料从主流道中拉出，主流道通常设计成圆锥形（如图 2-49 所示），其锥角 $\alpha = 2^\circ \sim 4^\circ$ ，对于熔体流动性差的塑料可取 $6^\circ \sim 10^\circ$ ，内壁表面粗糙度一般为 $Ra0.8\mu m$ 。通常主流道进口端直径为 $4 \sim 8mm$ ，若熔体流动性好，且制品较小时，可取小值，反之取大值。表 2-10 列出了主流道截面直径的推荐值。

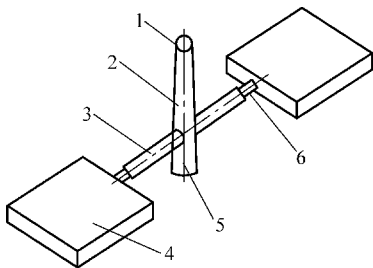


图 2-48 浇注系统的组成示意图

1—衬套口 2—主流道 3—分流道
4—制品 5—冷料井 6—浇口

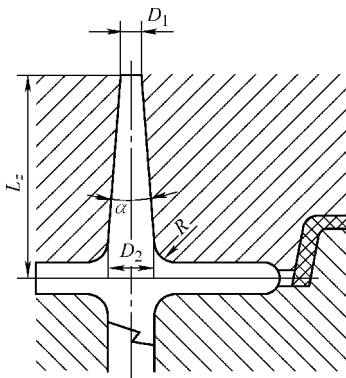


图 2-49 主流道的形状和尺寸

表 2-10 主流道截面直径的推荐值 (单位: mm)

注射机注射量/g	10		30		60		125		250		500		1000	
主流道进、出口直径	D_1	D_2	D_1	D_2	D_1	D_2	D_1	D_2	D_1	D_2	D_1	D_2	D_1	D_2
PE、PS	3	4.5	3.5	5	4.5	6	4.5	6	4.5	6.5	5.5	7.5	5.5	8.5
ABS、AS	3	4.5	3.5	5	4.5	6	4.5	6.5	4.5	7	5.5	8	5.5	8.5
聚砜、PC	3.5	5	4	5.5	5	6.5	5	7	5	7.5	6	8.5	6	9

注: D_1 为进口端直径; D_2 为出口端直径。

(2) 主流道衬套 因主流道与塑料熔体反复接触, 进口处与喷嘴反复碰撞, 所以常将主流道设计成可拆卸的主流道衬套, 用较好的钢材制造并进行热处理, 一般选用 T8、T10 制造, 热处理硬度为 52 ~ 56HRC。衬套口应制成球面凹坑, 其球面半径应比喷嘴头的球面半径大 1 ~ 2mm, 凹入深度 3 ~ 5mm, 进口处直径应比喷嘴孔径大 0.5 ~ 1mm。衬套口要有锥度, 一般取锥度为 $4^{\circ} \sim 7^{\circ}$, 出口处也应倒圆弧, 使料流畅通。主流道衬套与模板之间的配合可采用 H7/k6。小型模具可将主流道衬套与定位圈设计成一体。主流道衬套和定位圈的结构如图 2-50 所示。

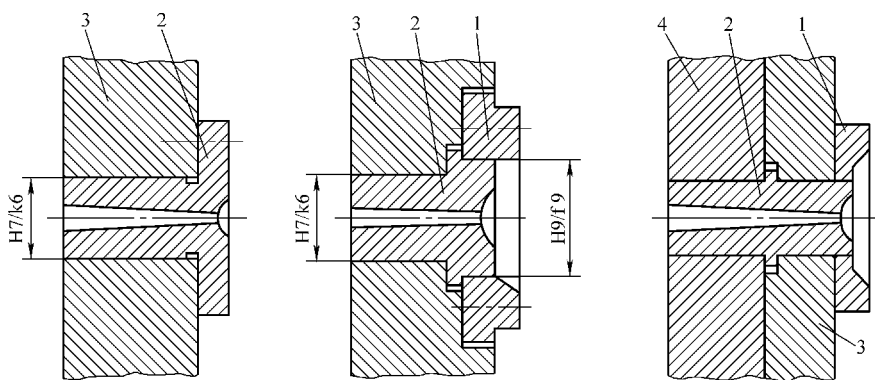


图 2-50 主流道衬套与定位圈

1—定位圈 2—主流道衬套 3—定模座板 4—定模板

2. 分流道设计

分流道是主流道与浇口之间的料流通道, 是塑料熔体由主流道流入型腔的过渡段, 负责将熔体的流向进行平稳转换。在多型腔模具中起着将熔体向各个型腔分配的作用。在单型腔模中一般不设置分流道。

(1) 设计准则

- 1) 以最短的路程、最小的热量压力损失, 将熔体快速顺利地输入型腔。
- 2) 熔体必须能在相同的温度、压力条件下, 从各个浇口同时向型腔进料。
- 3) 尽管较大的流道横截面有利于充模, 并保证足够的保压压力, 但从节省塑料材料的角度考虑, 横截面积应尽可能小, 较大的横截面积还会增加冷却时间。

- 4) 为了节省材料和有利于冷却, 分流道的表面积与体积比应尽可能小。

(2) 分流道截面形状及尺寸 分流道的形状和尺寸主要取决于制品的大小, 模具结构以及所加工的塑料种类。一般来讲, 随着制品尺寸及壁厚的增加, 由于熔体在大截面流道内比在小流道内流动时产生的阻力小, 因此大截面流道更能促进模具的填充过程。若分流道长, 则流程长, 塑料的粘度应更小一些。分流道的截面形状如图 2-51 所示, 表 2-11 为常用塑料分流道直径推荐值。

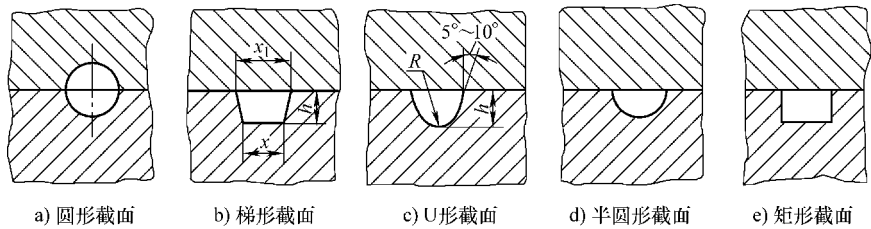


图 2-51 分流道的截面形状

表 2-11 常用塑料分流道直径推荐值

材料名称	分流道直径/mm
ABS、SAN (AS)	4.8 ~ 9.5
POM	3.0 ~ 10
丙烯酸酯树脂	8.0 ~ 10
醋酸纤维	1.6 ~ 11
聚甲基丙烯酸丁酯	1.6 ~ 10
耐冲击丙烯酸酯树脂	8.0 ~ 13
尼龙	1.6 ~ 10
PPO	6.4 ~ 10
PPS	6.4 ~ 13
PC	4.8 ~ 10
PE	4.8 ~ 9.5
PP	1.6 ~ 10
耐冲击 PS	3.2 ~ 10
聚砒	6.4 ~ 10
热塑性聚酯	不强化 3.1 ~ 8.0; 强化 1.6 ~ 10
软质 PVC	3.1 ~ 10
硬质 PVC	6.4 ~ 16
聚氨酯	6.4 ~ 8.0

(3) 分流道的布置 分流道的布置有平衡式和非平衡式两类。平衡式布置要求从主流道至各个型腔的分流道，其长度、形状、断面尺寸等都必须对应相等，达到各个型腔的热平衡和塑料流动平衡，如图 2-52 所示。采用非平衡式布置，塑料进入各型腔有先有后，各型腔充满的时间也不相同，各型腔成型生产的制品差异较大，但可使型腔排列较为紧凑，模板尺寸减小，流道总长度缩短，如图 2-53 所示。采用非平衡式布置时，为了达到同时充满各型腔的目的，可将浇口设计成不同的尺寸。

(4) 分流道的表面粗糙度 分流道的表面粗糙度值不宜太低，以防将冷料带入型腔，一般要求 Ra 值为 $1.6\mu\text{m}$ 即可。

(5) 分流道与浇口的连接形式 分流道与浇口通常采用斜面和圆弧连接，这样有利于塑料熔体的流动和填充，减小流动阻力。

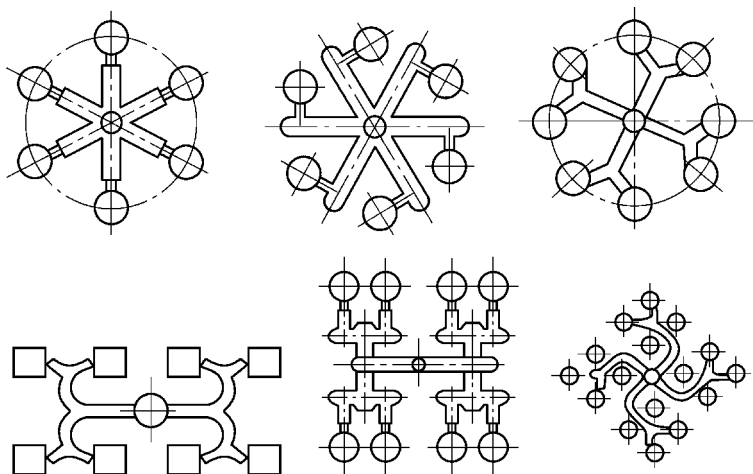


图 2-52 分流道的平衡式布置

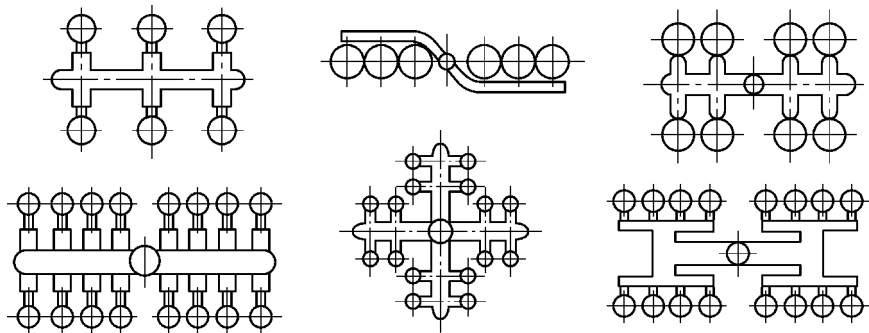


图 2-53 分流道的非平衡式布置

3. 浇口的设计

浇口是分流道与型腔之间长度非常短、截面又很狭窄的一段料流通道。浇口的截面形状和尺寸对熔体的流动、充模、制品的密实性以及制品的尺寸精度等有较大影响。截面过小，熔体流动阻力大，使物料升温分解、发黄，熔体充模也困难；如果浇口截面过大，充模好，但排气难，熔体冷却慢，成型周期受影响。浇口的形状有多种类型，可根据制品的形状、大小来选择。

(1) 常用浇口的形式

1) 直接浇口。又叫中心浇口、主流道型浇口，如图 2-54 所示。其特点是流道短、料流分布对称、阻力小，压力损失也小，充模容易。多用在单型腔模具结构中，比较适合粘度较高、大而深的圆形制品。

2) 侧浇口。如图 2-55 所示，侧浇口一般开设在分型面上，从制品边缘进料，可以一点进料，也可多点同时进料。其断面一般为矩形或近似矩形，长 c 为 $0.5 \sim 3\text{mm}$ ，宽 b 为 $1.5 \sim 5\text{mm}$ ，浇口深 a 为 $0.5 \sim 2\text{mm}$ 。

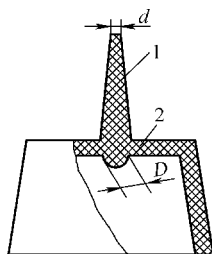


图 2-54 直接浇口

1—主流道 2—冷料井

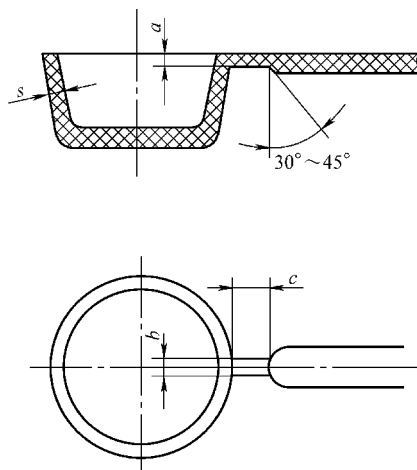


图 2-55 侧浇口

3) 扇形浇口。如图 2-56 所示，扇形浇口也属于侧浇口的一种，常用来成型宽度（横向尺寸）较大的薄片状制品。浇口沿进料方向逐渐变宽，深度逐渐减小，塑料熔体通过长约 1mm 的浇口台阶进入型腔。熔体通过扇形浇口时，在横向得到更均匀的分配，可降低制品的内应力和带入空气的可能性。扇形浇口的截面尺寸：长 L 为 1.3 ~ 2mm，宽 B 为 5 ~ 38mm，深 h 为 0.25 ~ 1.6mm。

4) 点浇口。如图 2-57 所示，点浇口是一种尺寸很小的浇口。适用于粘度低及粘度对剪切速率敏感的塑料，其直径 d 为 0.3 ~ 2mm（常见为 0.5 ~ 1.8mm），视塑料性质和制品质量大小而定，浇口长度 L 为 0.5 ~ 2mm（常见为 0.8 ~ 1.2mm）。

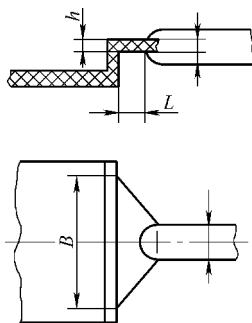


图 2-56 扇形浇口

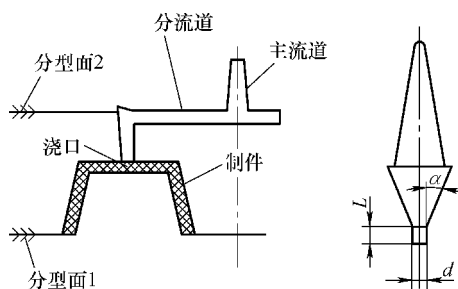


图 2-57 点浇口

5) 潜伏浇口。又叫隧道式浇口，如图 2-58 所示，潜伏浇口是点浇口的一种变异形式，具有点浇口的优点。主要用于多型腔小型零件的模具及成型弹性体材料。

6) 盘形浇口。如图 2-59 所示，盘形浇口主要用于中间带孔的圆筒形制品，沿制品内侧四周扩展进料。这类浇口可均匀进料，物料在整个圆周上流速大致相等，

空气易顺序排出，没有熔接缝。此类浇口仍可被当做矩形浇口看待，其典型尺寸为深 $0.25 \sim 1.6\text{mm}$ ，台阶长约 1mm 。

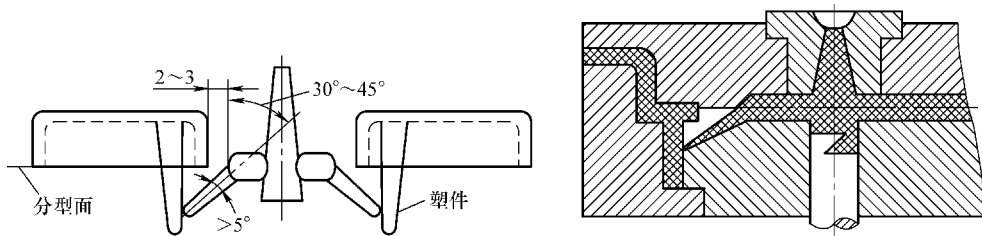


图 2-58 潜伏浇口

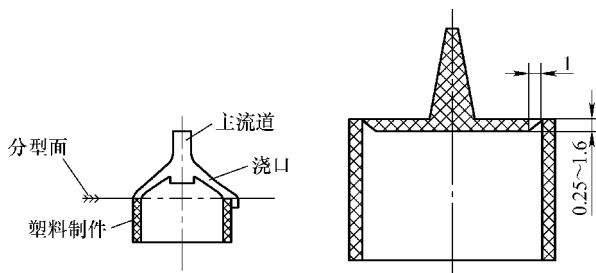


图 2-59 盘形浇口

7) 环形浇口。如图 2-60 所示，环形浇口也是沿制品的整个圆周而扩展进料的浇口，用于型芯装在两侧的管状塑料制品。

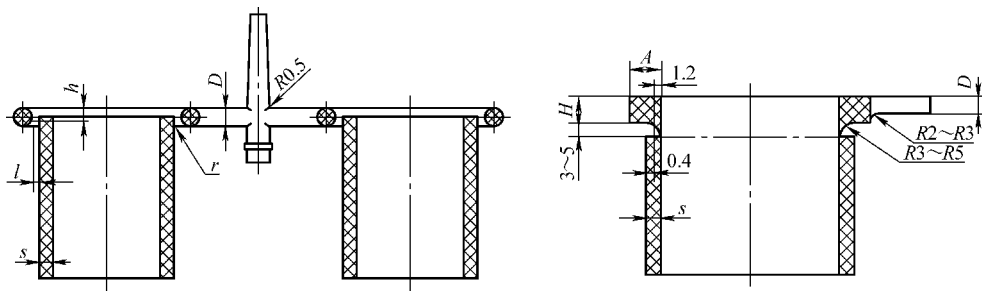


图 2-60 环形浇口

8) 平缝浇口。如图 2-61 所示，成型大面积的扁平制品（如片状物）时，可采用平缝浇口。平缝式浇口深度为 $0.25 \sim 0.65\text{mm}$ ，宽度为浇口侧型腔宽的 $1/4$ 至此边的全宽，浇口台阶长约 0.65mm 。

9) 轮辐式浇口。轮辐式浇口是盘形浇口的一种变形，如图 2-62 所示。这种结构形式，减少了冷料，浇口的切除也容易，但是增加了制品的熔接线。轮辐式浇口的截面尺寸参照扇形浇口截面尺寸选择。

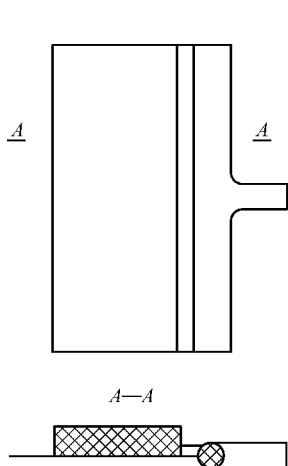


图 2-61 平缝浇口

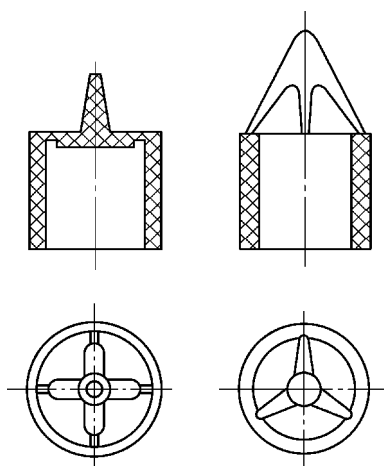


图 2-62 轮辐式浇口

10) 护耳浇口。又叫调整片式浇口或分接式浇口,如图 2-63 所示。它是专用于透明度高和要求无内应力的制品。护耳的宽度 b 通常等于分流道的直径,长度 L 为宽度 b 的 1.5 倍,厚度约为进口处制品厚度的 90%。浇口厚度与护耳的厚度相同,宽为 1.5~3.5mm,浇口长度在 1.5mm 以下(一般取 1mm)。当制品宽度大于 300mm 时可采用多个浇口和多个护耳。

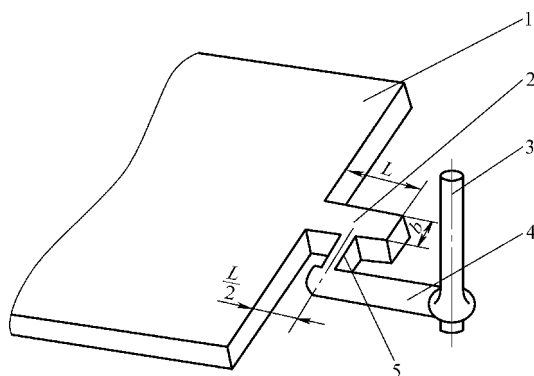


图 2-63 护耳浇口

1—制品 2—护耳 3—主流道 4—分流道 5—浇口

(2) 部分塑料适应的浇口形式 (见表 2-12)

表 2-12 部分塑料适应的浇口形式

塑料名称	直接浇口	侧浇口	护耳浇口	薄片式浇口	环形浇口	盘形浇口	点浇口	潜伏式浇口
硬质 PVC	○	○	○					
PE	○	○					○	
PP	○	○					○	

(续)								
塑 料 名 称	直接浇口	侧浇口	护耳浇口	薄片式浇口	环形浇口	盘形浇口	点浇口	潜伏式浇口
PC	○	○					○	
PS	○	○				○	○	○
橡胶改性聚苯乙烯								○
PA	○	○				○	○	○
POM	○	○	○	○	○		○	○
丙烯腈-苯乙烯	○	○	○			○	○	
ABS	○	○	○	○	○	○	○	○
丙烯酸酯	○	○	○					

注：○表示塑料与浇口适应。

(3) 浇口选择注意事项 浇口开设位置对塑料制品质量影响很大，确定浇口位置时，应对物料的流动情况、充模顺序和冷却、补料等因素进行全面考虑。在选择浇口开设位置时，应注意以下几方面问题：

- 1) 浇口位置的选择应有利于熔体流动和补缩。
- 2) 应有利于型腔内气体的排出。
- 3) 在满足熔体充满型腔的条件下应尽量减少浇口。
- 4) 应避免塑料制品产生熔接痕。
- 5) 制品的壁厚尺寸不同时，浇口应设在壁厚位置，以减少气泡的产生。
- 6) 浇口位置应避开型芯和嵌件，否则较大压力的料流会使它们移动位置或变形。
- 7) 浇口位置应考虑高分子取向对塑料制品性能的影响。

4. 冷料井的设计

主流道末端一般设有冷料井。冷料井中常设有拉料机构，以便开模时将主流道凝料拉出，冷料井的拉料杆形式如图 2-64 所示。

其中图 2-64a 为常用形式，也适用于热固性塑料；图 2-64b 应用于软质塑料，对硬质或热固性塑料也适用，但锥度要很小；图 2-64c 为一般应用形式；图 2-64d 应用在脱模板脱模无冷料井时；图 2-64e 应用在脱模板脱模有冷料井时；图 2-64f 应用在脱模板脱模无冷料井时；图 2-64g 应用在热固性塑料脱模板脱模时；图 2-64h 应用于有垂直分型的热固性塑料。

5. 排气槽设计

排气是注射模不可忽视的问题，特别是快速注射工艺的发展对注射模的排气要求更为严格。排气槽的作用主要有两点：一是在注射熔融物料时，排除型腔内的空

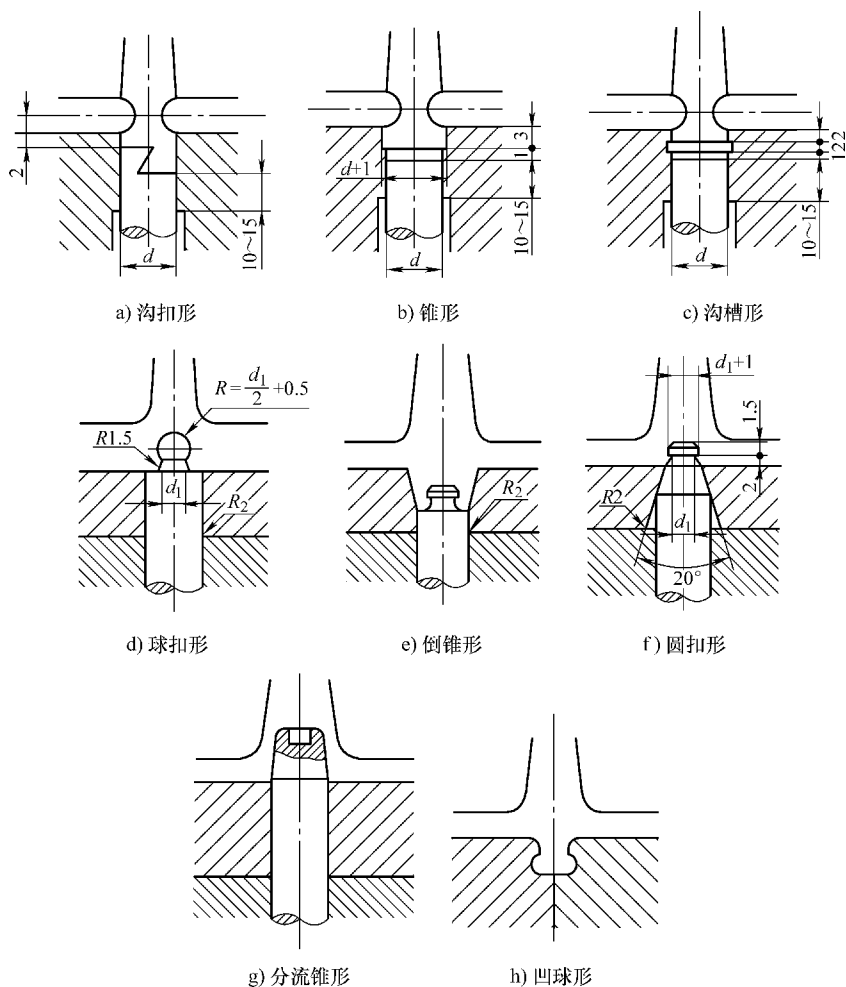


图 2-64 冷料井的拉料杆形式

气；二是排除物料在加热过程中产生的各种气体。越是薄壁制品，越是远离浇口的部位，排气槽的作用就显得越重要。另外对于小型件或精密零件也要重视排气槽的开设，因为它除了能避免制品表面灼伤和注射量不足外，还可以消除制品的各种缺陷，减少模具污染等。

(1) 排气方式 模具的排气方式很多，如图 2-65 所示。图 2-65a 所示为利用分型面的间隙排气，图 2-65b、c、d、e 为利用活动零件间的间隙排气，图 2-65f 是在分型面上开设排气槽排气。

(2) 排气槽的尺寸 排气槽的尺寸设计，应能防止在排气的同时物料溢进槽内，其次还要防止堵塞。因此从模具型腔内表面向型腔体外缘方向测量，排气槽尺寸一般为长 1.5 ~ 6mm，深 0.02 ~ 0.05mm，长 6 ~ 12mm 以上的排气槽部分，深度要放大约 0.25 ~ 0.4mm。不同塑料的排气槽深度见表 2-13。

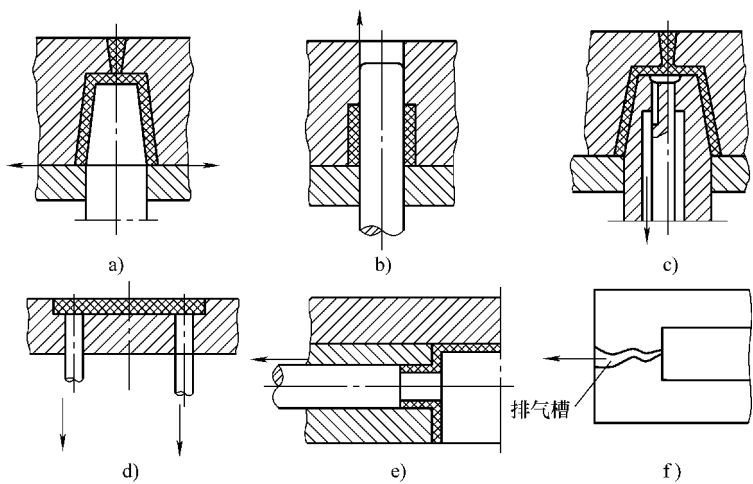


图 2-65 几种常见的排气方式

表 2-13 不同塑料的排气槽深度

塑 料 名 称	排气槽深度/mm	塑 料 名 称	排气槽深度/mm
PE	0.02	PA	0.01
PP	0.01 ~ 0.02	PA (含玻璃纤维)	0.01 ~ 0.03
PS	0.02	PC	0.02 ~ 0.03
ABS	0.03	PC (含玻璃纤维)	0.05 ~ 0.07
POM	0.01 ~ 0.03	PBT (含玻璃纤维)	0.01 ~ 0.03
PMMA	0.02 ~ 0.03		

(3) 热固性塑料成型时的排气槽设计 热固性塑料成型时的排气比热塑性塑料更为重要。在浇口前面的分流道中，排气槽的宽度应等于分流道宽度，深为 0.12mm。模具型腔的四周，各排气槽应相隔 25mm，宽度为 6.5mm，深为 0.075 ~ 0.16mm，视物料流动性而定，较软的材料应取较低的值。顶出杆应尽量放大，而且在大多数场合，顶出杆圆柱面上应磨出 3 ~ 4 个高 0.05mm 的平面，磨痕方向应沿顶出杆长度方向。磨削使用粒度较细的砂轮进行。顶出杆端面应当磨出 0.12mm 的倒角，这样若有飞边形成时，就会粘附在制品上。

2.2.7 合模导向机构设计

合模导向机构是塑料模具中的一个重要组成部分，一般可分为导柱导向机构和锥面定位机构。它设在相对运动的各类机构中，在工作过程中起到定位、导向的作用。

1. 导柱导向机构

导柱导向机构是利用导柱与导向套之间的配合来保证模具的对合精度。导柱导

向机构定位精度不高，不能承受大的侧压力。

(1) 导柱和导向套的结构形式 导柱的前端部应做成锥形或半球形的先导部分，锥角为 $20^\circ \sim 30^\circ$ ，以引导导柱顺利地进入导向孔。导向套的作用是导柱孔磨损之后便于更换。导柱的结构形式有阶梯形和直通形，如图 2-66 和图 2-67 所示，两种常用的导套结构如图 2-68 所示。

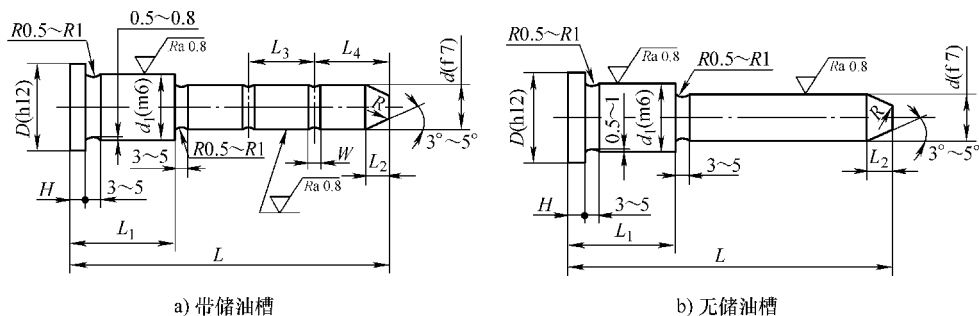


图 2-66 阶梯形导柱

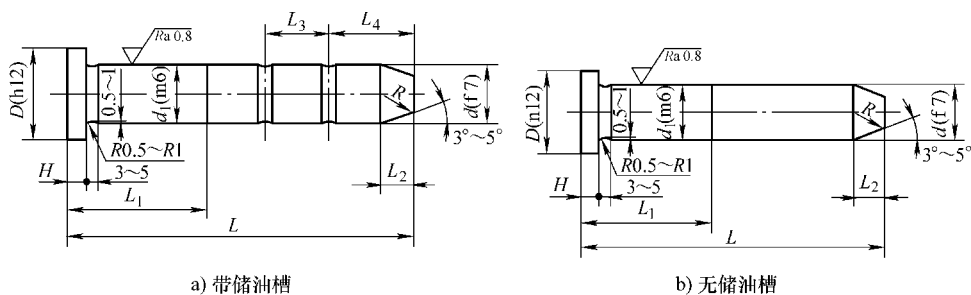


图 2-67 直通形导柱

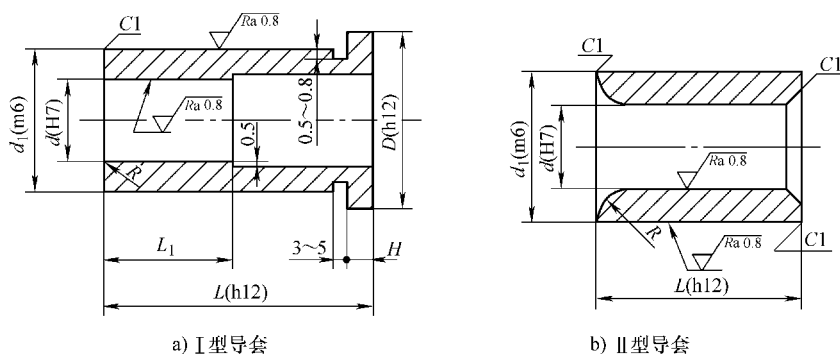


图 2-68 导套结构

(2) 对导柱和导向套的要求

1) 导柱和导向套应有好的耐磨性和一定的工作强度。

2) 导柱和导向套用优质碳素钢、优质碳素工具钢或锰硼合金钢制造。工作表面经机加工后，粗糙度 Ra 应不大于 $0.65\mu\text{m}$ 。

3) 导柱和导向套的滑动配合表面应进行热处理，表面硬度为 $50 \sim 55\text{HRC}$ 。如果用 45 号钢制造，粗加工后应先调质处理，再精加工成型。

4) 导柱和导向套工作时要有良好的润滑。滑动配合表面要有润滑油沟。

5) 导柱不能过于细长，为保证导柱的工作强度，导柱直径与导柱比例要合理，具体尺寸见图 2-69 和表 2-14。

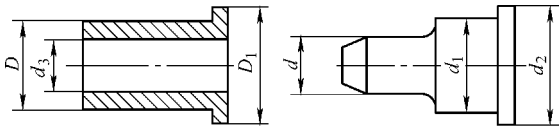


图 2-69 导柱与导向套各部分尺寸

表 2-14 导柱与导向套各部分尺寸

导柱直径/mm			导向套直径/mm		
d	d_1	d_2	d_3	D	D_1
8	14	20	8	14	20
12	18	24	12	18	24
15	21	27	15	21	27
20	28	36	20	28	36
25	34	43	25	34	43
30	39	47	30	39	47
35	45	55	35	45	55
45	57	67	45	57	67

注：导柱与导向套采用 H8/f8 配合，导柱固定部分用 H8/S7 配合，导向套外圆固定部分用 H8/S7 配合。

6) 导柱应固定在型腔模板（即定模板）上，导柱和导向套与模板的配合部分一般应采用静配合。导柱和导向套的配合工作位置如图 2-70 所示。

2. 锥面定位机构

锥面定位用于成型大型、深腔、精度要求高的塑料制品，特别是薄壁容器、偏心制品。由于制品大，成型压力可能会引起型芯或型腔偏移，如果这个力完全由导柱来承受，会发生导柱卡住或损坏现象，因此采用锥面定位。锥面定位机构定位精度高，能承受大的侧压力，但导向作用不大。锥面定位机构的形式如图 2-71 所示。

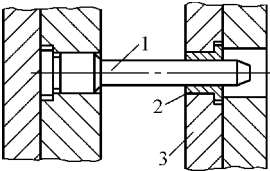


图 2-70 导柱和导向套的配合工作位置

1—导柱 2—导向套 3—动模板

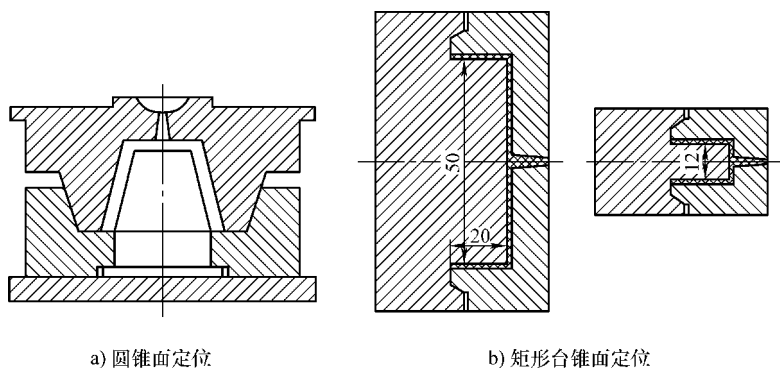


图 2-71 锥面定位机构

2.2.8 脱模机构设计

在注射成型的每一个周期中，必须将制品从模具型腔中脱出，这种把制品从型腔中脱出的机构称为脱模机构，也称为顶出机构或推出机构。

1. 对脱模机构的要求

(1) 保证制品不变形损坏 要正确分析制品对型腔的附着力的大小和所在部位，以便选择适当的脱模方式和顶出位置，使脱模力分布合理。

(2) 制品外观良好 不同的脱模机构、不同的顶出位置，对制品外观的影响是不同的。设计脱模机构时，顶出位置应尽量设在制品内部，以免损伤制品的外观。

(3) 结构可靠 脱模机构应工作可靠、运动灵活、制造容易、更换方便。

2. 脱模机构的分类

脱模机构的分类方法很多，可以按动力来源分类，也可以按模具的结构形式分类。

(1) 按动力来源分类 动力来源是指以什么作为动力使制品脱出，常见的有人工操纵机械顶出和液压、气压驱动。

1) 手动脱模机构 开模后，用人工操纵脱模机构脱出制品或直接由人工将制品从模具中脱出，多用于注射机不设脱模装置的定模一方。

2) 机动脱模机构 利用注射机的开模动作驱动脱模机构脱出制品。

3) 液压脱模机构 利用注射机上设置的液压顶出液压缸，驱动脱模机构脱出制品。

4) 气压脱模机构 利用压缩空气将制品从型腔中吹出。

(2) 按模具结构形式分类 可分为一次脱模机构、双脱模机构、顺序脱模机构、二次脱模机构、浇注系统凝料脱模机构和带螺纹制品的脱模机构。

3. 一次脱模机构

一次脱模机构是指脱模机构一次动作完成制品脱模的机构。它是脱模机构的基本结构形式，有推杆脱模机构、推管脱模机构、推件板脱模机构、压缩空气脱模机构、多元件联合脱模机构等。

(1) 推杆脱模机构 推杆脱模机构结构简单、制造和更换方便、滑动阻力小、脱模位置灵活，是脱模机构中最常用的一种结构形式。但因推杆与制品的接触面积小，脱模过程中易使制品变形或开裂，因此推杆脱模机构不适合脱模阻力大的制品。同时还应注意制品上留下的推杆痕迹对制品外观的影响。

推杆脱模机构的结构形式如图 2-72 所示，主要由推杆、推板、推杆固定板、推板导柱、推板导套和复位杆等零件组成。

开模时，靠注射机的机械推杆或脱模液压缸使脱模机构运动，推动制品脱落。合模时，靠复位杆使脱模机构复位。

在设计推杆脱模机构时要注意以下几点：

1) 推杆的位置。推出位置应设在制品强度较好的部位，外观质量要求不高的表面，推杆应设在脱模阻力大或靠近脱模阻力大的部位，但应注意推杆孔周围的强度，同时应注意避开冷却水道和侧抽芯机构，以免发生干涉。

2) 推杆的长度。推杆的长度由模具结构和推出距离而定。推杆端面与型腔表面平齐或略高。

3) 推杆的配合。推杆与推杆孔之间一般采用 H7/f6 的配合，配合长度取 $(1.8 \sim 2.0)d$ ，在配合长度以外可扩孔 $0.5 \sim 1\text{mm}$ 。

4) 推杆的数量。在保证制品质量与脱模顺利的前提下，推杆数量不宜过多，这样可简化模具和减小其对制品表面质量的影响。

(2) 推管脱模机构 推管脱模机构用于制品直径较小、深度较大的圆筒形部分的脱模，其脱模的运动方式与推杆脱模机构相同。推管脱模机构的结构如图 2-73 所示。

推管脱模机构的推出面呈圆环形，推出力均匀，无推出痕。但过薄的推管

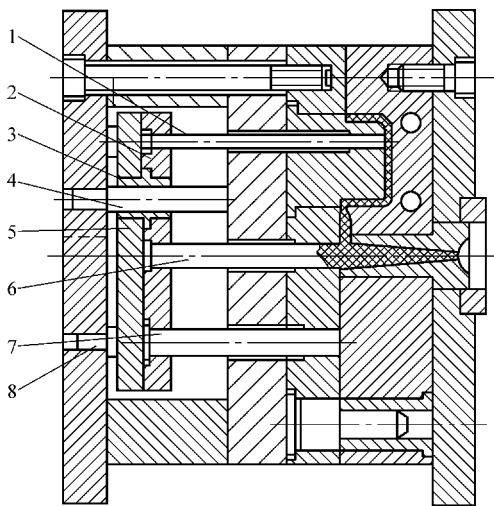


图 2-72 推杆脱模机构

1—推杆 2—推杆固定板 3—推板导套 4—推板导柱
5—推板 6—拉料杆 7—复位杆 8—限位钉

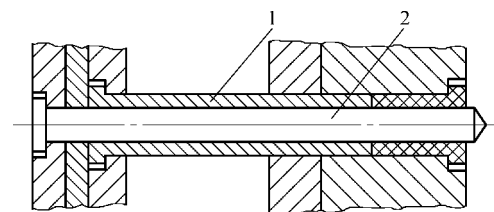


图 2-73 推管脱模机构

1—推管 2—型芯

容易损坏。

(3) 推件板脱模机构 对一些深腔薄壁和不允许留有推杆痕迹的制品，可采用推件板脱模机构。推件板脱模机构结构简单、推动制品平稳、推出力均匀、推出面积大，也是一种很常用的脱模机构形式，但当型芯周边形状复杂时，推件板的型孔加工比较困难。

推件板脱模机构的结构形式如图 2-74 所示。图 2-74a、b 用连接推杆将推板和推件板固定连接在一起，目的是在脱模过程中支撑推件板，防止推件板由于向前运动的惯性而从导柱或型芯上滑落。图 2-74c 是直接利用注射机的两侧推杆顶推件板的结构，推件板由定距螺钉限位。图 2-74d、e 为推件板无限位的结构形式，顶出时需严格控制推件板的行程。

为防止推件板在顶出过程中和型芯摩擦，对推件板一般应设有导柱导向，如图 2-74a、c、e 所示。

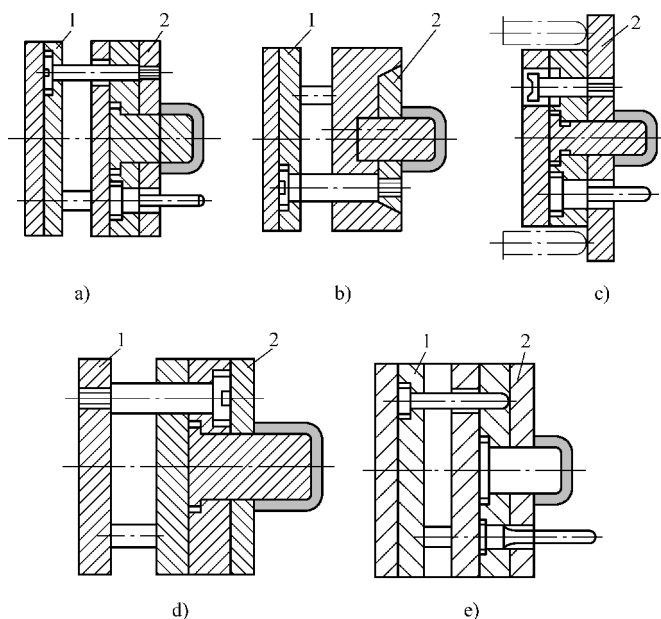


图 2-74 推件板脱模机构的结构形式

1—推板 2—推件板

在合模过程中，推板能在锁模力的作用下回到初始位置，因此在推件板脱模机构中不必设复位机构，但推板的推出距离不得大于导柱长度。当推件板顶出不带通孔的深腔和小脱模斜度的壳类制品时，为防止顶出时制品内部形成真空，应考虑采用进气装置。

(4) 压缩空气脱模机构 在型芯中设置压缩空气推出阀门，在型芯和塑料制品之间吹入 0.5 ~ 0.6 MPa 的压缩空气，利用压缩空气的压力，使塑料制品一次脱

模。如图 2-75 所示，靠弹簧力将阀门闭合，当制品固化后通入压缩空气，使弹簧压缩即开启阀门，使制品脱落。

压缩空气脱模机构加工简单，不需要安装推板，适用于深腔薄壁制品的脱模。在脱模过程中整个制品的底部受到均匀同样的压力，所以即便是软质塑料，也可以在制品不发生变形的条件下脱离模具，通常压缩空气脱模要求脱模斜度应大于 2° 。对于形状复杂，需要较大脱模力的制品，压缩空气脱模机构无法满足要求。

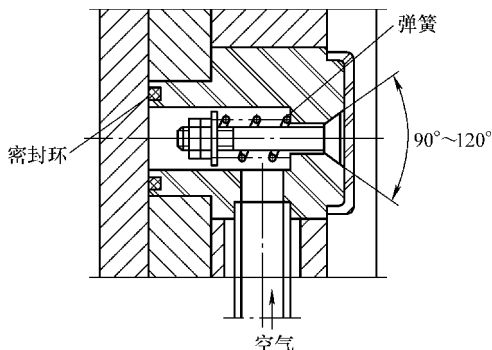


图 2-75 压缩空气脱模机构

(5) 多元件联合脱模机构 对一些深腔壳体、薄壁制品以及带有局部环状凸起、凸肋或金属嵌件的复杂制品，如果只采用一种推出零件，容易使制品在推出过程中出现缺陷，对此可在脱模机构中采用两种或两种以上的推出零件，如图 2-76 所示。

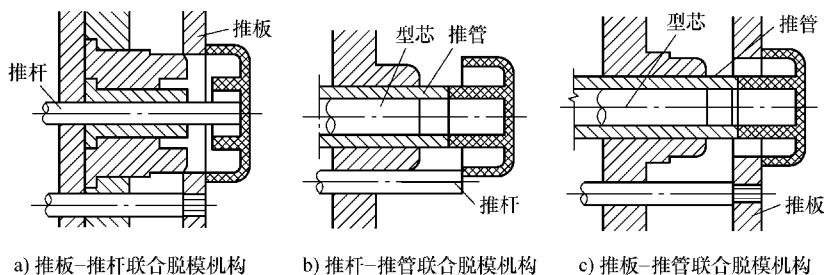


图 2-76 多元件联合脱模机构

当型芯内部阻力大，只用推板或推杆易损坏制品时，可采用以推板为主，推杆为辅的联合脱模方式（图 2-76a）；当制品有凸起深筒且脱模斜度小的情况下，其凸起深筒周边阻力大，可采用以推杆为主，推管为辅的联合脱模方式（图 2-76b），也可采用以推板为主，推管为辅的联合脱模方式（图 2-76c）。

4. 顺序脱模机构

根据模具的动作要求，使模具的几个分型面按一定的顺序要求分开的机构称为顺序脱模机构或顺序分型机构，又称定距分型拉紧机构。常见的顺序脱模机构有弹簧顺序脱模机构、拉钩顺序脱模机构和锁扣式顺序脱模机构。

(1) 弹簧顺序脱模机构 弹簧顺序脱模机构如图 2-77 所示，合模时弹簧被压缩，开模时借助弹簧的弹力使分型面 I 首先分型，分型距离由限位螺钉 5 控制，在分型时完成侧抽芯。当限位螺钉拉住型腔模 7 时，继续开模，分型面 II 分型，制品脱出型腔，留在型芯 3 上，然后由推件板 4 将制品从型芯上脱下。

(2) 拉钩顺序脱模机构 拉钩顺序脱模机构如图 2-78 所示, 开模时, 由于拉钩 3 的作用, 分型面 II 不能分开, 使分型面 I 首先分型。分型到一定距离后, 拉钩 3 在压块 1 的作用下产生摆动, 和挡块 2 脱开, 定模板在定距拉板 4 的作用下停止运动, 继续开模, 分型面 II 分型。

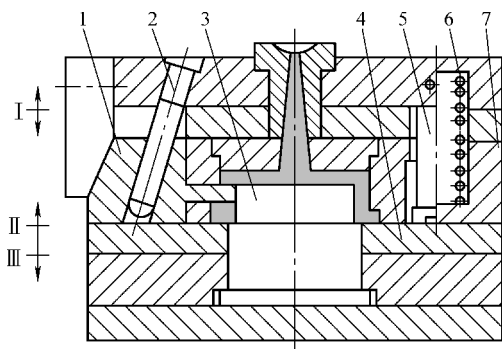


图 2-77 弹簧顺序脱模机构

1—滑块 2—斜导柱 3—型芯 4—推件板
5—限位螺钉 6—弹簧 7—型腔模

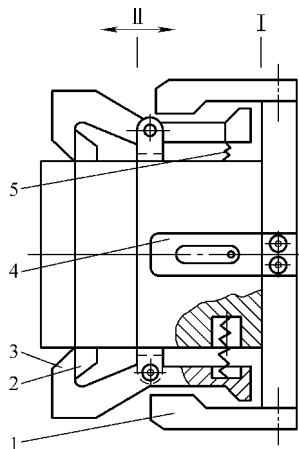


图 2-78 拉钩顺序脱模机构

1—压块 2—挡块 3—拉钩
4—定距拉板 5—弹簧

(3) 锁扣式顺序脱模机构 锁扣式顺序脱模机构如图 2-79 所示, 开模时, 拉杆 1 在弹簧 3 及滚柱 4 的夹持下被锁紧, 确保模具进行第一次分型。随后在限位零件 (图中未画出) 的作用下, 拉杆 1 强行脱离滚柱 4, 模具进行第二次分型。

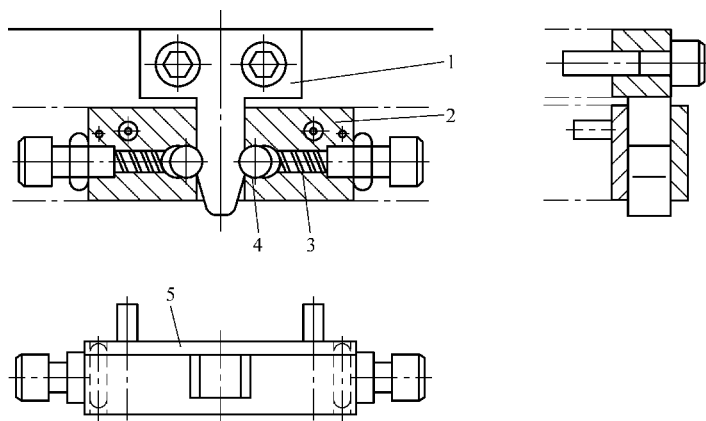


图 2-79 锁扣式顺序脱模机构

1—拉杆 2—支座 3—弹簧 4—滚柱 5—盖板

2.2.9 侧向分型抽芯机构设计

当制品具有与开模方向不同的内外侧凹或侧孔时,除极少数可采用强制脱模外,都需先进行侧向分型或抽芯,方能脱出制品。完成侧分型面分开和闭合的机构叫侧向分型机构,完成侧型芯抽出和复位的机构叫侧向抽芯机构。侧向分型机构和侧向抽芯机构本质上并无任何差别,均为侧向运动机构,故把二者统称为侧向分型抽芯机构。

侧向分型抽芯的方式按其动力来源可分为以下三类:手动侧向分型抽芯;机动侧向分型抽芯;液压或气动侧向分型抽芯。

1. 手动侧向分型抽芯机构

手动侧向分型抽芯机构结构简单、模具制造成本低,但操作麻烦,生产效率低,劳动强度大,且抽拔力受到人力限制,只有在小批量生产和试制生产时才采用。手动侧向分型抽芯机构分为模内手动和模外手动两种形式。

(1) 模内手动侧向分型抽芯机构 模内手动侧向分型抽芯是在开模前或开模后由人工搬动模具上的分型抽芯机构,完成抽芯动作。图2-80是手动螺杆侧向抽芯机构。开模后,滑块2和楔紧块3脱开,转动螺杆4,从而带动滑块2、侧芯1完成抽拔。合模前转动螺杆,使滑块、侧芯复位后再合模,滑块由楔紧块3锁紧。

图2-81是手动齿轮齿条侧向抽芯机构。利用齿轮齿条传动,手动抽出型芯。开模后,转动手柄轴3,齿轮4带动齿条型芯2抽出。由于齿条无自锁作用,齿条型芯2复位后由锁紧楔1锁住型芯。

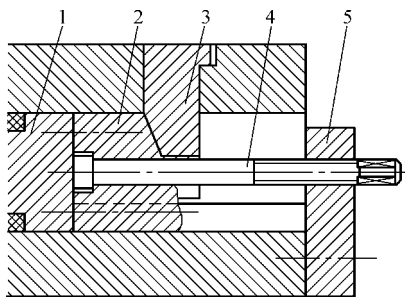


图 2-80 手动螺杆侧向抽芯机构

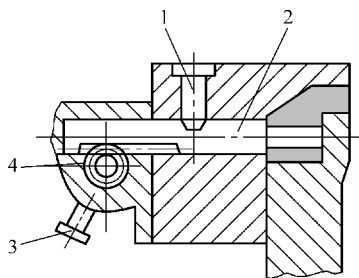


图 2-81 手动齿轮齿条侧向抽芯机构

1—侧芯 2—滑块 3—楔紧块 4—螺杆 5—支架 1—锁紧楔 2—齿条型芯 3—手柄轴 4—齿轮

(2) 模外手动侧向分型抽芯机构 制品受到结构形状限制或生产批量很小时不宜采用模内手动侧向分型抽芯机构时,可以采用模外手动分型抽芯机构,即镶块或型芯和制品一起推出模外,然后用人工或简单的机构将镶块从制品上取下的结构。

图2-82所示是模外手动侧向分型抽芯机构。在推杆1端部开孔,孔中装有两块活动镶块2,螺纹型芯3装于定模边。开模时,动定模分开,制品、螺纹型芯留

在动模一边,然后由推杆1将制品从动模板中顶出,再由手工将制品连同活动镶块2、螺纹型芯3一同从推杆上取下,在模外将活动镶块和螺纹型芯从制品上卸下。合模前,将螺纹型芯、活动镶块分别装入模内。

2. 机动侧向分型抽芯机构

机动侧向分型抽芯机构的形式很多,大多利用斜面将开合模运动或顶出运动转变为侧向运动,也有用弹簧或齿轮齿条来实现运动方向的转变与侧向分型抽芯动作的。

利用斜面实现运动方向转变的有斜导柱侧向分型抽芯机构、弯销侧向分型抽芯机构、斜槽侧向分型抽芯机构、楔块侧向分型抽芯机构、斜滑块侧向分型抽芯机构等。

(1) 斜导柱侧向分型抽芯机构 斜导柱侧向分型抽芯机构结构简单、制造加工方便,是机动式侧向分型抽芯机构中最常用的一种形式。斜导柱与开模方向的夹角,要兼顾抽芯距和斜导柱所受的弯曲力,一般取 $15^{\circ} \sim 20^{\circ}$,最大不超过 25° 。材料一般是T8、T10,淬火硬度要达55HRC以上,表面粗糙度 $Ra = 1.6\mu\text{m}$ 。图2-83是典型的斜导柱侧向分型抽芯机构。

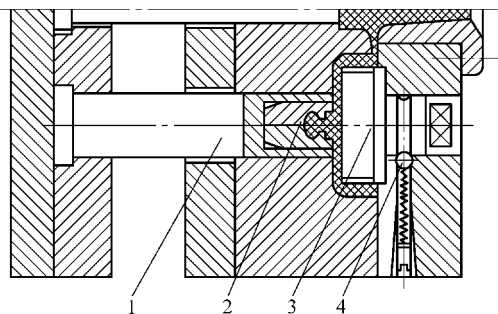


图 2-82 模外手动侧向分型抽芯机构

1—推杆 2—活动镶块 3—螺纹型芯 4—滚珠

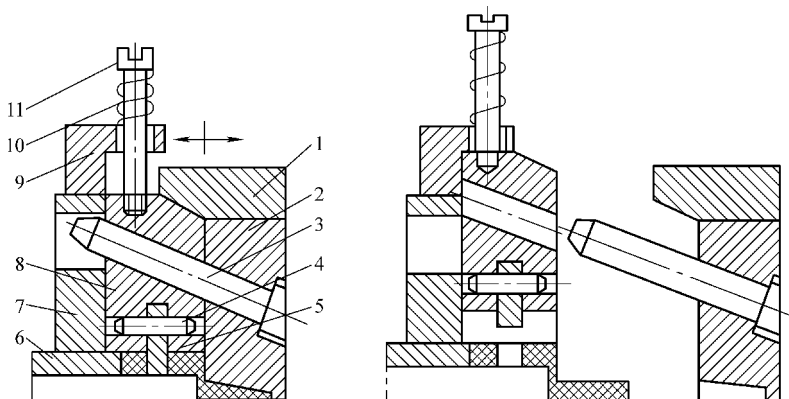


图 2-83 斜导柱侧向分型抽芯机构

1—楔紧块 2—定模座板 3—斜导柱 4—销钉 5—侧型芯 6—推管
7—动模板 8—滑块 9—限位挡块 10—压缩弹簧 11—螺钉

斜导柱的典型结构如图2-84a所示,斜导柱的安装形式如图2-84b所示,其固定部分与模板的配合为H7/m6,与滑块是间隙配合,一般为H11/a11,有时需保持

0.5 ~ 1.0mm 的间隙。

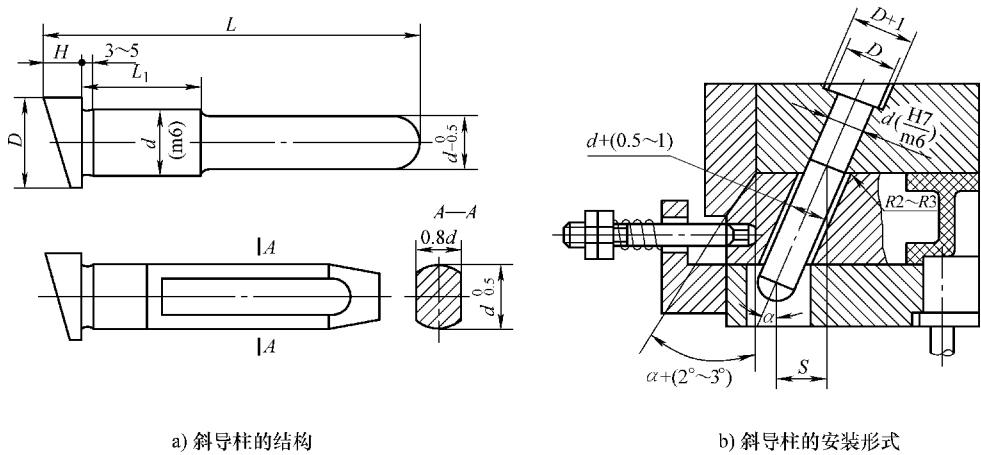


图 2-84 斜导柱的典型结构及其安装形式

(2) 斜滑块侧向分型抽芯机构 斜滑块侧向分型抽芯机构是利用滑块的斜向运动，这种斜向运动可以在开模运动中完成，也可以随着顶出运动同时完成。利用斜滑块机构既可以外侧抽芯（如图 2-85 所示），也可以内侧抽芯（如图 2-86 所示）。通常斜滑块由锥形模套锁紧，能承受较大的侧向力，但抽拔距离不大，制品不易自动脱落，需人工取出。

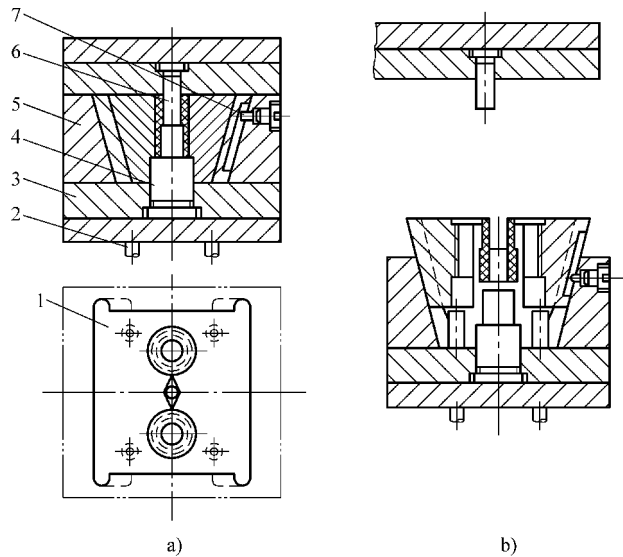


图 2-85 斜滑块外侧抽芯

1—斜滑块 2—顶杆 3—型芯固定板 4—下型芯 5—锥形模套 6—上型芯 7—限位钉

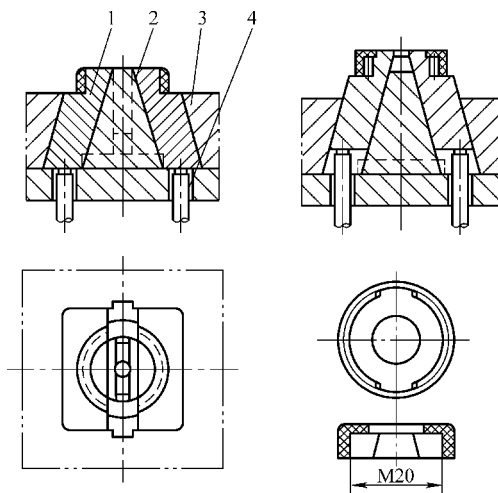


图 2-86 斜滑块内侧抽芯

1—斜滑块 2—型芯 3—固定板 4—推杆

根据制品侧凹的实际情况，斜滑块可以由 2 个或 2 个以上的拼块拼合组成完整型腔，如图 2-87 所示。

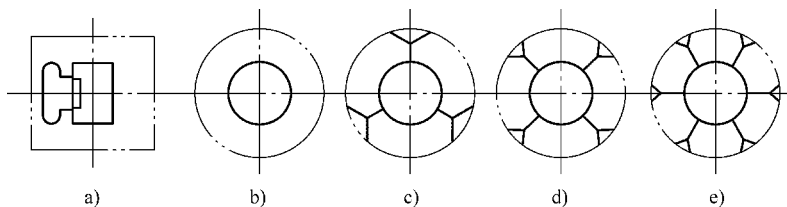


图 2-87 斜滑块的拼合形式

利用斜滑块与导滑槽之间的滑动配合，可以达到侧向分型与复位的目的。图 2-88 是斜滑块和导滑槽的几种配合形式。

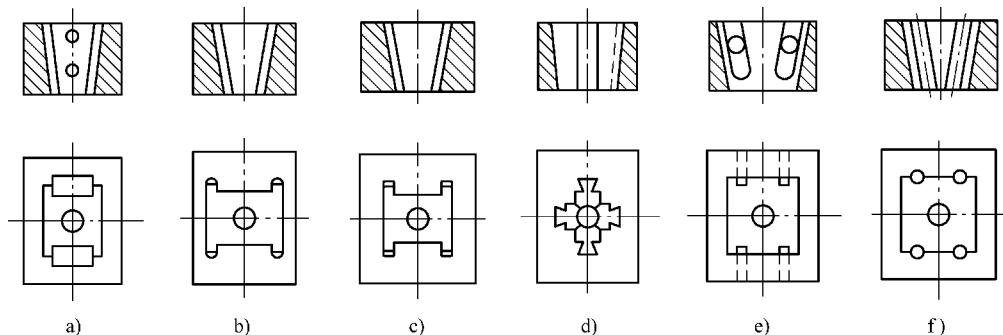


图 2-88 斜滑块和导滑槽的配合形式

为保证斜滑块能顺利地模套的导滑槽内滑动，斜滑块与导滑槽之间应该有适当的配合间隙。表 2-15 列出了双向配合间隙 z 值与配合面宽度 L 的关系。

表 2-15 斜滑块与导滑槽的双向配合间隙 (单位: mm)

L	<20	20 ~ 40	40 ~ 60	60 ~ 80	80 ~ 100	100 ~ 120	120 ~ 140	140 ~ 160	160 ~ 180	180 ~ 200
z	0.02 ~ 0.03	0.03 ~ 0.05	0.04 ~ 0.06	0.05 ~ 0.07	0.07 ~ 0.09	0.08 ~ 0.11	0.09 ~ 0.12	0.11 ~ 0.13	0.13 ~ 0.15	0.14 ~ 0.17

为了使斜滑块的拼缝能配合紧密，成型中不溢料，必须在斜滑块装入模套之后，下端面与模套间留有 0.2 ~ 0.5mm 的间隙，上端面高出模套 0.2 ~ 0.5mm，这样即使斜滑块的导滑部分出现磨损，也能保证滑块之间紧密拼合，如图 2-89 所示。

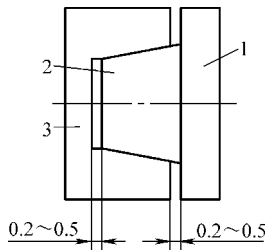


图 2-89 斜滑块与模套的配合
1—定模板 2—滑块 3—模套

(3) 弯销分型抽芯机构 弯销抽芯原理与斜导柱抽芯很相似，也是以弯销驱动滑块进行抽芯，但弯销是以矩形截面代替了斜导柱的圆形截面，以弯折状代替了斜导柱的直状，滑块上的孔形也变为弯折状，这样的改变有利于在有限的开模行程中得到较大的抽芯距，并可以承受较大的抽拔阻力。斜角以小于 25°为好，最大不超过 30°。

弯销的固定方式如图 2-90 所示，既可装在模内，又可装在模外。其中图 2-90d 所示弯销的中间开有长槽，用特殊螺钉与滑块连接，使之沿长槽滑动，可省去加工斜方孔。

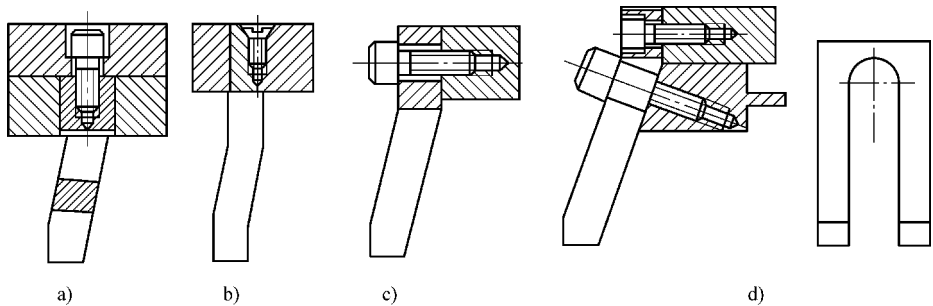


图 2-90 弯销的固定方式

弯销抽芯的几种常用结构如图 2-91 ~ 图 2-94 所示。

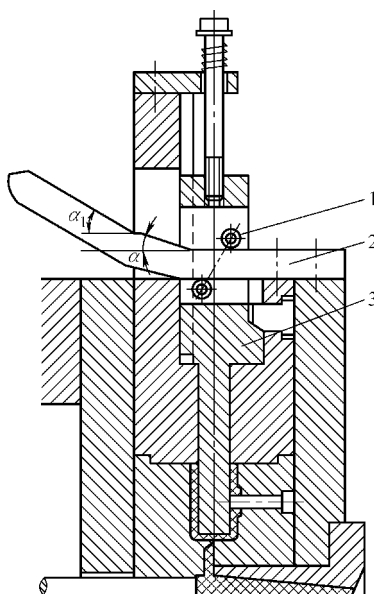


图 2-91 不同斜度的弯销机构

1—滚轮 2—弯销 3—滑块

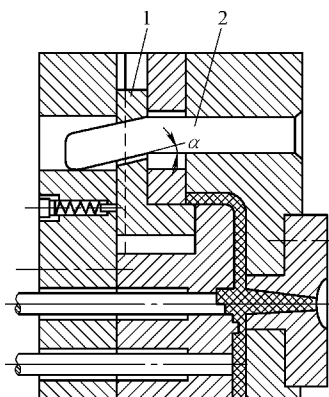


图 2-92 弯销设在定模边的内侧抽芯机构

1—滑块 2—弯销

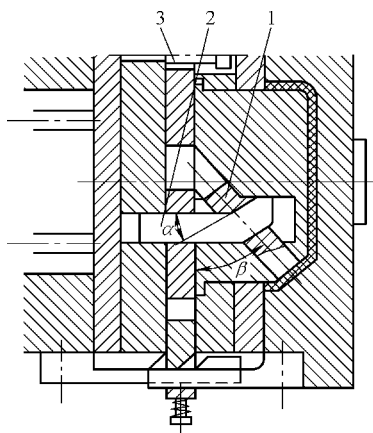


图 2-93 弯销设在定模内的内侧抽芯机构 定模外的内侧抽芯机构

1—滑块 2—弯销 3—限位钉 2—导板 3—滑块

3. 液压或气动侧向分型抽芯

活动型芯靠液压系统或气压系统抽出，有的注射机本身就带有抽芯液压缸，比较方便，但是一般的注射机没有这种装置，可以根据需要另行设计。由于注射机本身就是使用高压液体作为动力的，因此采用液动比气动要方便些。这种方法不仅传

动平稳,而且可以得到较大的抽拔力和较长的抽芯距。

图2-95是液压抽芯一例,液压缸8通过支架7装在动模板5上,由连接器6与拉杆4连接,拉杆4与侧型芯2连接。开模时,通过液压活塞往复带动拉杆4实现抽芯和型芯复位。侧型芯2上的楔紧块3与定模板1配合,对型芯起锁紧作用。

图2-96是气动侧抽芯结构,侧型芯和气缸均设在定模边,开模前先抽芯,开模后由推杆将制品推出,合模后侧型芯才能复位。

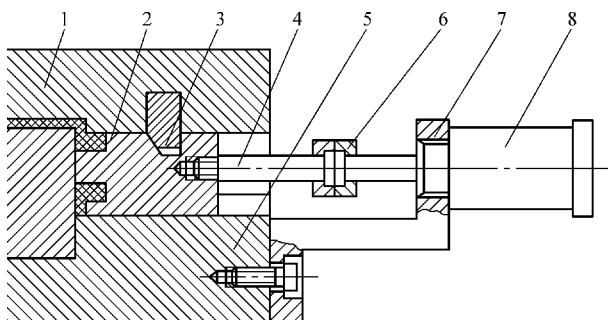


图2-95 液压抽芯

1—定模板 2—侧型芯 3—楔紧块 4—拉杆 5—动模板
6—连接器 7—支架 8—液压缸

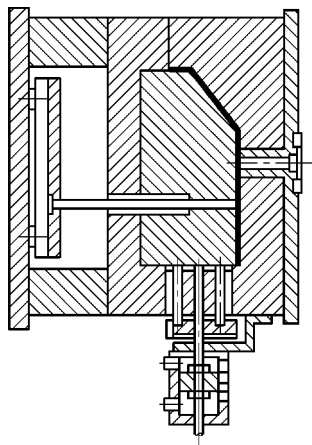


图2-96 气动侧抽芯结构

2.2.10 温度调节系统设计

由于各种塑料的性能和加工工艺的不同,所以对模具温度的要求也不同。对热固性塑料,需在模内受热交联固化,模温要求较高;而热塑性塑料,由于其性能的差异,故对模具温度的要求不同。对于流动性好的塑料,如PE、PS、PMMA、PP等模温要求较低,需用常温水进行冷却;对于流动性差的塑料,如PC、聚苯醚、POM等模温要求较高,需用热水、热油或电加热的方式对模具进行辅助加热。

1. 模温的控制原则

为了保证在有效的时间内生产出高质量、尺寸稳定、变形小的塑料制品,设计时应清楚了解模具温度控制的基本原则。

1) 不同表面质量、不同结构的模具要求不同的模具温度,这就要求在设计温控系统时具有针对性。

2) 型腔的温度高于型芯的温度,一般情况下温度差为20~30℃。

3) 有火花纹要求的凹模温度比一般光面要求的凹模温度高。当凹模须通热水

或热油时，一般温度差为 40°C 左右。

4) 当实际的模具温度不能达到所要求的模温时，应对模具进行升温。因此模具设计时，应充分考虑熔融塑料带入模具的热量能否满足模温要求。

5) 模温应均衡，不能有局部过热、过冷现象。

2. 冷却系统

塑料模冷却系统的结构形式取决于制品形状、尺寸、模具结构、浇口位置、型腔表面温度分布要求等。

(1) 型腔的冷却 常见的型腔冷却方式如图 2-97 所示，其中图 2-97a 的冷却水流道较长，其出、入口温差较大；图 2-97b 的冷却水流道较短，其出、入口温差较小。为了减小出、入口温差，必要时，要在模具上设置多对冷却水流道的出口和入口。图 2-97c 为外连接直流循环式冷却结构，用塑料管从外部连接，易加工，且便于检查有无堵塞现象。当型腔深度大，且为整体组合式结构时，可采用图 2-97d 所示方式冷却。

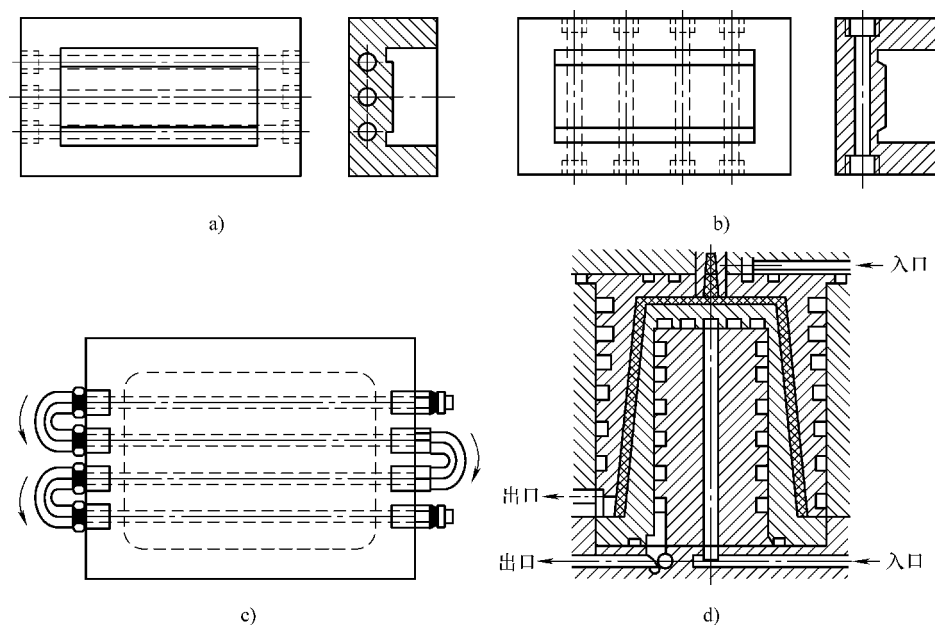


图 2-97 型腔的冷却

(2) 型芯的冷却 型芯的冷却方式与型芯的结构、高度、径向尺寸等因素有关。图 2-98 所示结构可用于高度尺寸不大的型芯的冷却，图 2-99 所示结构可用于高度尺寸和径向尺寸都较大的型芯的冷却。当型芯径向尺寸较小时，可采用图 2-100 所示结构冷却；当型芯径向尺寸小时，也可采用图 2-101 所示结构冷却（导热杆式冷却）；当型芯直径很小时，可采用图 2-102 所示结构冷却。

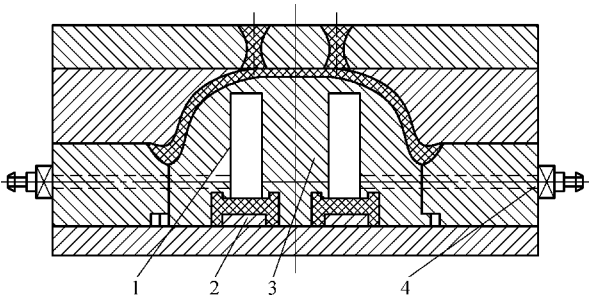


图 2-98 高度尺寸不大的型芯的冷却
1—水道 2—密封圈 3—型芯 4—水嘴

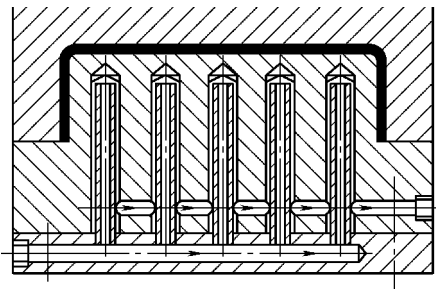


图 2-99 高度尺寸和径向尺寸都较大的型芯的立管喷淋式冷却

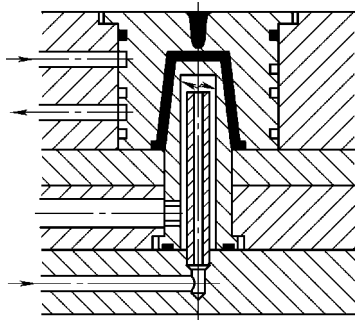


图 2-100 径向尺寸较小的型芯的立管喷淋式冷却

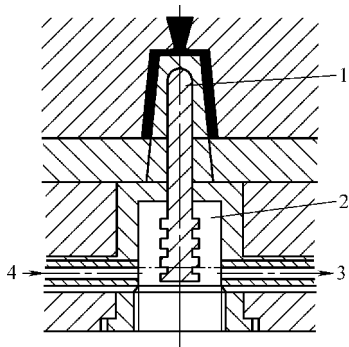


图 2-101 径向尺寸较小的型芯的导热杆式冷却
1—铍铜合金导热杆 2—冷却水道
3—冷却水出口 4—冷却水进口

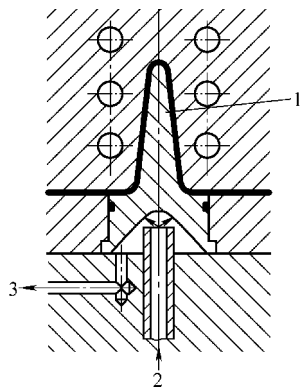


图 2-102 直径很小的型芯的冷却（型芯底部冷却）
1—铍铜合金型芯 2—冷却水进口
3—冷却水出口

3. 加热系统

当注射成型工艺要求模具在 80℃ 以上温度工作时，模具中必须设置加热装置。

模具的加热方法很多,可以用热水、热油、蒸汽及电加热等方法。如果介质是各种流体,其设计方法类似于冷却水道的设计。

(1) 热水、热油、蒸汽等介质加热 该方法适用于注射成型前需要加热,一段时间后又需要冷却的大型注射模具,加热介质可以通过在模具上的管道输入,其结构和设计原则与冷却水管道设计相似,完全可以借用冷却水道来实现对模具的加热。该方法具有强制流动的过程,使整个模具温度分布均匀,有利于提高塑料制品质量,但模具温度调节的周期较长,不易实现自动控制。

(2) 电加热装置 该装置结构简单,使用方便,温度调节范围较大,热损失少,加热清洁无污染,适用于对模具温度要求较高的大型注射模具。缺点是易产生局部过热现象,在设计加热装置时应注意。

电加热装置的主要类型有电热板加热、电热套加热、电热圈加热、电热棒加热等,如图 2-103 所示。将电热元件插(套)在模具的适当部位,并装上热电偶,可以方便地与温度调节器相连,对模具温度进行自动控制,也可以与调压变压器相连,进行人工温度调节。

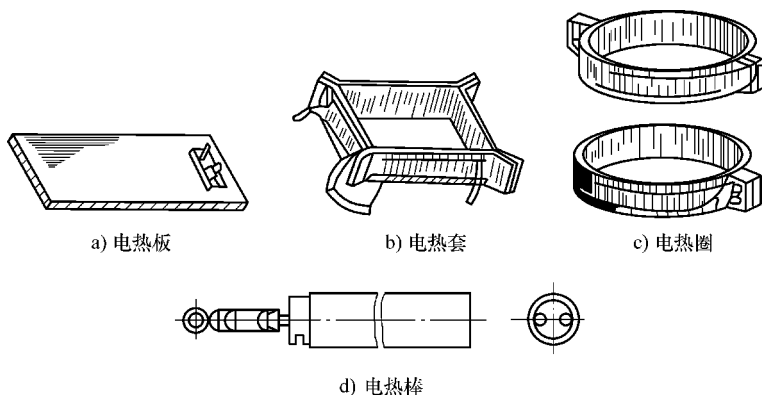


图 2-103 电加热装置

(3) 注意事项 为使模具加热均匀,保证符合成型温度条件,在设计模具电热装置时,必须综合考虑以下两点:

1) 采取有效的保温措施,减少模具的热量传导和辐射损失。通常在模具与设备的固定板之间以及模具四周设置石棉隔热板,其厚度约为 4~5mm。

2) 正确合理地分布加热元件,大型模具可考虑安装两套控温仪表来分别调节中央和边缘部位的温度。通常中央部位的电热元件功率稍小,边缘部位的电热元件功率稍大。

2.2.11 模具材料的选用

由于注射模的结构复杂,零件很多,而且处于不同位置的零件功能各异,对各

零件的要求也就不同，即处于不同位置的零件所用材料及对材料的性能要求是不同的。在选材过程中，不但要考虑模具强度、刚度、制品质量问题，还要考虑模具的加工及成本等重要问题，在满足质量要求的前提下，要尽可能地降低成本。

1. 成型零件

成型零件是指直接成型制品内外表面的组成零件，包括型腔、型芯、成型镶件、成型顶杆等。这些零件要求具有一定的强度、表面耐磨性，热处理性能好，淬火变形小，耐腐蚀等性能。塑料模具成型零件常用材料的选择见表 2-16。

表 2-16 塑料模具成型零件常用材料及热处理

零件名称	材料牌号	热处理	硬度	说明
型腔（凹模） 型芯（凸模） 螺纹型芯 螺纹型环 成型镶件 成型顶杆等	T8A、T10A	淬火	54 ~ 58HRC	用于形状简单的小型芯或型腔
	CrWMn 9Mn2V Cr12 Cr4W2MoV	淬火	54 ~ 68HRC	用于形状复杂，要求热处理变形小的型芯、型腔或镶件
	20CrMnMo 20CrMnTi	渗碳、淬火		
	5CrMnMo 40CrMnMo	渗碳、淬火	54 ~ 68HRC	用于高耐磨、高强度和高韧性的大型型芯、型腔等
	3Cr2W8V 38CrMoA1	调质、氮化	1000HV	用于形状复杂，要求耐腐蚀的高精度型芯、型腔等
	45	调质	22 ~ 26HRC	用于形状简单，要求不高的型芯、型腔
		淬火	43 ~ 48HRC	

2. 一般零件

除成型零件外，塑料模具还有模体零件、浇注系统零件、导向零件、抽芯机构零件、顶出机构零件、定位零件、支承零件及其他零件。这些零件常用材料的选择见表 2-17。

表 2-17 塑料模具一般零件常用材料及热处理

类别	零件名称	材料牌号	热处理	硬度
模体零件	垫板（支承板）、挠口板、锥模套	45	淬火	43 ~ 48HRC
	动、定模板，动、定模座板，脱浇板	45	调质	230 ~ 270HB
	固定板	45	调质	230 ~ 270HB
		A3	—	—
	顶板	T8A、T10A	淬火	54 ~ 58HRC
		45	调质	230 ~ 270HB
浇注系统零件	浇口套、拉料杆、拉料套、分流锥	T8A、T10A	淬火	50 ~ 55HRC

(续)				
类 别	零 件 名 称	材 料 牌 号	热 处 理	硬 度
导向零件	导柱	20	渗碳、淬火	56 ~ 60HRC
	导套	T8A、T10A	淬火	50 ~ 55HRC
	限位导柱、顶板导柱、顶板导套、导钉	T8A、T10A	淬火	50 ~ 55HRC
抽芯机构零件	斜导柱、滑块	T8A、T10A	淬火	54 ~ 58HRC
	锁紧楔	T8A、T10A	淬火	54 ~ 58HRC
		45		43 ~ 48HRC
顶出机构零件	顶杆、顶管	T8A、T10A	淬火	54 ~ 58HRC
	顶块、复位杆、挡板	45	淬火	43 ~ 48HRC
	顶杆固定板	45、A3	—	—
定位零件	圆锥定位件	T10A	淬火	58 ~ 62HRC
	定位圈	45	—	—
	定距螺钉、限位钉	45	淬火	43 ~ 48HRC
支承零件	支承柱	45	淬火	43 ~ 48HRC
	垫块	45、A3	—	—
其他零件	加料圈、压柱	T8A、T10A	淬火	50 ~ 55HRC
	手柄、套筒			
	喷嘴、水嘴			
	吊钩			

2.2.12 注射模具的安装调试

1. 模具的安装

(1) 模具安装前的检查 模具在试模组装前，操作者应对模具进行检查验证工作，并通过总装图了解模具的基本结构、动作过程及注意事项等。主要内容包括：

- 1) 检查模具的总体高度及外形尺寸是否符合已选定的注射机的尺寸条件。
- 2) 验证模具成型制品用料容积是否与注射机的一次注射量（容积）匹配。
- 3) 核实验证模具工艺要求锁模力是否小于注射机最大锁模力。
- 4) 检查核对成型模具中的脱模装置与注射机合模系统中的制品推出板位置、尺寸是否配套，能否协调工作。
- 5) 检查注射机模板上螺纹孔布置与模具的安装紧固是否适合。
- 6) 检查喷嘴前端的圆弧半径与模具的熔体进口衬套孔径圆弧是否能严密吻合。
- 7) 检查模板上定位套与成型模具定位装置配合是否有间隙；两零件装配后是否能保证喷嘴孔与熔体进口衬套孔中心线重合。

8) 如果模具具有气动或液压结构,其配件是否齐全,阀门、行程开关、油嘴等控制元件是否灵活。

9) 模具闭合后有无专用的吊环或吊环孔,吊环孔的位置是否可以使模具处于平衡吊装状态。

10) 模具闭合状态必须有锁紧板,以防吊装时模具开启造成意外事故的发生。

(2) 模具吊装 用吊架和葫芦吊着模具放在注射机中,然后将模具合紧,调到最紧的位置,安放定位环,对正,合紧模具,停机,上紧压板即可。若没有定位环,则将模具放在大概中间部位,让模具尽量靠近机筒,合模让模具不能动,但能推动调节,注射座慢慢前进,直顶模具的浇口位(不碰到模具,刚刚到就行),看是否对正,高低不正用葫芦放拉,左右不对用手推拉。调正后,注射座前进,顶住模具让模具不能动,再合紧模具,让注射座反复进、退几次,观察喷嘴顶到浇口时有没有左右、上下偏离,若有就开松一点模具微微地调一下。有侧向分型机构的模具,滑块宜安装在水平位置,即活动块是左右移动。

在安装模具时,要注意将注射机按钮选择在“调整”的位置上,使注射机的全部功能置于调试者手动控制之下。在吊装模具时,要将电源关闭,避免接触开关时产生突然动作以及由此而引起意外事故发生的可能性。

(3) 模具紧固 当模具定位环装入注射机定模板的定位圈座后,用极慢的速度闭模,使动模板将模具轻轻压紧,然后上压紧板,压紧板上一定要装垫片。上压紧板时,必须注意将调节螺钉的高度调至与模脚同高,即压紧板要平。如果压紧板是斜的,就不能将模具的模脚压得很紧。压紧板侧面不可靠近模具,以免摩擦损坏模具。

模具紧固好后应再仔细检查模具各部分的机械动作,如滑板、顶针及限制开关等动作是否准确,并注意喷嘴与浇口是否对准。然后在手动及低速的合模动作中注意看是否有任何不顺畅动作并听有无异响等现象。

(4) 校正顶杆顶出距 模具紧固后,慢慢开模,直到动模板停止后退,这时顶杆的位置应调节至模具上的顶出板和动模底板之间尚留有不小于5mm的间隙,以防止损坏模具,而又能顶出制品。

(5) 闭模松紧度的调节 为了防止溢边,又保证型腔适当排气,在调节液压注塞——肘节锁模机构时,主要是凭目测和经验,即在闭模时,肘节先快后慢,即不很自然,也应不太勉强地伸直,闭模松紧度就正好合适。对于要求模温较高的模具,应在模具提升模温后,再校闭模松紧度。

(6) 接冷却水 接通冷却水后,应检查是否畅通、漏水。

2. 模具的调试

一副新模具在正式用于生产以前,试模是必不可少的环节。试模结果的好坏将直接影响工厂的后续生产是否顺畅。因此在试模过程中必须遵循合理的操作步骤并记录试模过程中有用的技术参数,以利于产品的批量生产。

(1) 试模前的注意事项

1) 了解模具的有关资料。最好能取得模具的设计图纸, 对其详细分析, 并请模具技师进行试模工作。

2) 先在工作台上检查模具的机械配合动作, 要注意是否有刮伤, 缺件及松动等现象, 横向滑板动作是否灵活, 水道及气管接头有无泄漏。模具的开模行程若有限制的话也应标明, 避免在装模时发现问题再去拆卸模具所发生的工时浪费。

3) 当确定模具各个动作满足要求后, 就要选择合适的试模注射机。在选择时应注意: 注射机的最大注射量是否满足要求; 拉杆内距是否放得下模具; 活动模板最大的移动行程是否符合要求; 其他相关试模用工具及配件是否准备齐全等。一切都确认没有问题后, 下一步骤就是吊装模具。

4) 模具加热。依据成型所用原料的性能及模具的大小, 选用适当的模温控制机将模具加热到生产时所需的温度。等模温提高之后须再次观察各部分的动作, 因为钢材热膨胀之后可能会引起卡模现象, 因此须注意各部分的滑动, 以免产生拉伤及颤动现象。

5) 试模原料及其预处理。试模与将来量产尽可能采用同样的原料, 并依原料不同, 对所采用的原料进行干燥处理。不要完全用次料试模, 如有颜色需求, 可一并安排试色。

6) 模具在慢速合上之后, 要调好合模压力, 并动作几次, 查看有无合模压力不均等现象, 以免成品产生毛边及模具变形。

7) 内应力等问题经常影响二次加工, 应在试模后待成品稳定再进行二次加工。

以上步骤都检查以后, 在注射第一模之前还应检查加料行程是否太长或不足; 压力是否太高或太低; 充模速度是否太快或太慢; 加工周期是否太长或太短等, 以防止成品短射、断裂、变形、毛边甚至伤及模具。

(2) 试模的主要步骤

1) 查看机筒内的塑料原料是否正确无误及是否按规定进行了干燥处理。试模与生产若用不同的原料很可能得出不同的结果。

2) 机筒的清理务求彻底, 以防降解料或杂料注入模内。测试机筒温度及模具温度是否适合于所加工的原料。

3) 调整压力及注射量以求生产出外观令人满意的成品。在调整各种控制条件之前应综合分析, 慢慢调整, 因为充模速率稍微变动, 可能会引起较大的充模变化。

4) 要耐心地等到机器及模具的条件稳定下来, 即使中型机器可能也要等 30min 以上, 可利用这段时间来查看成品可能出现的问题。

5) 螺杆前进的时间不可短于浇口凝固的时间, 且当模具被加热时螺杆前进时间也需适当延长以便压实成品。

6) 合理调整并缩短总加工周期。

7) 新设置的工艺条件至少运转 30min 直至稳定, 然后至少连续生产 12 模全模样品, 标明日期、数量, 并按型腔分别放置, 以便测试其实际运转的稳定性及导出合理的控制公差 (对多腔模具尤其重要)。

8) 等样品冷却至室温时, 测量并记录样品的重要尺寸, 将每模样品量得的尺寸作比较, 应注意尺寸是否稳定以及尺寸的变动是否在公差范围内等。

9) 如果成品尺寸变动较小而加工条件也正常, 则需观察每一型腔的成品质量是否都能满足要求, 其尺寸是否都在允许公差之内。把测量出连续大于或小于平均值的型腔号记下, 以便检查模具的尺寸是否正确。

10) 记录试模过程中所得到的参数并分析数据以作为修改模具及制定生产条件的参考依据。

妥善保存所有试模过程中的样品检验记录, 包括加工周期、各种压力、熔体及模具温度、机筒温度、注射时间、螺杆转速等, 有助于将来建立相同加工条件的数据, 获得合乎质量标准的产品。

目前工厂试模时往往忽略模具温度, 而在短时试模及将来量产时模具温度最不易掌握, 而不正确的模具温度足以影响样品的尺寸、表面质量、收缩、流纹及欠料等现象, 若不用模温控制器来控制模具温度, 将来量产时就可能出现质量问题。

第3章 注射成型工艺

一个完整的注射成型工艺包括成型前的准备，注射成型工艺参数的选择，注射成型过程和制品的后处理等工艺过程。

3.1 注射成型前的准备工作

为了使注射过程顺利进行，并保证制品质量，在成型前必须做好一系列准备工作，主要包括原材料的预处理（原料的分析检验、配色、干燥处理），螺杆结构的选择，模具的安装调试，嵌件的预热处理，机筒的清洗，脱模剂的选用等。由于塑料的供应方式（粉料或粒料）和性质不同，制品的结构（有无嵌件）和使用要求不同，各种制品在成型前的准备工作也不尽相同，应视具体情况而定。

3.1.1 原材料的预处理

根据塑料的特性和供料情况，在成型加工前应对原料的外观和工艺性能进行检验。如果所用的塑料为粉状，如聚氯乙烯，还应进行配方设计和造粒；如果制品有着色要求，则可加入适量的着色剂或色母料；此外，塑料原料中往往含有不同程度的水分、溶剂及其他易挥发的低分子物质，特别是一些具有吸湿倾向的塑料，含水量总是超过加工所允许的限度，因此在加工前还需要进行干燥处理。

1. 原材料的检验

塑料原材料检验的内容包括原料的种类、外观及工艺性能等。

（1）原材料的种类 塑料原料的种类很多，不同类型的塑料，采用的加工工艺不同，即使是同种塑料，由于规格不同，适用的加工方法及工艺也不完全相同。判断所用原材料（品种、规格、牌号等）是否正确，就是要看其能否满足制品的使用要求。

（2）原材料的外观 塑料原料的外观包括色泽、颗粒形状、粒子大小、有无杂质等。对外观的要求是色泽均一，颗粒大小均匀，无杂质。

（3）原材料的工艺性能 塑料原料的工艺性能包括熔体流动速率（MFR）、流变性、热性能、结晶性及收缩率等。其中 MFR 是重要的工艺性能之一，可用于判定热塑性塑料在熔融状态时的流动性，作为成型加工温度和压力选择的依据。对某一塑料原料来说，MFR 大，则表示其平均相对分子质量小，流动性好，注射时可选择较低的温度和较小的压力；反之，则表示平均相对分子质量大，流动性差，成型加工较困难。

注射成型用塑料材料的 MFR 通常为 $1 \sim 10\text{g}/10\text{min}$ ，形状简单或强度要求较高的制品选较小的 MFR 值；而形状复杂、薄壁长流程的制品则需选较大的数值。

2. 原材料的着色

注射成型带有颜色的塑料制品时，原料的着色方法有干混法着色和色母料法着色两种。

(1) 干混法着色 干混法着色适用于螺杆式注射机成型塑料制品。该法工艺简单，成本低，但有一定的污染，且需要混合设备。具体操作过程为：首先把原料树脂、颜料和分散剂按一定的比例计量，然后把原料树脂和分散剂混合搅拌均匀，再把颜料和搅拌均匀的树脂料加入到混合机中，搅拌混合均匀后即可直接注射成型。

干混法着色的分散剂一般用白油，根据需要也可用松节油、酒精和某些酯类，加入量约为树脂质量的 1%，颜料用量不应超过树脂质量的 2% ~ 3%。

如果树脂是粉料，则必须先把配好颜料的树脂搅拌混合均匀，然后投入到挤出机中预塑化混合造粒，最后再用粒料注射成型制品。

(2) 色母料法着色 色母料着色法是将热塑性塑料颗粒与色母料颗粒按一定比例混合均匀后用于注射成型。该法操作简单、方便，着色均匀，无污染，成本比干混法着色高一些。目前，该法已得到广泛使用。

为了保证着色塑料制品的质量以及得到较好的着色效果，采用色母料着色配料生产时，应注意以下几点：

- 1) 为了使进入机筒内的颜料尽快地熔化扩散，并与原料树脂较好地掺混，机筒加料段的温度应比塑化不带颜色的此种树脂时的温度略高些。
- 2) 为了改善原料的塑化混炼质量，应适当提高混炼时的塑化压力。
- 3) 对几种色母料的混合、配比和计量，要认真审核和计量。
- 4) 注意降低和保持模具型腔的表面粗糙度，以达到制品表面色泽的最佳效果。
- 5) 当原料为粉料时，一般采用造粒着色，即把粉料和颜色母料经过挤出造粒，获得颜色均匀的颗粒料。

3. 原材料的干燥

有些塑料，如 PA、PC、PMMA、PBT、PET、聚砜（PSF）、聚苯醚（PPO）等，因其大分子上含有亲水基团，容易吸湿。如果水分含量超过允许值，就会使制品表面出现银丝、气泡、缩孔等缺陷，严重时还会导致原料降解，影响制品的外观和内在质量。因此成型前必须对这些塑料原料进行干燥处理。

对于 PE、PP、PS、PVC、POM 等不吸湿的塑料，如果包装严密，储存运输良好，一般可以不需预干燥。

有些树脂本身不吸湿，但加入某种吸湿性的助剂，使整个原料体系变得吸湿，这种原料在成型加工前也必须进行干燥处理。

塑料原料的干燥方法很多，如热风循环干燥、红外线加热干燥、真空加热干

燥、沸腾床干燥和气流干燥等，应根据塑料性能、生产批量和成型条件进行选择。小批量生产用塑料，大多采用热风循环烘箱和红外线加热干燥；大批量生产用塑料，通常采用沸腾干燥和气流干燥；在高温下长时间受热易氧化变色的塑料（如 PA）和对水敏感的塑料（如 PC）宜采用真空烘箱干燥。

当采用热风循环干燥时，影响干燥效果的因素有干燥温度、干燥时间和料层厚度。一般来说，温度越高，低分子及水分挥发越快，但不能超过塑料的软化温度或熔点，否则物料易变软结团，使加料困难；干燥温度也不能太低，否则不易排除水分。较长的干燥时间有利于提高干燥效果，但易造成能源浪费，对热稳定性差的塑料还会引起分解变色；时间太短，水分含量达不到要求。干燥时料层厚度不宜过大，若料层过厚，由于塑料导热性差，在同样的干燥条件下会使表层和中心层干燥效果不同，料层厚度以 20 ~ 50mm 为宜。

部分塑料成型时允许的含水量见表 3-1，常用塑料的干燥条件见表 3-2。

表 3-1 部分塑料成型时允许的含水量

塑 料 名 称	允许含水质量分数（%）	塑 料 名 称	允许含水质量分数（%）
PE	<0.05	PA11	<0.10
PP	<0.05	PA610	<0.05
硬 PVC	<0.10	PA1010	<0.05
软 PVC	<0.10	PA9	<0.05
PS	<0.10	PC	<0.02
HIPS	<0.10	PET	<0.10
PMMA	<0.05	PBT	<0.10
ABS（电镀级）	<0.05	聚苯醚	<0.10
ABS（通用级）	<0.10	聚砜	<0.05
PA6	<0.10	纤维素塑料	<0.50
PA66	<0.10	聚四氟乙烯	<0.06

表 3-2 常用塑料的干燥条件

塑 料 名 称	干燥温度/℃	干燥时间/h	料层厚度/mm
ABS	80 ~ 90	2 ~ 4	30 ~ 40
PA	90 ~ 100	8 ~ 12	<50
PC	120 ~ 130	6 ~ 8	<30
POM	75 ~ 85	3 ~ 5	<30
PMMA	70 ~ 80	4 ~ 6	30 ~ 40
PBT	130	5	20 ~ 30
聚砜	110 ~ 120	4 ~ 6	<30
聚苯醚	110 ~ 120	2 ~ 4	30 ~ 40

有时要快速知道原料中的水分含量是否符合要求，在注射制品之前，一般要通过空注射法观察注射出的料条表面是否光滑，如果光滑，则认为原料中的水分含

量符合要求。

必须注意的是：干燥后的原料要立即使用，如果暂时不用，要密封存放，以免再次吸湿；长时间不用的已干燥过的树脂，使用前应重新干燥。有些在成型温度下对水分特别敏感的塑料，在成型过程中还应考虑采用密封或加热料斗。

3.1.2 螺杆的选择

对于没有特殊要求的常用塑料的注射成型，可用注射机中配置的通用性较强的标准螺杆，这样就可以不用经常调换螺杆。在特殊条件下，应根据成型原料的性能，选择适应其塑化工艺条件要求的螺杆。选配螺杆结构时的意见如下：

1. 结晶型塑料注射成型用螺杆结构

结晶型塑料（PE、PP 和 PA）注射成型时，一般选用有较大压缩比（压缩比为 3~3.5）、螺杆锥形头部有止逆环的螺杆，这主要是为了防止熔体的回流，保证注射机的工作效率。由于这种塑料熔融态时粘度较低，所以应采用防流延型喷嘴结构。

2. 非结晶型塑料注射成型用螺杆结构

非结晶型塑料注射成型时，可采用没有均化段（也叫计量段）而只有加料段和过渡段的螺杆。这种螺杆结构可减少熔体过热，提高螺杆的塑化能力和混炼效果。对于非结晶型高粘度塑料（如 PS、PPO、PC、PMMA、AS 和 POM）的注射成型，应采用直通式喷嘴结构。

3. 硬质聚氯乙烯注射成型用螺杆结构

由于硬质聚氯乙烯树脂的热稳定性差且熔融态时粘度较高，注射成型这种原料时，应选用压缩比较小（压缩比一般为 1.4~2）、长径比较小、螺杆的均化段和加料段较短而且均化段的螺纹槽较深的螺杆结构。为减少存料，螺杆的头部选用锥形，采用直通式喷嘴结构。

3.1.3 模具的安装调试

模具在试模组装前，操作者应对模具进行检查验证工作，并通过总装图了解模具的基本结构、动作过程及注意事项等。成型模具在动、定模板上安装固定后，要进行空运转试车调试检查，以保证动、定模板上的两半成型模具的开、合模动作与合模机构的动作协调，以利于注射成型工作的顺利进行及避免模具在工作过程中出现故障或损坏。这部分内容请参见 2.1.12 节，此处不再赘述。

3.1.4 嵌件的预热

为了满足装配和使用的要求，塑料制品内常常嵌入金属嵌件。注射前，金属嵌件先放在模具内的确定位置，在注射时和塑料熔接成一体。由于塑料与金属的热性能差异较大，两者收缩率不同，因此有嵌件的塑料制品，在嵌件周围易出现裂纹或制品强度较低。为避免以上现象的发生，除了在制品设计时通过加大嵌件周围的壁

厚来克服问题外,对金属嵌件进行预热也是一个有效措施。因为预热后可以减少熔体与嵌件的温度差,使嵌件周围的熔体冷却较慢,收缩比较均匀,产生一定的热料补缩作用,以防止嵌件周围产生过大的内应力。

嵌件的预热要根据塑料的性质和金属嵌件的种类、大小而定。具有刚性分子链的塑料,如 PC、PS、PPO、PSF 等,当有嵌件时,由于易产生应力开裂,嵌件应预热;具有柔性分子链的塑料,且嵌件又较小时,嵌件容易被塑料熔体直接在模具内加热,因此可以不用预热。

嵌件的预热温度以不损伤金属表面镀层为限,一般在 $100 \sim 130^{\circ}\text{C}$ 。对表面没有镀层的铝合金或铜嵌件,预热温度可适当提高到 150°C 左右,预热时间一般为几分钟。

3.1.5 机筒的清洗

新购进的注射机初用之前,或者在生产中需要改变产品(换模)、更换原料、调换颜色或者发现塑料中有分解现象时,都需要对注射机的机筒进行清洗。

1. 柱塞式注射机机筒的清洗

柱塞式注射机机筒的清洗比较困难,原因是这类注射机机筒内的存料量较大,且不易对其转动,因此必须采取拆卸清洗或者采用专用机筒。

2. 螺杆式注射机机筒的清洗

螺杆式注射机的机筒通常采用换料清洗。清洗前要了解机筒内存留料和欲换原料的热稳定性、成型温度范围和二者之间的相容性等基本特性,清洗时要掌握正确的操作步骤,以节省时间和原料。换料清洗有两种方法,即直接换料法和间接换料法,此外,还可用机筒清洗剂清洗机筒。

(1) 直接换料法 若欲换原料和机筒内存留料有共同的熔融温度范围,可采用直接换料法。

1) 当欲换原料和机筒内存留料的成型温度相近时,可在加工温度下直接加入欲换料,进行连续对空注射,待机筒内的剩料清洗完毕后,即可进行正常生产。

2) 当欲换原料的成型温度高于机筒内存留料的成型温度时,应先将机筒和喷嘴温度升到欲换原料的最低加工温度,然后加入欲换原料(或其回收料),连续对空注射,直到把机筒内的剩料全部清洗完毕,再调整温度进行正常生产。

例如机筒中存留的是硬质 PVC 塑料,欲换的料是 ABS 塑料,这时应先将机筒和喷嘴温度加热到 $185 \sim 190^{\circ}\text{C}$,这一温度对 ABS 塑料来说,是较低的成型温度,对硬质 PVC 塑料来说,是呈现最佳流动状态的温度;然后加入 ABS 进行连续对空注射,直至机筒内存留的硬质 PVC 料清洗完毕后,再根据制品的工艺要求,加热到 230°C ,进行正常生产。

3) 当欲换原料的成型温度比机筒内存留料的成型温度低时,应先将机筒和喷嘴温度升到使存留料处于最好的流动状态,然后切断加热电源,用欲换料(或其回收料)连续对空注射,直至把机筒内的存留料排净,待温度降至欲换料的加工温度

时，再加入新原料进行生产。

例如机筒中存留的是 ABS 塑料，欲换的料是硬质 PVC 塑料，可先将机筒温度升至 230℃，切断加热电源，停止加热，待机筒温度降至 190 ~ 200℃ 时，再加入硬质 PVC 塑料，连续对空注射，待机筒中的 ABS 料被清洗完之后，再将温度调到 180 ~ 190℃，进行正常生产。

(2) 间接换料法 若欲换原料和机筒内存留料没有共同的熔融温度范围时，可采用间接换料法，即采用第三种塑料，这种塑料必须与机筒内存留的塑料及欲换的塑料都要有共同的熔融温度范围。

1) 若欲换料的成型温度高（如 PC 成型温度约为 300℃ 左右），而机筒内存留料又是热敏性塑料，如 PVC、POM、聚三氟氯乙烯等，为防止清洗过程中塑料分解，应采用两步法清洗，即间接换料。具体操作过程为：先用热稳定性好的 PP、PS 或 LDPE 塑料或这类塑料的回料作为过渡清洗料，进行过渡换料清洗，然后用欲换料置换出过渡清洗料。每一步换料的操作规程可参考直接换料法。

2) 如果机筒内存留料的成型温度高（如 PC），现要用 POM 在这台注射机上生产制品。POM 的分解温度 (T_d) 不超过 200℃，而 PC 的熔点 (T_m) 是 250 ~ 265℃，这两种塑料之间没有共同的熔融温度范围，所以必须采用间接换料的方式，即找第三种塑料进行过渡，而第三种塑料与这两种塑料都必须有共同的熔融温度。这时选用 PP 塑料作为过渡料。POM、PP 和 PC 三种塑料的熔点、成型温度范围和分解温度见表 3-3。

表 3-3 POM、PP 和 PC 的熔点、成型温度范围和分解温度

塑料品种	$T_m/^\circ\text{C}$	成型温度范围/ $^\circ\text{C}$	$T_d/^\circ\text{C}$
POM	145	165 ~ 185	195
PP	165 ~ 170	190 ~ 310	350
PC	250 ~ 265	285 ~ 320	340 以上

换料操作步骤如下：

第一步，先将温度升到 280℃（即 PC 的最佳流动温度），再加入 PP，边塑化边对空注射，待机筒中的 PC 排完了，再将温度下降到 180℃，即 POM 成型时最适宜的温度。

第二步，温度降到 180℃ 后，加入 POM，边塑化边对空注射，待机筒中的 PP 排完后，保温一段时间就可以生产了。

(3) 机筒清洗剂 由于直接换料和间接换料清洗机筒要浪费大量的塑料原料，因此目前广泛采用机筒清洗剂来清洗机筒，它适用于加工温度范围为 180 ~ 280℃ 的各种热塑性塑料的注射机机筒的清洗。机筒清洗剂的使用方法为：首先将机筒温度升至比正常生产温度高 10 ~ 20℃，排净机筒内的存留料，然后加入清洗剂（对中小型注射机用量为 50 ~ 200g 左右，如黑色 ABS 换成灰色 ABS 则需要 100 ~ 200g），最后加入欲换料，用预塑的方式连续对空注射一段时间即可。若一次清洗

不理想，可重复清洗。

3. 用浅色料取代深色料时机筒的清洗

在用浅色料取代深色料时，要用大量的塑料清洗机筒，并生产很长一段时间后仍有深色料夹在制品中。例如，机筒中存留的是黑色塑料，现在要生产浅色塑料或透明塑料，在机筒清洗完后的一段时间内还可以，但是在随后的生产过程中还不时有黑色的塑料斑点出现在制品中。要使机筒在短期内清洗干净，则要考虑拆机清洗法。所以为了便于机筒的清洗，生产中应先生产颜色浅的、熔融温度低的、热稳定性差的注射制品，这样换料清洗比较方便，也比较容易。现在有些厂家有专用的浅色塑料注射机，在这种专用机上不允许生产深色制品。

3.1.6 脱模剂的选用

脱模剂是使塑料制品容易从模具中脱出而喷涂在模具表面上的一种试剂。注射成型时，制品的脱模主要应依靠正确的模具设计和合理的工艺条件，但由于制品本身的复杂性或工艺条件控制不稳定，可能造成脱模困难，所以在实际生产中经常使用脱模剂。

脱模剂的选用由注射成型用的原料来决定。常用的脱模剂有硬脂酸锌、液体石蜡（俗称白油）和硅油。硬脂酸锌除了 PA 外，一般塑料均可应用，通常多用于高温模具；液体石蜡适用于 PA 制品的脱模，多用于中低温模具；硅油脱模效果最好，只要对模具施用一次，即可长效脱模，但价格较贵，使用不便，使用时需要配成甲苯溶液，涂在模具表面，经干燥后才能显出优良的效果。目前应用较多、操作又很方便的是喷涂雾化脱模剂，市场上销售的脱模剂有 TG 系列甲基硅油和 TB 系列液体石蜡及 TBM 系列蓖麻油，其脱模效果均较好。不同塑料成型制品脱模剂的选用可参照表 3-4。

表 3-4 不同塑料成型制品脱模剂的选用

原 料 品 种	可用的脱模剂
聚苯乙烯、ABS	甲基硅油
硬质或增强塑料	硬脂酸丁酯
除聚酰胺外的各种塑料	硬脂酸锌
聚酰胺	液体石蜡
PC、POM	聚硅氧烷类脱模剂
常用塑料	TG 系列（甲基硅油）
热固性塑料	聚硅氧烷类脱模剂

无论使用哪种脱模剂都应适量，以能使制品顺利脱模为准。过少没有脱模效果，过多或涂抹不匀则会影响制品的外观质量，出现油斑或使制品表面发暗。对透明度要求较高的制品有时要禁止使用脱模剂；对外观质量要求较高的塑料制品，则

只能在制品脱模困难的部位应用脱模剂；凡要求电镀或表面涂层的塑料制品尽量不用脱模剂。

3.2 注射成型工艺参数的选择

影响注射成型制品质量的因素很多，但当塑料原材料、注射机和模具结构确定之后，注射成型工艺条件的选择与控制便是保证成型顺利进行和制品质量的关键因素。注射成型最重要的工艺参数是影响塑化流动和注射冷却的温度、压力和相应的各个作用时间。

3.2.1 温度的选择

在注射成型过程中需要控制的温度主要有机筒温度、喷嘴温度和模具温度。机筒温度和喷嘴温度主要影响塑料的塑化和流动；而模具温度主要影响塑料的注射和冷却。

1. 机筒温度

确定机筒温度时，应保证塑料塑化均匀，能顺利地充模，同时又不造成塑料降解。只有在充分塑化的前提下，进入型腔的塑料熔体才能以顺畅的流动态势充满型腔并接近完全地复制出型腔的形状，完美地达到要求。

(1) 选择机筒温度时应考虑的因素 机筒温度的选择应考虑以下几个方面：

1) 塑料的粘流温度或熔点。不同的塑料，其粘流温度 (T_f) 或熔点 (T_m) 是不同的。对于非结晶型塑料，机筒末端温度应控制在它的 T_f 以上；对于结晶型塑料则应控制在其 T_m 以上。但为了保证塑料不发生分解，机筒温度均不能超过塑料本身的分解温度 (T_d)，即机筒温度应控制在 T_f (或 T_m) 与 T_d 之间 ($T_f \sim T_d$ 或 $T_m \sim T_d$)。

通常对于 $T_f \sim T_d$ 范围较窄的塑料 (如硬质 PVC)，为防止塑料分解，机筒温度应偏低一些，比 T_f 稍高即可；而对于 $T_f \sim T_d$ 范围较宽的塑料 (如 PS、PE、PP)，机筒温度可适当高些，即比 T_f 高得多一些。

对于热敏性塑料 (如 PVC、POM 等)，虽然机筒温度控制较低，但如果物料在高温下停留时间过长，同样会发生氧化降解。因此加工该类塑料时，除严格控制机筒的最高温度外，对塑料在机筒中的停留时间也应有所限制。

2) 塑料的相对分子质量及其分布。同一种塑料，由于生产厂家不同、牌号不同，其流动温度及分解温度也有差别。一般情况下，平均相对分子质量高、相对分子质量分布窄的塑料，其熔体粘度高，流动性较差，机筒温度应适当提高；而平均相对分子质量低、相对分子质量分布宽的塑料，其熔体粘度小，机筒温度低。

3) 塑料添加剂。塑料添加剂的存在对成型温度也有影响。若添加剂为玻璃纤维或其他固体填料时，随着玻璃纤维或固体填料含量的增加，熔体流动性下降，因

而机筒温度要相应地提高；若添加剂为增塑剂或润滑剂时，因其粘度低、流动性好，机筒温度可适当低些。

4) 注射机类型。同种塑料选择不同类型的注射机进行加工时，机筒温度设定也不同。柱塞式注射机中塑料的加热仅靠机筒壁和分流梭表面传热，而且料层较厚，升温较慢，机筒温度要高些；螺杆式注射机中的塑料会受到螺杆的搅拌混合，获得较多的剪切摩擦热，料层较薄，升温较快，机筒温度应低些，一般比柱塞式注射机的机筒温度低 10 ~ 20℃。

5) 制品及模具结构。对于薄壁制品，其相应的型腔狭窄，熔体充模时的阻力大、冷却快，为了提高熔体流动性，便于充满型腔，机筒温度应选择高些；相反，对于厚壁制品，机筒温度可低一些。另外，对于形状复杂或带有嵌件的制品，由于充模流程曲折、充模时间较长，此时，机筒温度也应设定高些。

6) 其他工艺条件的制约。机筒温度与其他工艺条件有相互制约关系。有时改变机筒温度会起到与调整其他工艺条件相同的效果，例如，为提高熔体的充模流动长度，既可采用提高机筒温度的办法，也可采用提高注射压力和注射速度的方法。因此机筒温度的确定必须与其他工艺条件结合起来综合考虑。

(2) 机筒温度是否合理的判断方法 机筒温度设定得是否合理可通过以下两种方法判断：

1) 对空注射法。用点动动作，在低压低速下对空注射熔体，若喷出的料刚劲有力，料流均匀、光亮、无气泡、不卷曲、色泽均匀，则认为机筒温度合适；如果料流表面粗糙、有银丝或变色现象，则说明机筒温度不合适。

2) 直接观察法。一般是先制作几件样品，采用“直观分析法”，看制品是否有光泽，如果有光泽，一般来说，塑化质量可达到要求，机筒温度合适；如果粗糙，有毛粒等，说明塑化不良，必须调整机筒温度。

(3) 机筒温度加热控制中应注意的问题 在机筒温度的加热控制中要注意以下问题：

1) 整个机筒温度的分布应保持一定的梯度，从料斗到喷嘴前依次由低到高，使塑料原料逐步熔融、塑化。一般机筒分三段加热，第一段是靠近料斗处的固体输送段，该段主要是对塑料进行预备加热，温度要低一些，料斗座还需用冷却水冷却，以防止物料“架桥”并保证较高的固体输送效率；第二段为压缩段，物料处于压缩状态并逐渐熔融，该段前半部分的温度要稍低于所用塑料的熔点或粘流温度，后半段要高于塑料的熔点或粘流温度 20 ~ 25℃；第三段为均化段，物料在该段处于全熔融状态，在预塑终止后形成计量室，储存塑化好的物料，该段温度设定一般要比第二段高出 20 ~ 25℃，以保证物料处于熔融状态。

2) 湿度较高的塑料可适当提高机筒后端温度。螺杆式注射机机筒中的塑料，由于受螺杆剪切摩擦作用，有助于塑化，故为防止塑料的过热分解，机筒前段的温度可以略低于中段。制品注射量大于注射机额定注射量的 75% 或成型物料不预热

时,机筒后段温度应比中段或前段低 $5\sim 10^{\circ}\text{C}$ 。

3) 塑料的熔融温度不但影响加工性能,而且还影响制品的表面质量和色泽。靠近机筒末端的最高温度要高于流动温度(或熔点),这是加工成型的基本保证。但要提高制品的表观质量,应尽量提高熔融温度(必须低于塑料的分解温度),使制品的表面光泽度增加,色泽更加均匀一致。一般来说,熔融温度最好能比充满型腔需要的温度再提高 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 。

4) 由于不同的注射机,料温与机筒温度的温差大小不同,所以任何时候都不能把测温毫伏计上指示的温度当做机筒内熔体的实际温度,而只能作为实际温度的参考或调节依据。螺杆式注射机,毫伏计指示的温度与实际温度接近或略低 $11\sim 17^{\circ}\text{C}$,而柱塞式注射机则高出 $11\sim 17^{\circ}\text{C}$,两者差距达 $20\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。除了机筒内料流的运动状态外,测温装置的配备也是造成差异的原因。从安全的角度考虑,热电偶最好插在机筒的上方,这是机筒周向上的最热点,这样可避免因误差而造成局部过热。

5) 螺杆式注射机,有时由于机筒温度控制不当,再加上注射压力过大或止逆环失效,会使机筒前端的物料向进料段方向反流,在螺纹端面 and 机筒内壁间的间隙内冷固成一层薄膜,紧紧卡在两个壁面之间,使螺杆不能转动,或虽然转动但不后退,影响加料,这就是所谓的“卡螺杆”故障。此时不应强行拖动,否则会使设备损坏,应将进料口冷却水暂时关闭,强行升高加料段温度(比熔点高 $30\sim 50^{\circ}\text{C}$),并同时把出料段温度降低,经 $10\sim 30\text{min}$ 后,用手转动螺杆,能转动时再试行开机,然后缓慢加料,使螺杆逐渐后退至正常。

总之,机筒温度的选择与控制对制品的性能有直接影响。机筒温度提高后,制品的表面质量、冲击强度及成型时熔体的流动长度提高了,而注射压力降低,制品的收缩率、取向度及内应力减小了。由此可见,提高机筒温度,有利于改善制品质量。因此在允许的情况下可适当提高机筒温度。

2. 喷嘴温度

喷嘴具有加速熔体流动、调整熔体温度和使物料均化的作用。在注射过程中,喷嘴温度通常要略低于机筒的最高温度。一方面是为了防止熔体产生流延现象;另一方面,由于塑料熔体在通过狭小的喷嘴口径时,会产生摩擦而使温度升高,如果喷嘴温度过高,则会出现分解。但喷嘴温度也不能太低(一般比机筒温度低 10°C 左右即可),否则喷嘴中的冷凝料会堵塞喷孔、模具浇注系统(尤其是点浇口),或会将冷料注入型腔,使制品赘带冷料斑,影响制品质量。

与机筒温度一样,喷嘴温度的选择也与注射成型中的其他工艺参数有关。例如,当注射压力较小时,为保证物料的流动,应适当提高机筒和喷嘴的温度;反之,则应降低机筒和喷嘴的温度。如果成型周期长,塑料在机筒中受热时间长,机筒温度应稍低些;如果成型周期较短,则机筒温度应高些。生产中一般根据经验数据,结合实际条件,初步确定适当的温度,然后通过熔体的对空注射法和制品的直

观分析法进行调整，最终确定合适的机筒和喷嘴温度。

3. 模具温度

模具温度是指与制品接触的模具型腔的表面温度，它对塑料熔体的充模流动性，制品的冷却速率，成型周期以及制品的结晶、取向、收缩等影响很大，是关系到制品质量的重要因素。

热塑性塑料注射成型时，模具温度必须控制在塑料的热变形温度或玻璃化转变温度（ T_g ）以下（塑料的热变形温度参见表 3-5），以保证制品脱模时有足够的刚度而不致变形。在这个总原则下，模具温度的具体数值应根据塑料特性、制品的结构特点和使用要求以及其他成型工艺条件确定。

表 3-5 常用热塑性塑料的热变形温度

塑 料 品 种	热变形温度/℃	
	1. 82MPa	0. 45MPa
HDPE	48	60 ~ 82
PP	56 ~ 67	102 ~ 115
硬聚氯乙烯（HPVC）	54	67 ~ 82
PS	65 ~ 96	—
HIPS	64 ~ 92. 5	—
20% ~ 30% 玻璃纤维增强 PS	82 ~ 112	—
PMMA 和 PS 共聚物	85 ~ 99	—
PMMA	68 ~ 99	74 ~ 109
丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物（ABS）	83 ~ 103	90 ~ 108
丙烯腈-氯化聚乙烯-苯乙烯（ACS）	85 ~ 100	—
丙烯腈-丙烯酸酯-苯乙烯（AAS）	80 ~ 102	106 ~ 108
PA6	80 ~ 120	140 ~ 176
30% 玻璃纤维增强 PA6	204 ~ 259	216 ~ 264
PA66	82 ~ 121	149 ~ 176
30% 玻璃纤维增强 PA66	245 ~ 262	262 ~ 265
PA610	57 ~ 100	149 ~ 185
40% 玻璃纤维增强 PA610	200 ~ 225	215 ~ 226
PA1010	55	148
PC	130 ~ 135	132 ~ 141
20% ~ 30% 长玻璃纤维增强 PC	143 ~ 149	146 ~ 157
20% ~ 30% 短玻璃纤维增强 PC	140 ~ 145	146 ~ 149
POM	110 ~ 157	168 ~ 174
聚对苯二甲酸丁二醇酯（PBT）	70 ~ 200	150
氯化聚醚	100	141
聚苯醚（PPO）	175 ~ 193	180 ~ 204
聚砜（PSU）	174	182
30% 玻璃纤维增强 PSU	185	191
聚四氟乙烯（PTFE）填充 PSU	100	160 ~ 165
乙基纤维素（EC）	46 ~ 88	—
醋酸纤维素（CA）	44 ~ 88	49 ~ 76

对于结晶型塑料，模具温度直接影响塑料的结晶度和结晶构型。模温高，冷却速率慢，结晶速率快，制品的硬度大，刚性高，但却延长了成型周期，并使制品的收缩率增大；模温低，则冷却速率快，结晶速率慢，结晶度低，制品的韧性提高。但是低模温下成型的结晶型塑料制品，当其 T_g 较低时，会出现后期结晶，使制品产生后收缩和性能变化。

对于非结晶型塑料，模具温度主要影响熔体的粘度，即充模速率。通常在保证充模顺利的情况下，尽量采用低模温，因为低模温可以缩短冷却时间，从而提高生产效率。

对于厚壁制品，由于充模时间长，冷却时间也长，为了使内外冷却一致，防止因内外温差大造成内应力等缺陷（如凹痕、空隙等），模温也应适当高些。表 3-6 为 PA1010 制品厚度与模具温度的关系。从表中数据可知，两者呈正比关系。此外，大面积或流动阻力大的薄壁制品，也需要维持较高的模温。

表 3-6 PA1010 制品厚度与模具温度的关系

壁厚/mm	<3	3~6	6~9	>10
模具温度/℃	20~40	40~60	60~90	100

对于熔体粘度较低的塑料（如 PE、PP、PVC、PS、PA 等），由于其流动性好，易充模，因此加工时可采用低模温；而对于熔体粘度较高的塑料（如 PC、聚苯醚、聚砜等），模温应高些，一方面可满足充模的需要，另一方面可以调整制品的冷却速率，使制品缓慢、均匀地冷却，应力得到充分松弛，防止制品产生凹痕、裂纹等缺陷。

模具的冷却一般用水冷或油冷，控制模温在 5~95℃ 时宜用水冷，在 95~120℃ 时宜用油冷。在个别情况下，还需要采用电阻丝和电阻加热棒对模具加热来保持模具的定温。表 3-7 列出了部分塑料可选用的机筒温度、喷嘴温度和模具温度，供参考。

表 3-7 部分塑料适用的机筒、喷嘴和模具温度

塑料品种	机筒温度/℃			喷嘴温度/℃	模具温度/℃
	后 段	中 段	前 段		
LDPE	160~170	180~190	200~220	220~240	20~60
HDPE	200~220	220~240	240~280	240~280	30~70
PP	150~210	170~230	190~250	240~250	20~65
PS	140~160	—	170~190	160~170	40~60
ABS	150~180	180~230	210~240	220~240	50~90
SAN	170~180	210~230	200~210	180~190	40~80
SPVC	125~150	140~170	160~180	150~180	15~50
RPVC	140~160	160~180	180~200	180~200	20~60

(续)

塑 料 品 种	机筒温度/℃			喷嘴温度/℃	模具温度/℃
	后 段	中 段	前 段		
PCTFE	250 ~ 280	270 ~ 300	290 ~ 330	340 ~ 370	—
PMMA	150 ~ 180	170 ~ 200	190 ~ 220	200 ~ 220	20 ~ 90
POM	150 ~ 180	180 ~ 205	195 ~ 215	190 ~ 215	60 ~ 120
PC	220 ~ 230	240 ~ 250	260 ~ 270	260 ~ 270	80 ~ 100
PA6	210	220	230	230	40 ~ 60
PA66	220	240	250	240	40 ~ 80
PUR	175 ~ 200	180 ~ 210	205 ~ 240	205 ~ 240	—
CAB	130 ~ 140	150 ~ 175	160 ~ 190	165 ~ 200	—
CA	130 ~ 140	150 ~ 160	165 ~ 175	165 ~ 180	40 ~ 70
CP	160 ~ 190	180 ~ 210	190 ~ 220	190 ~ 220	—
PPO	260 ~ 280	300 ~ 310	320 ~ 340	320 ~ 340	80 ~ 130
PSU	250 ~ 270	270 ~ 290	290 ~ 320	300 ~ 340	100 ~ 150
IO	90 ~ 170	130 ~ 215	140 ~ 215	140 ~ 220	—
TPX	240 ~ 270	250 ~ 280	250 ~ 290	250 ~ 300	20 ~ 60
线型聚酯	70 ~ 100	70 ~ 100	70 ~ 100	70 ~ 100	—
醇酸树脂	70	70	70	70	—

3.2.2 压力的选择

注射模塑过程中的压力包括塑化压力、注射压力和保压压力。

1. 塑化压力和螺杆转速

(1) 塑化压力 采用螺杆式注射机时，在塑料熔融、塑化过程中，熔体不断移向机筒前端（计量室内），且越来越多，逐渐形成一个压力，推动螺杆向后退。为了阻止螺杆后退过快，确保熔体均匀压实，需要给螺杆提供一个反方向的压力，这个反方向阻止螺杆后退的压力称为塑化压力（也称背压）。塑化压力的大小由液压系统中的溢流阀来调整。

塑化压力对注射成型的影响主要体现在物料塑化效果和塑化能力两个方面。增大塑化压力可提高熔体的温度和密实程度，同时剪切作用增强，可改善原料的混炼、塑化质量，有利于原料中挥发物的排出，使注射制品的质量得到保证，但是较高的塑化压力，增加了塑化时间，降低了熔体的输送能力，减少了塑化量，而且增加了功率消耗，同时较长的塑化时间和过高的塑化压力又增加了原料分解的可能性。

注射成型时，塑化压力的大小随螺杆的设计、制品质量的要求以及塑料的种类等的不同而异。通常情况下，在保证制品质量优良的前提下塑化压力越低越好，其具体数值随所用塑料的品种而异，一般为 6MPa 左右，通常很少超过 20MPa。

注射热敏性塑料,如PVC、POM、聚三氟氯乙烯等,塑化压力提高,熔体温度升高,制品表面质量较好,但降低了塑化速率和流动性,并且有可能使制品变色。为防止塑料熔体在机筒内停留时间过长而分解,塑化压力应尽量取小值。

对于热稳定性比较好、熔体粘度适中的塑料,如PE、PP、PS等,塑化压力可选择高些,这有利于提高原料的塑化、混炼质量,但会降低塑化速率。通常情况下塑化压力不超过20MPa。

对于那些熔体粘度较低的塑料,如PET、PA等,塑化压力要尽可能低,否则会因螺杆中逆流和漏流的增加而使塑化速率很快降低。若需增加料温,要采用提高机筒温度的方法,而不采用增加塑化压力的办法。

注射熔体粘度较高的塑料,如PC、PSF、PPO等,塑化压力不宜过高,以防止设备过载。

注射泡沫塑料时,塑化压力应比气体形成的压力高,否则螺杆会被推出机筒。

此外,塑化压力高低还与喷嘴种类、加料方式有关。采用直通式(即敞开式)喷嘴或后加料方式时,应采用较低的塑化压力,否则易发生流延现象;采用自锁式(阀式)喷嘴或前加料、固定加料方式,塑化压力可取得大一些。

(2) 螺杆转速 螺杆转速也是影响塑化能力和塑化效果的重要参数。增大塑化压力使塑化能力降低时,可采用提高螺杆转速的方法来补偿。随螺杆转速的提高,塑化能力提高,熔体温度及熔体温度的均匀性提高,但螺杆转速超过一定数值后,由于物料在机筒内受热时间太短,反而使塑化质量变差。对热敏性塑料(如PVC、POM等),应采用低螺杆转速,以防物料分解;对熔体粘度较高的塑料,也应采用低螺杆转速,以防动力过载。每种物料都有一个合适的转速范围,需根据实际情况而定。表3-8列出了部分塑料的塑化压力和螺杆转速的关系,可供参考选择。

表 3-8 部分塑料的塑化压力和螺杆转速

塑 料	塑化压力/MPa	螺杆转速/(r/min)	喷 嘴 类 型
硬质 PVC	尽量小	15 ~ 25	△
PS	3.4 ~ 10.3	50 ~ 200	△
20% 玻璃纤维增强 PS	3.4	50	△
PP	3.4 ~ 6.9	50 ~ 150	△
30% 玻璃纤维增强 PP	3.4	50 ~ 75	△
HDPE	3.4 ~ 10.3	40 ~ 120	△
30% 玻璃纤维增强 HDPE	3.4	40 ~ 60	△
聚砜	3.4	30 ~ 50	△
PC	3.4 ^①	30 ~ 50 ^①	△
聚丙烯酸酯	10.3 ~ 20.6	60 ~ 100	△
PA66	3.4	30 ~ 50	PA 型
玻璃纤维增强 PA66	3.4	30 ~ 50	PA 型 (喉部 4.8mm)
改性聚苯醚 (PPO)	3.4	25 ~ 75	△

(续)

塑 料	塑化压力/MPa	螺杆转速/(r/min)	喷 嘴 类 型
20% 玻璃纤维增强 PPO	3.4	25 ~ 50	△
可注射氟塑料	3.4	50 ~ 80	△
纤维素塑料	3.4 ~ 13.8	50 ~ 80	△
丙烯酸类塑料	2.8 ~ 5.5	40 ~ 60	△
25% 玻璃纤维增强 POM	3.4	40 ~ 50	△
POM	3.4	40 ~ 50	△
ABS 通用级 (高冲击)	3.4 ~ 6.9	75 ~ 120	ABS 型
热塑性聚酯	1.7	20 ~ 60	△
15% ~ 30% 玻璃纤维增强热塑性聚酯	1.7	20 ~ 60	△

注：△表示通用喷嘴。
① 数值随塑料等级发生变化。

2. 注射压力

注射压力是指柱塞或螺杆顶部对塑料熔体所施加的压力。其作用是克服塑料熔体从机筒流向模具型腔的流动阻力，给予熔体一定的充模速率并对熔体进行压实、补缩。在注射过程中，注射机喷嘴处的压力最高，以克服熔体全程中的流动阻力。其后，压力沿着流动长度至熔体最前端波前处逐步降低，如果型腔内部排气良好，则熔体前端最后的压力就是大气压。在注射机上常用表压指示注射压力的大小，一般在 40 ~ 130MPa 之间。

注射压力的大小取决于注射机类型，塑料品种，熔体温度，制品形状，模具结构，模具温度，浇注系统的结构、尺寸及流程大小等。

(1) 注射机类型 选择注射压力时，首先要考虑注射机所允许的注射压力，只有在注射机额定的注射压力范围内，才能调整出具体制品所需求的注射压力。在其他条件相同的情况下，柱塞式注射机所用的注射压力应比螺杆式的大。这是因为柱塞式注射机在注射时需要克服较大的摩擦阻力，从而造成较大的压力损耗。

(2) 塑料品种 不同的塑料，熔体粘度受注射压力的影响不同，如 ABS，其熔体粘度对温度不敏感，应采用较高的注射压力；而 PE、PP 等，熔体粘度对温度比较敏感，可采用较低的注射压力。用流动性好的塑料成型形状简单的厚壁制品时，注射压力可较低，一般不超过 70MPa。如果塑料的熔体粘度不太高，制品形状不太复杂且精度要求一般时，注射压力也不宜过高，可在 70 ~ 100MPa 范围内选取。如果塑料属中、高粘度，且对制品精度有一定要求，但制品形状不太复杂时，注射压力应略高，可取范围为 100 ~ 140MPa。如果塑料粘度高（如 PPO、PSU）且制品壁薄、形状复杂、要求精度高，则注射压力应较高，一般为 140 ~ 180MPa。对于优质、精密、微型制品，注射压力可取 180 ~ 250MPa 或更高。

随着注射压力的增大，塑料的充模速度加快，制品中熔接强度提高，制品的密度增大。但是制品的内应力也随注射压力的增加而增大，成型后容易变形，所以采用高压注射的制品应进行退火处理。

(3) 熔体温度 注射过程中, 注射压力与塑料熔体温度实际上是相互制约的。熔体温度高时, 应适当降低注射压力; 反之则要适当提高注射压力。在生产条件和制品质量标准许可的情况下, 采用高温低压的工艺条件, 对保护模具, 延长模具使用寿命, 减少机台液压系统的磨耗很有好处。

(4) 制品形状和模具结构 制品结构复杂、壁薄、面积大、流程长, 宜用较高的注射压力。模具结构简单, 浇口尺寸较大, 机筒温度、模具温度高, 宜用较低的注射压力。

另外, 在选择和控制注射压力时应注意以下问题:

1) 注射成型塑料制品时, 如果出现制品的外形尺寸误差大, 表面有凹陷等质量问题时, 则说明注射压力不足, 应适当增加注射压力。

2) 注射成型制品时, 如果脱模比较困难, 而且制品出现溢料飞边, 说明注射压力偏高, 应适当降低注射压力。

3) 同其他注射工艺条件一样, 注射压力的选择和控制并不是孤立的。它与其他工艺条件是相互影响、相互作用的, 这一点在选择任何工艺条件时都不应忽视。

总之, 注射压力是注射工艺条件参数中一个非常重要的因素, 影响因素很多, 关系较复杂, 正式生产之前, 应从较低注射压力开始注射试成型, 再根据制品的质量决定增减, 最后确定合理的注射压力。表 3-9 列出了部分塑料可选用的注射压力范围, 供选择时参考。

表 3-9 部分塑料可选用的注射压力范围

塑 料 品 种	注射压力范围/MPa		
	流动性好的厚壁制品	流动性中等的一般制品	流动性差的薄壁、窄浇口制品
PE	70 ~ 100	100 ~ 120	120 ~ 150
PVC	100 ~ 120	120 ~ 150	> 150
PS	80 ~ 100	100 ~ 120	120 ~ 150
ABS	80 ~ 110	100 ~ 120	120 ~ 150
POM	85 ~ 100	100 ~ 120	120 ~ 150
PA	90 ~ 101	101 ~ 140	> 140
PC	100 ~ 120	120 ~ 150	> 150
PMMA	100 ~ 120	120 ~ 150	> 150

3. 保压压力

保压压力是指在注射压力完成熔体充模后的一段时间 (熔体充模后的降温、冷凝时间) 内, 继续对模内熔体施加的压力。

保压的作用是使塑料在压力下固化, 并在熔体冷凝收缩时提供足够的熔体补充, 以保证注射制品成型后的形体密度和外形尺寸精度。

保压过程中需控制的两个主要参数是保压压力和保压时间。随着保压压力和保压时间的增大和延长, 型腔压力增大, 制品密度也增大, 制品收缩率降低。

保压压力的选择受制品结构特点的影响，在生产中，保压压力一般等于或小于注射压力。保压压力大，可得到密度较高、收缩率小、外形尺寸精度高、力学性能较好的制品，但脱模后制品内残余应力较大，易产生溢料和飞边。保压压力太小则成型不足。

3.2.3 时间（成型周期）的选择

注射成型周期也称模塑周期，是指完成一次注射成型工艺过程所需的时间。它包括注射成型过程中所有的时间，注射成型周期的时间组成见表 3-10。

表 3-10 注射成型周期的时间组成

成 型 周 期	注射时间	充模时间（螺杆或柱塞前进的时间）	
		保压时间（螺杆或柱塞停留在前进位置的时间）	总冷却时间
	模内冷却时间	包括螺杆转动后退或柱塞后撤的时间	
	其他时间	开模、脱模、喷涂脱模剂、安放嵌件、合模等时间	

成型周期直接影响到生产效率和设备利用率，因此注射成型时，在保证制品质量的前提下，应尽量缩短成型周期中各个阶段的相关时间。

在整个成型周期中，以注射时间和冷却时间最为重要，它们既是成型周期的主要组成部分，又对制品的质量起决定性的作用。

1. 充模时间

注射时间中的充模时间是指从注射开始到充满模具型腔的时间。其大小与充模速率成反比，而充模速率决定于注射速率。充模时间缩短，充模速度提高，取向下降，剪切速率增加，表观粘度下降。为保证制品质量，应正确控制充模速率。对于熔体粘度高、玻璃化温度高、冷却速率快的制品和玻璃纤维增强制品以及低发泡制品应采用快速注射（即高压注射），以减少熔体充模时间。实际生产中，小型制品充模时间一般为 3~5s，大型制品为几十秒。

2. 保压时间

保压时间就是对型腔内的塑料压实所用的时间。保压时间的长短由制品的结构尺寸、料温、主流道及浇口大小等决定。通常是在保压压力和注射温度确定后，根据制品的使用要求经试验确定。具体方法是：先选取较短的保压时间成型制品，脱模后称量制品质量，然后逐渐增加保压时间，重复成型、称重过程，当制品质量不再随保压时间的延长而增加时，即将此临界保压时间定为最佳保压时间。在工艺条件正常、主流道及浇口尺寸合理的情况下，最佳保压时间通常是制品收缩率波动范围最小时的时间。

保压时间在整个注射时间内所占的比例较大，一般约为 20~120s，形状复杂或特厚制品可高达 5~10min；而形状简单、外形尺寸小的制品，保压时间也可很短，如几秒钟。

在浇口熔体冻结之前，保压时间的长短，对制品的质量有较大影响，若保压时间太短，制品不密实，易产生凹痕，尺寸不稳定；保压时间太长，制品内应力增加，产生变形、开裂，脱模困难。

3. 冷却时间

冷却时间主要由制品的厚度、塑料的热性能和结晶性能以及模具温度等决定。冷却时间的长短应以脱模时制品不变形为准，时间越短越好，一般在 30 ~ 120s 之间。冷却时间太长，不仅延长了生产周期，降低生产效率，对复杂制品还造成脱模困难；冷却时间太短，制品易产生变形等缺陷。

4. 其他时间

成型周期中的其他时间是指开模、脱模、涂脱模剂、安放嵌件和闭模等时间，与生产过程的连续化和自动化程度有关。

注射时间与成型周期的确定可参考表 3-11 和表 3-12。

表 3-11 部分塑料的注射时间

塑 料 品 种	注射时间/s	塑 料 品 种	注射时间/s
LDPE	15 ~ 60	PMMA	20 ~ 60
PP	20 ~ 60	PC	20 ~ 90
PS	15 ~ 45	聚砜	30 ~ 90
硬质 PVC	15 ~ 60	聚苯醚	30 ~ 90
PA1010	20 ~ 90	醋酸纤维素	15 ~ 45
玻璃纤维增强 PA66	20 ~ 60	聚三氟氯乙烯	20 ~ 60
ABS	20 ~ 90	聚酰亚胺	30 ~ 60

表 3-12 确定成型周期的经验方法

制品厚度/mm	成型周期/s	制品厚度/mm	成型周期/s
0.5	10	2.5	35
1.0	15	3.0	45
1.5	22	3.5	65
2.0	28	4.0	85

3.2.4 其他参数的选择

1. 注射量

在选择注射量时，一方面必须充分地满足制品及其浇注系统的总用料量，另一方面必须小于注射机的理论注射容积。注射机不可用来加工小于注射量的 10% 或超过注射量的 70% 的制品。对已选定的注射机来说，注射量是由注射行程控制的。

2. 计量行程（预塑行程）

每次注射程序终止后，螺杆是处在机筒的最前端，当预塑程序开始时，螺杆开始旋转，物料被输送到螺杆头部，螺杆在物料的反压力作用下后退，直至碰到限位

开关为止，该过程称计量过程或预塑过程，螺杆后退的距离称计量行程或预塑行程。因此物料在螺杆头部所占有的容积就是螺杆后退所形成的计量容积，即注射容积，其计量行程就是注射行程。

注射量的大小与计量行程的精度有关。如果计量行程调节太小会造成注射量不足，反之则会使机筒每次注射后的余料太多，使熔体温度不均或过热分解，计量行程的重复精度会影响注射量。

3. 余料量（缓冲垫）

余料量是指每次注射后机筒内剩余的物料量。设置余料量的目的有两个：第一，可防止螺杆头部和喷嘴接触发生机械碰撞；第二，可控制注射量的重复精度，使注射制品质量稳定。如果余料量过少，则达不到缓冲的目的，过大会使余料累积过多。

4. 防延量（松退、倒缩）

通常螺杆计量（预塑）到位后，再后退一段距离，使计量室中熔体的比体积增加，内压下降，防止熔体通过喷嘴或间隙从计量室向外流出。这个后退动作称防流延，后退的距离称防延量或防流延行程。防流延还有另外一个目的，就是在固定加料的情况下，降低喷嘴流道系统的压力，减少内应力，并在开模时容易抽出料杆。防延量的设置要视塑料熔体的粘度和制品情况而定，过大的防延量会使计量室中的熔体夹杂气泡，影响制品质量，对粘度大的物料可不设防延量。

总之，塑料品种繁多，制品形状各异，注射成型工艺条件的确定是一个非常复杂的过程，上述内容只是对几种重要的成型工艺条件的选择和控制在提供些基本原则，生产实践中必须根据具体情况，随时调整成型工艺条件，以获得合格制品。

3.3 注射成型过程与注射机动作程序

3.3.1 注射成型过程

制品的注射成型过程主要包括加料塑化、注射充模、保压固化、脱模4个阶段（如图3-1所示）。这4个阶段直接决定着制品的成型质量，而且这4个阶段是一个完整的连续过程。

1. 加料塑化

注射成型是一个间歇过程，因此加料必须定量或定容以保证操作稳定。加料过多、受热时间过长，容易引起塑料的热降解，同时注射机的功率损耗增加；加料过少，机筒内缺少传压介质，型腔内塑料熔体压力降低，难于补压，容易使制品出现收缩、凹陷、空洞甚至缺料等缺陷。注射机一般都采用容积计量加料，对柱塞式注射机，可通过调节料斗下面定量装置的调节螺帽来控制加料量。移动螺杆式注射机通过调节行程开关与加料计量柱的距离来控制加料量。

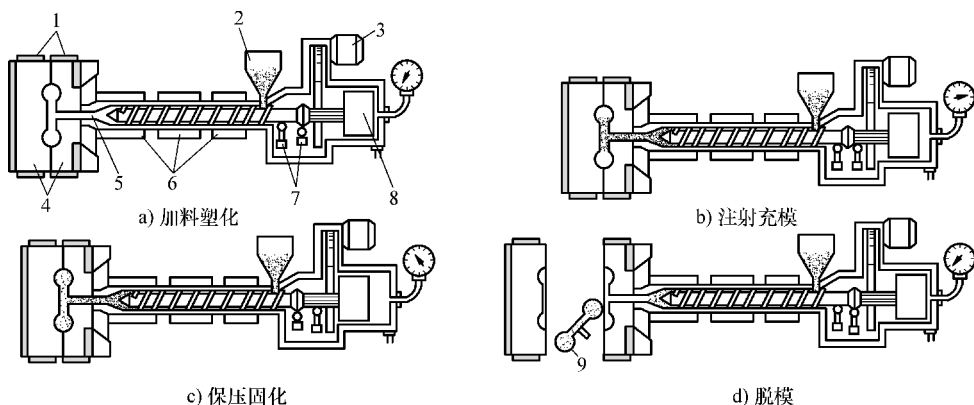


图 3-1 注射成型过程

1—加热装置 2—料斗 3—电动机 4—模具 5—喷嘴 6—加热冷却装置
7—行程开关 8—液压缸 9—制品

塑化是指塑料在机筒内经加热达到流动状态并具有良好的可塑性的过程。因此可以说塑化是注射成型的准备过程。塑化进行得好坏直接关系到制品的产量和质量。对塑化的要求是：塑料熔体在进入模具型腔之前应达到规定的成型温度并能在规定时间内提供足够数量的熔融塑料，而且熔体温度应均匀一致。决定塑料塑化质量的主要因素是塑料的性能、工艺条件的控制以及注射机的塑化结构。对于柱塞式注射机，塑化主要依靠机筒外加热来实现，塑料的移动只能靠柱塞的推挤，几乎没有混合作用，以致靠近机筒的塑料温度偏高，而机筒中心的料温则偏低，形成温度分布不均匀。以这种热均匀性较差的熔融塑料成型的制品，其外观质量和物理力学性能均不可能优异。通常柱塞式塑化难以成型热敏性塑料且易造成制品的内应力较大。螺杆式注射机塑化物料时，一方面靠机筒外加热，另一方面靠螺杆旋转对物料产生的剪切摩擦热而塑化。螺杆的旋转还使物料受到搅拌、混合及剪切作用，使物料的塑化质量大为增强。

对于柱塞式注射机，塑料粒子加入到机筒中，经机筒的外加热逐渐变为熔体，加料和塑化两个过程是分开的；而移动螺杆式注射机，螺杆在旋转的同时往后退，在这种加料过程中，物料经机筒的外加热及螺杆转动时对塑料产生的摩擦热而逐渐塑化，即加料和塑化同时进行。

2. 注射充模

注射充模是指塑化好的熔体在螺杆（或柱塞）推挤下以高压高速注入模具型腔的过程。时间是从模具闭合开始注射算起，到型腔填充到大约 95% 为止。这一过程历时较短，但熔体在充模中发生的变化却很多，且这种变化对制品的质量有重要的影响。熔融塑料自机筒注入模具型腔需要克服一系列的流动阻力，包括熔体与机筒、喷嘴、浇注系统、模具型腔壁的外摩擦和熔体的内摩擦；同时还要对熔融胶

料进行压实，因此所用的注射压力较高。

塑料在柱塞式注射机中注射时，首先是对加入机筒加料室内的塑料进行预压缩，然后将压力传递到塑化室内的熔体上，将头部的熔体注入型腔。因此注射柱塞即使等速移动，熔体的注射速度也是先慢后快，这将直接影响到熔体在模内的流动状况，而且柱塞式注射机注射时压力损失很大，可高达机筒压力总损失的 80%，所以注射速率也较低。

在螺杆式注射机中，预塑好的熔体集中在螺杆头前端的机筒内，注射时，由于螺杆前端止逆环的作用使熔体不能倒流入螺槽，而被快速地推动通过喷嘴及模具流道进入型腔。其注射压力损失小，注射速率大充模流程也较柱塞式注射机大得多。

3. 保压固化

保压的作用是持续施加压力，压实熔体，增加熔体密度（增密），以补偿塑料的收缩行为。在保压过程中，塑料熔体受模具冷却固化加快，熔体粘度增加也很快，因此模具型腔内的阻力很大。在保压的后期，材料密度持续增大，制品也逐渐成型，保压阶段要一直持续到浇口固化封口为止，此时型腔内的压力达到最大值。在保压压实过程中，注射机螺杆仅能慢慢地向前作微小移动，塑料熔体的流动速度也较为缓慢，流动不再起主导作用，压力为影响保压过程的主要因素。

保压过程中塑料熔体已经充满型腔，此时逐渐固化的熔体作为传递压力的介质，型腔中的压力借助塑料熔体传递至模具表面，有撑开模具的趋势，因此需要适当的锁模力进行锁模。胀模力在正常情形下会微微将模具撑开，对于模具的排气具有帮助作用；但若胀模力过大，易造成成型品毛边、溢料，甚至撑开模具。因此在选择注射机时，应选择具有足够大锁模力的注射机，以防止胀模现象并能进行有效保压。

当浇注系统的熔体冻结后，已不再需要继续保压，此时可退回柱塞或螺杆，卸除对机筒内熔体的压力，并加入新料，同时模具通入冷却水、油或空气等冷却介质，进一步冷却，这一阶段称为浇口冻结后的冷却。实际上冷却过程从熔体注入型腔起就开始了，它包括从充模完成、保压到脱模前的这一段时间。

4. 脱模

脱模是注射成型循环中的最后一个环节。虽然制品已经冷固成型，但脱模还是会对制品质量有很重要的影响，脱模方式不当，可能会导致产品在脱模时受力不均，顶出时引起产品变形等缺陷。脱模方式主要有两种：顶杆脱模和顶板脱模。设计模具时要根据产品的结构特点选择合适的脱模方式，以保证产品质量。对于选用顶杆脱模的模具，顶杆的设置应尽量均匀，并且位置应选在脱模阻力最大以及制品强度和刚度最大的地方，以免制品变形损坏。而顶板脱模方式一般用于深腔薄壁容器以及不允许有推杆痕迹的透明制品的脱模，这种机构的特点是脱模力大且均匀，运动平稳，无明显的遗留痕迹。

3.3.2 注射机动作程序

不同注射机的动作程序可以不完全相同，但从所需要完成的工艺内容来看，其基本程序还是相同的。现以螺杆式注射机为例予以说明。

1. 闭模与锁紧

注射机的成型周期一般从模具开始闭合时起。在合模装置的作用下，模具首先以低压、快速闭合，当动模与定模快要接触时，通过调速控制自动切换成低压、低速，在确认模内无异物时，再切换成高压而将模具锁紧。

2. 注射装置前移

在确认模具达到所要求的合紧程度后，注射座整体移动液压缸工作，使注射装置前移，保证喷嘴与模具浇口贴合，为注射阶段做好准备。

3. 注射与保压

完成上述两个工作过程后，注射装置的注射液压缸工作，推动注射机螺杆前移，使机筒前部的熔体以高压、高速注入模具型腔内，充模时间一般 $3 \sim 5\text{s}$ 。此时螺杆头部作用于熔体上的压力被称为注射压力，又称一次压力。熔体注入型腔后，由于模具的热传导作用，使型腔内的物料产生体积收缩。为了保证塑料制品的致密性、尺寸精度、强度和刚度，必须使注射系统对模具施加一定的压力进行补料，直到浇注系统（关键是浇口处）的熔体冻结为止。此时，螺杆作用于熔体上的压力称之为保压压力，又称二次压力。在注射保压时间内，保压所占比例很大，一般为 $20 \sim 120\text{s}$ ，特厚制品可达 $5 \sim 10\text{min}$ 。

4. 制品冷却定型与预塑化

当模具浇口处的熔体冷却硬化后，保压即可停止，制品在型腔内进行冷却定型。冷却时间应保证制品脱模时不易引起变形挠曲。实际生产中为了缩短成型周期，一般在制品冷却定型的同时，塑化螺杆重新启动，开始下一个注射周期的加料预塑化过程。由于制品冷却和预塑化同时进行，一般要求预塑化时间不超过制品冷却时间，以免影响成型周期。

5. 注射装置后退

螺杆塑化计量完毕后，为了使喷嘴不致因长时间和温度较低的模具接触而形成冷料，经常需要将喷嘴撤离模具，即注射装置后退。此动作是否进行及其先后次序依所加工的塑料工艺特性而定。如热流道模具，注射装置一般不退回。

6. 开模顶出制品

模具内的制品冷却定型后，合模机构就开启模具。在注射机的顶出系统和模具的顶出机构联合作用下，将制品自动顶落，为下次成型过程做好准备。至此完成了整个注射成型过程。

根据上述动作，按时间先后可将注射机工作循环过程绘成图 3-2 所示框图。

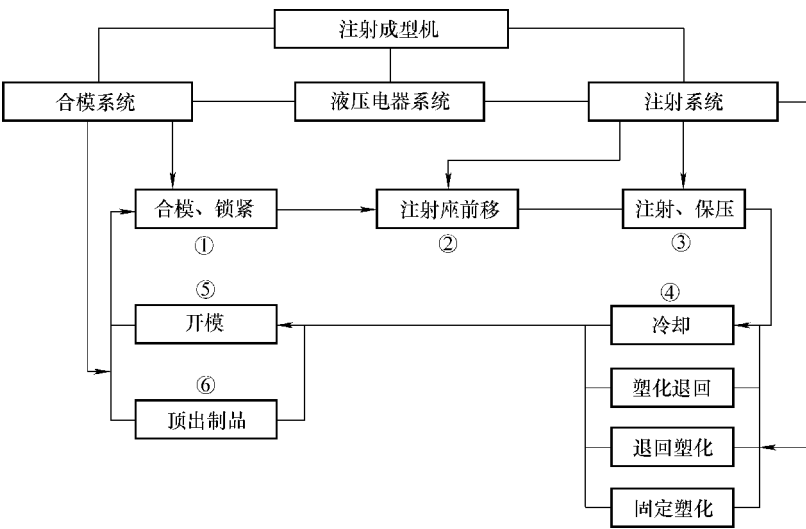


图 3-2 注射机工作循环过程框图

3.4 制品的后处理

注射成型的塑料制品脱模后，还需对其外形和内在质量进行适当的后处理。外形处理包括用手工清除制品各部位的飞边；没有成型的丝孔与凹槽要进行机械加工；有的制品表面要进行修饰或抛光。内在质量处理主要是指退火处理或调湿处理，目的是为了减少制品变形，改善和提高制品的性能和稳定性。

3.4.1 退火处理

由于塑料在机筒内塑化不均匀或在型腔内冷却速率不一致，常常会产生不均匀的结晶、取向和收缩，使制品存在内应力，尤其是在生产厚壁及带有嵌件的制品时更为突出。内应力的存在，使制品在贮存和使用过程中，力学性能下降，制品表面出现银纹，甚至变形开裂。在实际生产中，解决这个问题的最有效方法就是对制品进行退火处理。

退火处理的方法是将制品放置在恒温的加热液体介质（比如热的水、矿物油、甘油、乙二醇、液体石蜡等）或者热空气循环箱中一段时间，然后缓慢冷却至室温。利用退火时的热量，加速塑料中大分子的松弛，从而消除或降低制品成型后的残余应力。

退火温度一般控制在制品使用温度以上 10 ~ 20℃，或低于该塑料热变形温度 10 ~ 20℃，温度过高会使制品产生翘曲变形，温度太低则达不到退火效果。

退火时间决定于塑料品种、加热介质的温度、制品的形状和厚度、制品精度要求等因素，以达到能消除制品内应力为宜。退火处理后的制品，应缓慢冷却到室

温，冷却太快，有可能重新产生内应力。对于薄壁制品，冷却速率为 50 ~ 60℃/h；厚壁制品，冷却速率约为 10℃/h 以下。

不同塑料制品的退火处理条件见表 3-13。

表 3-13 不同塑料制品的退火处理条件

塑料名称	处理介质	制品厚度/mm	处理温度/℃	处理时间/min
ABS	水或空气	—	60 ~ 75	16 ~ 20
PS	水或空气	≤6	60 ~ 70	30 ~ 60
		>6	70 ~ 77	120 ~ 360
PMMA	空气	—	75	16 ~ 20
POM	空气	2.5	160	60
	油	2.5	160	30
PP	空气	≤3	150	30 ~ 60
		4 ~ 6		60
HDPE	水	≤6	100	15 ~ 30
		>6		60
PC	油或空气	1	120 ~ 130	30 ~ 40
		3	120 ~ 130	180 ~ 360
		>6	130 ~ 140	620 ~ 960
PET	充氮炉	3	130 ~ 150	30 ~ 60
PBT	充氮炉	3	130 ~ 150	30 ~ 60
PA6	水	>6	100	25
PA66	油	3 ~ 6	130	20 ~ 30
	水: 乙酸钾 (1 : 1.25)	3 ~ 6	100	120 ~ 360
PA1010	水	6	100	120 ~ 360
PPO	油或空气	3 ~ 6	120 ~ 140	60 ~ 240

并非所有的塑料制品都要退火处理，通常凡是所用塑料的分子链刚性较大，制品壁厚度较大，带金属嵌件，使用温度范围较宽，尺寸精度要求较高，内应力较大且不易自消的制品都需要进行退火处理。而对于分子链本身柔性较大和玻璃化温度较低的制品（如聚甲醛和氯化聚醚塑料），虽然有内应力，但由于内应力能缓慢自消，如果制品使用温度要求不高，可不进行热处理。

3.4.2 调湿处理

PA 类塑料制品，在高温下与空气接触时，常会氧化变色；此外，在空气中使用和存放时，又易吸收水分而膨胀，需要经过很长时间后才能得到稳定的尺寸。因

此如果将刚脱模的制品放在热水中进行处理，不仅可以隔绝空气，防止制品氧化变色，而且可以加快制品吸湿，达到吸湿平衡，使制品尺寸稳定，该过程就称为调湿处理。

调湿处理的温度一般为 100 ~ 120℃，热变形温度高的塑料品种取大值，相反的取小值。调湿处理的时间取决于制品形状、厚度和结晶度的大小，通常要 2 ~ 9h。调湿介质除水外，还可选用醋酸钾水溶液（水：醋酸钾 = 1 : 1.25，沸点为 121℃）或油。

调湿处理后，适量的水分对聚酰胺类产品起着类似增塑剂的作用，从而改善了制品的柔韧性，冲击强度、拉伸强度等刚性指标均有不同程度的提高。

必须指出，调湿的制品和退火处理的制品一样，在达到所需的温度和时间以后，一定要缓慢地冷却到室温，否则也会产生内应力。

第 4 章 热塑性塑料的注射成型

4.1 通用塑料的注射成型

4.1.1 聚乙烯的注射成型

聚乙烯英文名称 polyethylene，简称 PE，是塑料工业中产量最大的品种。聚乙烯外观呈乳白色、质软、无毒、无味、加工方便。它的绝缘性能优异，但在热、光、氧气的作用下会发生老化和变脆。PE 是一种典型的结晶型高聚物。它的种类较多（如图 4-1 所示），在注射成型中最常用的是 LDPE 和 HDPE。

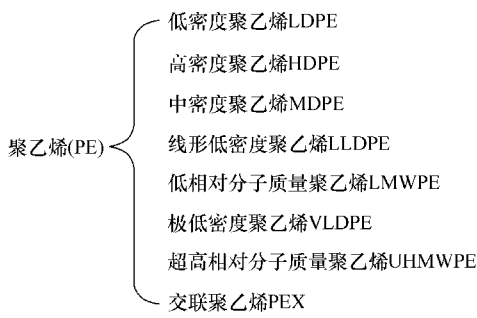


图 4-1 聚乙烯的分类

LDPE 俗称软胶，带有较多支链，结晶度相对较低，并且由于支链存在，分子堆砌不紧密，密度较低（LDPE 密度为 $0.910 \sim 0.925\text{g/cm}^3$ ），产品的软化温度、刚性、硬度均比较低。

HDPE 比 LDPE 硬，俗称硬性软胶，由于分子中基本没有支链，因此结晶度相对较高，分子堆砌紧密，密度较高（HDPE 密度为 $0.941 \sim 0.965\text{g/cm}^3$ ），产品的软化温度、刚性、硬度均比较高。

1. 工艺特性

(1) 结晶性 PE 为结晶型塑料，具有明显的熔点，软化温度范围较窄（约 $3 \sim 5^\circ\text{C}$ ），结晶度随温度的上升而下降。

(2) 热稳定性 PE 的热稳定性好，不易分解（分解温度为 320°C ），成型加工温度的确定主要取决于相对分子质量、密度和结晶度。LDPE 在 180°C 左右，HDPE 在 220°C 左右，最高成型加工温度一般不超过 280°C 。在流动状态下，温度的少许

波动不会影响注射成型过程。

(3) 熔体特性 PE 熔体的非牛顿性不明显，PE 的熔体粘度对剪切速率敏感，随剪切速率的增大下降得较多。当剪切速率超过临界值后，易出现熔体破裂等流动缺陷。

(4) 流动性 PE 分子链柔性好，键间作用力小，熔体粘度低，流动性极好，成型时无需太高压力就能成型薄壁长流程制品。

(5) 吸湿性 PE 的吸湿性极小，不超过 0.01%，而且微量水分对制品的外观及物理性能无显著的影响，因此一般完整包装的聚乙烯塑料不需要干燥即可投入生产。

(6) 收缩率 PE 的收缩率范围和收缩值大，方向性明显，LDPE 收缩率为 1.22% 左右，HDPE 收缩率在 1.5% 左右，制品容易翘曲变形，模具冷却条件对收缩率的影响很大，冷却速度宜慢，故应严格控制模具温度，模具设冷料井，并有冷却系统，保持冷却均匀、稳定。

(7) 比热容大 PE 的熔点不高，但比热容较大，因此塑化时仍需要消耗较多的热量，故要求塑化装置要有较大的加热功率，以提高生产效率。

(8) 滞留时间 PE 的软化温度范围较小，且熔体在高温下易发生热氧老化，因而成型加工中应尽量减少熔体与空气的接触及在高温下的停留时间。

(9) 脱模性 PE 制品质地较软，容易脱模，因此当制品有较浅的侧凹槽时 can 以强力脱模。

2. 对成型设备的要求

PE 成型时对设备无特殊要求，柱塞式和螺杆式注射机都可使用。当用螺杆式注射机注射时，最好应用突变型螺杆，也可用注射机自身配备的通用型螺杆，但均化段（计量段）螺槽应浅些。对包装容器类制品，使用标准三段式螺杆时， $L : D = 25 : 1$ 为宜。喷嘴可用通用型或延长型，带单向阀。

3. 制品特点

制品的壁厚与熔体的流动长度有关，而 PE 的流动性又随着密度的不同有所不同，因此在选择制品的壁厚时需充分考虑流动比。LDPE 的流动比为 280 : 1，HDPE 的流动比为 230 : 1。为有利于熔体流动，减少收缩，PE 制品的壁厚一般为 1.0 ~ 3.5mm，最小壁厚不应小于 0.8mm，对于大型制品的加强筋厚度，最大可达 5mm。制品的厚度要尽量均匀，薄厚尺寸的交接过渡处，应有较大的过渡圆弧。

在选取制品壁厚时，还应考虑收缩率的影响。PE 制品的壁厚与成型收缩率的关系见表 4-1。

表 4-1 PE 制品壁厚与成型收缩率关系

制品壁厚范围/mm	1 ~ 3	3 ~ 6	> 7
成型收缩率 (%)	1.5 ~ 2.0	2.0 ~ 2.5	2.5 ~ 3.5

4. 模具结构

(1) 浇口与流道 可以使用各种类型的浇口，浇口长度不要超过 0.75mm。流

道直径在4~7.5mm之间,流道长度应尽可能短。为防止制品翘曲,应合理选择浇口位置或采用多点浇口。PE特别适用于热流道模具。

(2) 脱模斜度 根据制品收缩情况,要考虑脱模斜度,型芯脱模斜度为 $25' \sim 45'$ ($0.417^\circ \sim 0.750^\circ$),型腔脱模斜度为 $20' \sim 45'$ ($0.333^\circ \sim 0.750^\circ$)。PE质软易脱模,对于侧壁带有浅凹槽的制品,也可采用强行脱模的方式进行脱模。

(3) 排气 排气孔(槽)的深度应控制在0.03mm以下。

5. 原材料处理

1) 注射用的PE为乳白色颗粒,熔体流动速率(MFR)一般为 $1 \sim 10\text{g}/10\text{min}$ 。为保证制品具有一定的强度,通常选用MFR值稍低的级别,而对于强度要求不高、薄壁、长流程的制品,MFR值可选择稍大些。

2) 制品需要有颜色时,可采用浮染或色母料着色,按配比加入粒料中,搅拌均匀即可投产。

3) 完整包装的树脂在加工前不必进行干燥处理,必要时,可在 $70 \sim 80^\circ\text{C}$ 下,干燥 $1 \sim 2\text{h}$ 。

6. 注射成型工艺条件

(1) 机筒温度 PE注射成型时的机筒温度,主要是以PE的密度高低和熔体流动速率值的大小为依据,其次还与注射机的类型、制品的形状等有关。由于PE为结晶型聚合物,在熔融时晶粒要吸收一定的热量,因此机筒温度应高于它的熔点 10°C 左右。一般情况下,LDPE的机筒温度可控制在 $140 \sim 180^\circ\text{C}$,HDPE的机筒温度则控制在 $180 \sim 220^\circ\text{C}$ 。机筒后端取最小值,前端取最大值。

(2) 模具温度 模具温度对制品的结晶状况有较大的影响,模温高,熔体冷却慢,制品结晶度高,强度也就高,但收缩率增大;模温低,熔体冷却速率快,制品的透明性、韧性提高,但内应力也随之增加,制品易翘曲变形。模具温度的选择与PE的密度有关,通常情况下,LDPE的模温为 $30 \sim 60^\circ\text{C}$,HDPE的模温为 $50 \sim 80^\circ\text{C}$ 。壁厚6mm以下的制品应使用较高的模具温度,壁厚6mm以上的制品使用较低的模具温度。

(3) 注射压力 注射压力的选取,主要是根据熔体的流动性、制品壁厚及形状而定。由于PE在熔融状态下的流动性好,因此加工时可采用较低的注射压力,一般为 $60 \sim 80\text{MPa}$;而对于一些薄壁、长流程、形状复杂、窄浇口的制品和模具,注射压力应适当提高至 120MPa 左右。虽然提高注射压力可降低制品收缩率,但过高会出现溢边,制品内应力增加。

(4) 保压压力 约为注射压力的 $30\% \sim 60\%$ 。

(5) 塑化压力 $5 \sim 20\text{MPa}$,背压太低易造成制品质量和色散不均。

(6) 注射速度 选择中速或慢速,不宜采用高速注射,因为在高速注射过程中,PE存在熔体破裂倾向,但对薄壁包装容器需要高注射速度。

(7) 螺杆转速 螺杆的扭矩较低,允许高螺杆转速。只要满足冷却时间结束

前能完成塑化过程就可以。

(8) 成型周期 除了要有适当的充模时间和冷却时间外，还应有足够的保压时间，以弥补因熔体收缩而产生的缺料、气泡、凹痕等缺陷。保压时间由制品的厚度和流道的截面积大小来决定，一般在 10 ~ 40s 之间。

PE 的注射成型工艺条件见表 4-2。

表 4-2 PE 的注射成型工艺条件

工 艺 条 件	LDPE	HDPE
机筒温度/℃		
输送段	140 ~ 160	150 ~ 160
压缩段	150 ~ 170	170 ~ 180
均化段	160 ~ 180	180 ~ 200
喷嘴温度/℃	150 ~ 170	160 ~ 180
模具温度/℃	30 ~ 50	50 ~ 70
注射压力/MPa	60 ~ 100	70 ~ 100
保压压力/MPa	40 ~ 50	50 ~ 60
螺杆转速/(r/min)	60 ~ 100	40 ~ 80
成型周期/s	40 ~ 140	40 ~ 120

7. 注意事项

1) 一般正常情况下原料不用干燥处理即可直接投产注射成型，若含水量超过 0.1% 时应在 70 ~ 80℃ 烘箱中干燥处理 1 ~ 2h。

2) 熔融料流动性好，除制品结构要求采用高注射压力外，一般应采用较低的注射压力；从提高制品表观质量、减少制品收缩率方面考虑，应采用高压注射，但制品的内应力会增加。

3) 聚乙烯注射制品一般不进行退火处理，必要时可在 80℃ 的各种介质中处理 1 ~ 2h，然后缓慢冷却至室温，这样既可提高制品的强度又可减少制品的变形。

4) 边角回收料可直接混入新料中使用。

5) 原料中最好加抗氧剂，因为聚乙烯树脂在高温下抗氧化性差。

8. PE 注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决方法（见表 4-3）

表 4-3 PE 注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决方法

不良现象	产生原因	解决方法
注射不足	① 熔体温度太低	① 提高机筒和喷嘴温度
	② 注射速度太低	② 提高注射速度
	③ 注射压力太低	③ 增加注射压力
	④ 成型周期太短	④ 延长成型周期
	⑤ 注射量不够	⑤ 加大注射量
	⑥ 模具温度太低	⑥ 提高模具温度
	⑦ 制品壁厚太薄	⑦ 增加制品厚度
	⑧ 模具排气不良	⑧ 提高模具排气性
	⑨ 浇口、流道横截面太小	⑨ 增加浇口、流道的横截面积

(续)

不良现象	产生原因	解决方法
缩痕	① 注射压力偏低 ② 保压压力太低 ③ 保压时间太短 ④ 供料不足 ⑤ 冷却时间太短 ⑥ 制品壁厚太厚 ⑦ 浇注系统流动阻力太大	① 提高注射压力 ② 增加保压压力 ③ 适当延长保压时间 ④ 适当增加供料量 ⑤ 适当延长冷却时间 ⑥ 减小制品厚度 ⑦ 适当放大浇口及流道截面积
熔合痕	① 熔体温度太低 ② 注射压力偏低 ③ 注射速度太慢 ④ 模具温度太低 ⑤ 模具排气不良 ⑥ 脱模剂用量太多	① 提高机筒、喷嘴温度 ② 提高注射压力 ③ 增加注射速度 ④ 增加模具温度 ⑤ 增设排气槽 ⑥ 减少脱模剂用量
料流痕	① 熔体温度太低 ② 注射压力偏低 ③ 保压压力太低 ④ 保压时间太短 ⑤ 注射速度太慢 ⑥ 模具温度太低 ⑦ 浇注系统流动阻力太大	① 提高机筒、喷嘴温度 ② 提高注射压力 ③ 增加保压压力 ④ 适当延长保压时间 ⑤ 增加注射速度 ⑥ 增加模具温度 ⑦ 适当放大浇口及流道截面积
制品光泽不好	① 熔体温度太低 ② 成型周期太长 ③ 模具温度太低 ④ 浇注系统流动阻力太大 ⑤ 脱模剂用量太多	① 提高熔体温度 ② 缩短成型周期 ③ 提高模具温度 ④ 适当放大浇口及流道截面积 ⑤ 减少脱模剂用量
气泡孔	① 熔体温度太高 ② 注射压力偏低 ③ 保压压力太低 ④ 保压时间太短 ⑤ 注射速度太快 ⑥ 制品壁厚太厚 ⑦ 浇口横截面太小	① 降低机筒温度、螺杆背压和螺杆转速 ② 提高注射压力 ③ 增加保压压力 ④ 延长保压时间 ⑤ 降低注射速度 ⑥ 减小制品厚度 ⑦ 增加浇口横截面积，缩短流道长度
焦烧、黑条纹	① 熔体温度太高 ② 喷嘴、螺杆及机筒等部位树脂滞流 ③ 成型周期太长 ④ 注射压力太高 ⑤ 注射速度太快 ⑥ 塑化压力太高 ⑦ 浇口直径太小	① 降低机筒温度 ② 清理喷嘴、螺杆及机筒 ③ 缩短成型周期 ④ 降低注射压力 ⑤ 降低注射速度 ⑥ 降低塑化压力 ⑦ 增加浇口直径

(续)

不良现象	产生原因	解决方法
飞边	① 熔体温度太高 ② 注射压力太高 ③ 保压压力太高 ④ 注射速度太快 ⑤ 保压时间太长 ⑥ 注射量太多 ⑦ 锁模力不够 ⑧ 模具温度太高	① 降低机筒温度 ② 降低注射压力 ③ 降低保压压力 ④ 降低注射速度 ⑤ 缩短保压时间 ⑥ 减少注射量 ⑦ 增加锁模力 ⑧ 降低模具温度
翘曲	① 熔体温度太低 ② 成型周期太短 ③ 注射压力太高 ④ 保压压力太高 ⑤ 注射速度太快 ⑥ 保压时间太长	① 增加机筒温度，增加螺杆背压 ② 延长成型周期 ③ 降低注射压力 ④ 降低保压压力 ⑤ 降低注射速度 ⑥ 缩短保压时间
银丝	① 机筒或喷嘴局部过热，熔体分解 ② 模具温度太低	① 适当降低机筒或喷嘴处的加热温度 ② 提高模具温度
收缩率大	① 熔体温度太高 ② 注射压力太低 ③ 模具温度太高 ④ 制品壁厚太厚 ⑤ 浇口横截面太小	① 降低机筒温度 ② 提高注射压力 ③ 降低模具温度 ④ 减小制品厚度 ⑤ 增加浇口横截面积

4.1.2 聚丙烯的注射成型

聚丙烯，英文名称 Polypropylene，简称 PP，是一种半透明、结晶型高聚物，不仅质轻（密度为 0.90 ~ 0.91g/cm³）、价廉、无毒、无味，而且还耐腐蚀，耐高温（可在 100℃ 左右使用），力学强度高，有很高的弯曲疲劳寿命，俗称“百折胶”，其综合性能优于 PE。因此被广泛用于食品包装、医药包装、电器配件、机械零件和日用品等领域。

PP 的主要缺点是尺寸精度低，刚性不足，耐候性差，易产生“铜害”，它具有后收缩现象，脱模后易老化、变脆、变形。

不同用途的 PP 其流动性差异较大，一般使用的 PP 流动速率介于 ABS 与 PC 之间。

1. 工艺特性

(1) 结晶性 PP 属于非极性结晶型聚合物，结晶度达 50% ~ 70%，具有较为明显的熔点，熔点温度为 164 ~ 170℃，分解温度为 320℃，成型温度范围较宽。

(2) 熔体特性 熔体弹性较大且冷却凝固速度快，制品易产生内应力，因此，

浇注系统及冷却系统应缓慢散热，并注意控制成型温度。此外，PP 易发生熔体破裂，长期与热金属接触易分解。

(3) 熔体流动性 PP 的熔体流动性比 PE 好，熔体粘度随着剪切速率的提高明显降低，所以提高注射压力和注射速度会提高其流动性，改善收缩变形和凹陷。

(4) 热稳定性 PP 的熔点和分解温度都比 PE 高，热稳定性好，成型温度范围较宽，一般为 205 ~ 315℃，分解温度在 300℃ 以上。PP 分子结构中含有叔碳原子，抗氧化能力较低，与氧接触时，树脂在 260℃ 左右开始变黄，成型前应加入一定比例的抗氧化剂。

(5) 吸湿性 PP 的吸湿性小，约为 0.03% ~ 0.04%，一般不需干燥。

(6) 成型收缩率 PP 的成型收缩率为 1.0% ~ 2.5%，并具有各向异性，易发生缩孔、凹痕和变形，在制品与模具设计时须加以注意。

(7) 成型适应性 PP 的成型适应性比较强，一般注射机均可使用，但由于其密度较低 (0.91 g/cm³)，通常要求制品重量不超过设备容量的 50% ~ 60%，以免出现制品不足等问题。

2. 对成型设备的要求

PP 可用螺杆式注射机或柱塞式注射机成型，一般螺杆式注射机应用较多。由于 PP 具有高结晶性，需采用注射压力较高且可多段控制的注射机。锁模力一般按 3.8kN/cm² 来确定。螺杆结构以突变型螺杆较好，螺杆的加料段应长些，一般大于螺杆直径的 10 倍。喷嘴可用通用型或延长型，带单向阀。由于 PP 的密度小，在选择注射机时，额定注射量一定要大于制品质量的 1.8 ~ 2 倍，以防制品产生欠注现象。

3. 制品特点

PP 熔体的最大流动长度与壁厚之比为 250 : 1，熔体的流动性较好，制品壁厚可在 1.0 ~ 4.0mm 范围内选取，均聚 PP 制造的产品，厚度不能超过 3mm，否则会有气泡（厚壁制品只能用共聚 PP）。壁厚应尽量均匀，厚薄不宜相差太大，最多不要超过 50%；厚壁与薄壁之间要用圆弧过渡，转角处避免锐角存在，圆弧过渡的半径要求大一些，一般比壁厚小 1/3 即可。对于薄而平直的制品，为防止变形，要考虑设置加强筋，加强筋可采用槽沟形或瓦楞形等，其厚度不应超过制品壁厚的 1/2。

与其他塑料一样，PP 制品的成型收缩率与其壁厚有关。壁厚越厚，制品的收缩率也就越大，反之壁厚越小，收缩率也就减少。表 4-4 所示为 PP 制品的壁厚与收缩率的关系。

表 4-4 PP 制品壁厚与成型收缩率的关系

制品壁厚范围/mm	1 ~ 3	4 ~ 5	>6
成型收缩率 (%)	1.0 ~ 2.0	2.0 ~ 2.5	2.5 ~ 3.0

4. 模具结构

(1) 流道和浇口 所有类型的浇口都可以使用,浇口位置在制品最厚点。建议使用通体为圆形的浇口和流道。流道直径4~7mm,浇口直径范围是1~1.5mm,但也可以使用小到0.7mm的浇口。对于边缘浇口,最小的浇口深度应为壁厚的一半,宽度为壁厚的两倍,并随型腔内的熔流长度逐渐增加。PP材料完全可以使用热流道系统。

带有铰链的制品,应注意浇口位置的选择,即要求熔体的流动方向垂直于铰链的轴芯线;在多型腔的模具中,浇口的位置应设在靠近铰链的一侧,避免在铰链区域内产生熔接痕。

(2) 脱模斜度 根据制品收缩情况,模具的脱模斜度在 0.5° ~ 1.5° 范围内选择就可以满足要求,对于形状复杂或带有成型孔、字母、花纹的制品可取 1.5° ~ 2.0° 的斜度。

(3) 排气 模具必须有良好的排气性,排气孔(槽)的位置应根据制品情况和料流方向而定,其深度一般为0.025~0.038mm,厚1.5mm。

5. 原材料处理

用于注射成型的PP树脂为白色蜡状颗粒,熔体流动速率在1~9g/10min范围内。从不同厂家购进的同一批号PP树脂,生产前应对原料进行检验,检验内容包括:①按注射成型塑料制品用原料的工艺要求,核实进厂原料名称、牌号及数量,查看是否与塑料制品生产要求条件相符。②抽检原料的外观质量,如原料的色泽、颗粒大小的均匀性及料内是否纯洁、有无杂质等。③检查原料包装是否完好。④抽样检验原料的熔体流动速率、含水量等与工艺条件有关的原料性能参数。⑤抽检验证原料的密度、熔点及制品成型后的收缩率,看是否与原料的性能相符。包装完好的粒料,含水质量分数不超过0.04%,可直接投产应用。如果颗粒中水分含量过高,可在80~100℃下干燥2~4h。

6. 注射成型工艺条件

(1) 机筒温度 PP的熔点为160~175℃,分解温度为320℃,但PP长期受热易发生氧化反应,因此在注射加工时机筒温度控制在210~280℃,熔融段温度最好为240℃。当制品壁薄、形状复杂时,机筒温度可提高至280~300℃;当制品壁较厚时,机筒温度可降低至200~230℃。机筒温度太低,大分子取向程度增加,制品易产生翘曲变形。喷嘴温度可比机筒最高温度低10~30℃。

(2) 模具温度 模具温度一般控制在30~90℃之间,型芯温度比型腔温度低5℃以上。对于尺寸精度要求较高的制品用高模温。模具温度高,结晶度高,刚性强,硬度增加,表面光洁程度较好,但收缩率大,易产生溢边、凹痕、收缩等缺陷;模具温度低,制品结晶度低,韧性好,收缩率降低,但制品表面光洁程度差,面积较大、壁厚较厚的制品还容易产生翘曲变形。

(3) 注射压力 PP熔体的粘度对剪切速率的依赖性大于对温度的依赖性,因

此在注射时，可以通过提高注射压力来增加熔体的流动性，一般注射压力控制在 70 ~ 120MPa，一些薄壁包装容器可达到 180MPa。柱塞式注射机压力高，螺杆式注射机压力偏低。提高注射压力还有利于提高制品的拉伸强度和断裂伸长率，且对制品的冲击强度无不利影响，同时还能大大降低成型收缩率。但太高的注射压力易造成制品溢边，并增加了制品的内应力。

(4) 保压压力 约为注射压力的 30% ~ 60%。大概在全行程的 95% 时转保压。用较长的时间保压。

(5) 塑化压力 一般为 5 ~ 20MPa，色粉料的背压可适当调高。

(6) 注射速度 一般制品采用中等注射速度，对薄壁包装容器需要高的注射速度（带蓄能器）。如果制品表面出现缺陷，应使用较高温度的低速注射。

(7) 螺杆转速 允许高螺杆转速（线速度为 1.3m/s），只要满足冷却时间结束前完成塑化过程就可以。

(8) 成型周期 与其他塑料不同，PP 制品在较高的温度下脱模不产生变形或变形很小，并且通常又采用较低的模具温度，因此 PP 的成型周期较短。在 PP 的成型周期中，保压时间的选择比较重要。一般来说，保压时间长，制品的收缩率低，但制品会产生内应力，故保压时间不能太长。

PP 的注射成型工艺条件见表 4-5。

表 4-5 PP 的注射成型工艺条件

树脂类型	PP	玻璃纤维增强 PP	乙丙共聚 PP	透明 PP
机筒温度/℃				
输送段	150 ~ 170	160 ~ 180	160 ~ 170	180 ~ 200
压缩段	180 ~ 190	190 ~ 200	180 ~ 200	190 ~ 210
均化段	190 ~ 210	210 ~ 220	190 ~ 220	200 ~ 220
喷嘴温度/℃	170 ~ 190	190 ~ 200	180 ~ 200	190 ~ 220
模具温度/℃	30 ~ 80	70 ~ 90	50 ~ 70	30 ~ 50
注射压力/MPa	70 ~ 120	90 ~ 130	70 ~ 100	80 ~ 120
保压压力/MPa	50 ~ 60	50 ~ 80	40 ~ 50	60 ~ 80
螺杆转速/(r/min)	40 ~ 80	40 ~ 60	40 ~ 60	40 ~ 60
成型周期/s	40 ~ 120	80 ~ 140	40 ~ 140	40 ~ 120

7. 注意事项

- 1) 聚丙烯制品低温下表现脆性，对缺口很敏感，注意避免尖角。
- 2) 树脂的熔体流动性好，成型时易用高压注射，料温均匀，填充速率快，保压充分。不易用直接浇口，以防收缩不均，内应力增大。
- 3) 因成型收缩率大，刚性低，所以尺寸精度难以保证。模具内的冷却时间要足够长。
- 4) 大多光泽较好，因易产生缩痕和光泽不匀，所以图案设计要仔细。

5) PP 制品存在后收缩的可能,即制品脱模后仍会继续收缩,致使制品翘曲变形,特别是在生产大面积薄壁制品时,更易产生此现象。在工艺上采用的控制方法是缩短注射和保压时间,提高注射和模具温度,脱模后在室温下固定一段时间,待其充分冷却定型后,再取走固定夹具。对尺寸稳定性要求较高的制品,应进行热处理,处理温度为 $80 \sim 100^{\circ}\text{C}$, 时间为 $1 \sim 2\text{h}$ 。

6) 对聚丙烯来说,着色剂不仅可以增加制品的美观,而且对制品的性能也有一定的作用,如炭黑可以改善其耐光性。但是如果选用不当则会适得其反,影响制品性能,如酞菁系颜料对聚丙烯老化性能的影响,初期有一定的抑制作用,但随时间的延长反而促进了制品的老化,因此在使用时需慎重考虑,仔细选择。

7) 聚丙烯的折叠性能十分突出,因此往往被人们用来制作各种铰链(又称合页)制品。由于折叠性能在很大程度上取决于模具结构,故需注意模具设计的合理性。

8. PP 注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决方法

PP 注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决方法和 PE 相似,参见表 4-3。

4.1.3 聚氯乙烯的注射成型

聚氯乙烯英文名称 Polyvinylchloride, 简称 PVC, 是目前世界上产量仅次于 PE 的热塑性非结晶型塑料, 外观为白色粉末, 密度为 $1.38\text{g}/\text{cm}^3$ 。一般把含 15% (质量分数, 下同) 以下增塑剂的 PVC 称为硬质 PVC, 而含 15% 以上增塑剂的 PVC 称为软质 PVC。由于其化学稳定性好, 介电性高、阻燃、耐油、耐磨, 有一定的力学强度且价格便宜, 因此, 被广泛用于农业、化工、电子、建筑和轻工等领域。

1. 工艺特性

(1) 结晶性 PVC 为非结晶型高分子材料, 没有明显的熔点, 60°C 以上开始变软, $100 \sim 150^{\circ}\text{C}$ 呈粘弹态, 150°C 以上成为粘流态。树脂在 150°C 开始分解, 超过 180°C 则迅速降解, 放出大量有刺激性及腐蚀性的 HCl 气体。因此 PVC 必须加入热稳定剂方可进行加工。成型温度一般在 $160 \sim 190^{\circ}\text{C}$ 之间。

(2) 熔体特性 PVC 作为一种热敏性材料, 熔体粘度大, 流动性差, 物料充模困难, 需较大的注射压力, 同时为避免出现熔体破裂现象, 在成型中宜采用低速高压注射。

(3) 热稳定性 PVC 热稳定性差, 成型温度与热分解温度很接近, 成型温度范围很窄, 是一种难于成型加工的材料, 应尽可能用较低的温度注射成型, 同时应尽可能缩短成型周期, 以减少熔体在机筒内的滞留时间。

(4) 吸湿性 PVC 吸水率低, 含水质量分数一般不超过 0.1%, 对要求不高的制品, 成型前可不进行干燥处理。

(5) 收缩率 成型收缩率低, 约 $0.6\% \sim 1.5\%$ 。

2. 对成型设备的要求

PVC 的注射成型, 只能选用螺杆式注射机, 不能选用柱塞式注射机。最好采用 PVC 专用装置。螺杆可选用渐变式压缩型螺杆, 压缩比为 2 ~ 2.5, 长径比为 12 ~ 20, 螺杆头部为锥形, 无止逆环, 以减少物料停留的可能性 (未增塑 PVC 的注射成型可采用带止逆环的标准螺杆)。最好采用螺杆头和螺杆体合为一体的形式, 以避免 PVC 熔体渗透到零件内层。螺杆的三段分布分别为加料段约 40%, 压缩段 40%, 均化段为 20%。

喷嘴应采用通用型喷嘴或延伸式喷嘴, 并配有加热装置。喷嘴的孔径应大些 (直径为 4 ~ 10mm), 成圆锥形, 内角为 5°, 以防止死角滞料。

为精确控制熔体温度, 一般要求注射机具备一套风冷温控系统, 使机筒温度保持在一定的温度范围内, 防止 PVC 在机筒内过热分解。目前通常采用压缩空气机筒内部冷却或风机冷却装置。设备的温控系统 (如恒温仪表、调压变压器等) 应指示准确且反应灵敏。

由于 PVC 分解后产生的 HCl 气体对金属会产生腐蚀作用, 螺杆、机筒及模具的表面应镀铬、氮化处理。

注射机的注射压力、速度、背压、温度均可实行多级、精密控制。

3. 制品特点

制品壁厚不可太小, 一般为 1.5 ~ 5.0mm, 壁厚尽可能均匀, 最小壁厚不得小于 1.2mm, 流道长度与制品壁厚之比为 100 : 1 左右。

4. 模具结构

硬质 PVC 的成型收缩率通常为 0.6% ~ 1.5%, 故要求制品应有一定的脱模斜度。一般沿脱模方向的斜度为 1.0° ~ 1.5°, 对于多孔制品或脱模阻力较大的制品其斜度应适当加大。

所有常规的浇口都可以使用。如果加工较小的部件, 最好使用针点型浇口或潜入式浇口; 对于较厚的部件, 最好使用扇形浇口。针点型浇口或潜入式浇口的最小直径应为 1mm; 扇形浇口的厚度不能小于 1mm。浇口越短越好, 浇口朝着制品的方向应有圆弧过渡。流道的长度要短, 直径要大, 以减小压力损失, 使保压压力能传递到型腔。主流道的横切面要为圆形, 通过切面半径连接主流道和浇口, 直径可为 7mm。主流道末端应开设足够的冷料井以捕集冷料, 对于较长的分流道也应开设冷料井。

模具须冷却, 为了防止 HCl 气体对模具产生锈蚀作用, 对模具的流道、型腔等与熔体接触部分, 应做好防腐处理 (如镀铬、氮化等), 或采用防腐耐磨材料制成。生产完后, 应用温和的碱液小心地将模面清洗干净后再油质喷雾或硅质喷雾。

5. 原材料处理

加工前原料可不干燥, 如果原料中水分含量较高时 (含水质量分数超过 0.4%), 可在 70 ~ 90℃ 的热风循环烘箱中干燥 1 ~ 2h。

6. 注射成型工艺条件

鉴于 PVC 树脂的特点，注射成型时必须充分注意对熔体温度的控制，同时要确保预塑时电动机能产生足够的扭力。

(1) 机筒温度 机筒温度控制在 170 ~ 190℃，最高不超过 200℃；机筒温度分布通常采用阶梯式设置，当机筒温度达到后，应由注射机中的温度控制系统对其进行准确控制。喷嘴温度比机筒末端温度低 10 ~ 20℃，一般在 170 ~ 180℃之间。

(2) 模具温度 一般在 40℃ 以下，最高不超过 60℃。薄壁、形状复杂制品的模具温度应偏高些。为了减小制品内应力的产生，模具各部位温差不应超过 5℃。

(3) 注射压力 注射压力的大小，直接影响制品的密实性与收缩率。由于硬质 PVC 的熔体粘度较大，故成型时需较高的注射压力，一般情况下，注射压力应控制在 90MPa 以上。硬质 PVC 的注射压力还与制品的结构和要求有关，见表 4-6。

表 4-6 硬 PVC 制品结构与注射压力的关系

制 品 结 构		注射压力/MPa
低粘度的物料	流动阻力小的流道	< 70
	精度要求不高的制品	70 ~ 100
高粘度的物料	精度要求高的制品	100 ~ 140
	流动阻力大的流道	140 ~ 170
	薄壁制品	140 ~ 170

(4) 保压压力 注射压力的 40% ~ 60%，大多在 60 ~ 80MPa，依制品和浇口形式而定。

(5) 塑化压力 塑化压力应尽可能控制在 15MPa 以内，越低越好，一般为 5MPa。过高的背压会产生过大的剪切力，使 PVC 过热分解。

(6) 注射速度 为避免材料降解，一般采用中等或较低的注射速度。生产极度光滑的厚壁制品时，需要多级注射速度。

(7) 螺杆转速 由于 PVC 的高粘度和热敏感性，要控制螺杆的转速，如果螺杆直径在 60mm 以下，转速要小于 60r/min，直径越大转速越小。

(8) 成型周期 为减少物料的分解，应尽量缩短制品的成型周期，除了大型超厚制品外，成型周期一般在 40 ~ 80s。以制品脱模时有一定强度，不变形为依据，时间越短越好。

不同类型 PVC 的注射成型工艺条件见表 4-7。

表 4-7 不同类型 PVC 的注射成型工艺条件

树 脂 类 型	硬质 PVC	软质 PVC
机筒温度/℃ 输送段	150 ~ 160	140 ~ 150

(续)		
树脂类型	硬质 PVC	软质 PVC
压缩段	165 ~ 170	155 ~ 165
均化段	170 ~ 180	170 ~ 180
喷嘴温度/℃	150 ~ 170	145 ~ 155
模具温度/℃	30 ~ 60	30 ~ 40
注射压力/MPa	80 ~ 130	40 ~ 80
保压压力/MPa	40 ~ 60	20 ~ 30
塑化压力/MPa	5 ~ 10	5 ~ 10
螺杆转速/(r/min)	20 ~ 40	40 ~ 80
成型周期/s	20 ~ 55	10 ~ 38

7. 注意事项

为保证聚氯乙烯的顺利成型，在成型中应注意：

1) 用 PVC 树脂生产前，如果机筒内所存物料为 PS 或 ABS 时，可在 PVC 加工温度下，直接用 PVC 清洗机筒并进行成型加工。若机筒内所存物料的成型温度高于 PVC 所允许的温度范围，或是 POM 等其他热敏性塑料时，应先用 PE 或 PS 等树脂清洗机筒，然后再用 PVC 清洗干净后再投入生产。

2) 在 200℃ 的温度下，熔体在机筒中的滞留时间最多不能超过 5min。当温度为 210℃ 时，滞留时间不能超过 3min。

3) 在机筒升温过程中，应密切注意升温情况，当温度达到工艺要求后，须及时开启设备，进行对空注射，而不可使物料在机筒内恒温一段时间。

4) 由于注射温度与熔体分解温度很接近，注意要经常校正仪表显示温度与机筒实测温度的差值，避免原料分解，影响生产。

5) 在加工过程中，如果发现制品上有黄色条纹或黄色斑，说明原料已接近分解，应立即采取措施，对机筒进行清洗。再次生产前应对空注射，检查熔体料样，熔体光洁明亮，说明清理干净，可投入正常生产。

6) 在加工 PVC 时，应保持生产车间通风良好，生产设备应做好防腐工作。若出现树脂分解时，应及时将门窗打开，排出受污染的空气。

7) 由于 PVC 的脱模性能良好，因此一般不使用脱模剂，如需使用，其用量应很小。

8) 停机时，要先将机筒内的 PVC 物料全部排出，并用 PS、PE 或通用级 ABS 树脂及时清洗机筒，方可停机；停机后立即在模具的型腔与流道表面涂油防锈。

8. PVC 注射成型中不良现象、产生原因及解决办法

PVC 注射成型中不良现象、产生原因及解决办法见表 4-8，PVC 发泡塑料注射成型中不良现象、产生原因及解决办法见表 4-9。

表 4-8 PVC 注射成型中不良现象、产生原因及解决办法

不良现象	产生原因	解决方法
浇口附近出现焦烧条纹	① 注射速度太高 ② 浇口或喷嘴截面尺寸太小 ③ 注射压力太高 ④ 熔体粘度太大	① 降低注射速度 ② 扩大浇口或喷嘴内径，或两者皆扩大 ③ 降低注射压力 ④ 提高料温以降低粘度，但料温避免超过 205℃
主流道中心出现焦烧条纹	① 机筒前段温度太高 ② 背压太大 ③ 螺杆转速太大 ④ 螺杆头或机筒头部内表面粗糙 ⑤ 螺杆压缩比太大 ⑥ 螺杆头不合适	① 降低机筒前段温度 ② 降低背压 ③ 减低螺杆转速 ④ 螺杆头或机筒头部内表面抛光处理 ⑤ 采用较低压缩比的螺杆 ⑥ 采用偏心螺杆头
在模具中某点或熔接缝处出现周期性分解	① 注射速度太高 ② 模具排气不良 ③ 模具中存在尖角	① 降低注射速度 ② 改善模具排气性能 ③ 把锐角改为圆弧
一般变色或出现焦烧区域	① 机筒温度太高 ② 物料分解 ③ 螺杆转速太快 ④ 背压太大 ⑤ 温度控制器损坏 ⑥ 螺杆与机筒的间隙太小	① 降低机筒温度 ② 清理机筒，直至物料颜色正常；若颜色仍不能恢复正常，应清理螺杆和机筒头部 ③ 降低螺杆转速 ④ 减小背压 ⑤ 检查不合格的温度控制器 ⑥ 检查螺杆与机筒间隙
制品中有散开的黑色微粒	① 物料已分解 ② 充模速度太快	① 移出螺杆，清理螺杆、机筒 ② 降低充模速度
制品表面呈现无光泽区域或表面全部无光泽	① 机筒温度偏低 ② 螺杆背压太低 ③ 充模速度太慢 ④ 模具温度太低	① 小幅度地提高机筒温度 ② 增加螺杆背压 ③ 提高充模速度 ④ 提高模具温度
浇口周围呈红斑	① 喷嘴温度太低 ② 主浇口和喷嘴尺寸太小 ③ 充模速度太快 ④ 模具温度太低 ⑤ 浇口位置不合适	① 提高喷嘴温度 ② 加大主浇口和喷嘴尺寸 ③ 降低充模速度 ④ 提高模具温度 ⑤ 改变浇口位置
制品厚壁部分表面色泽变暗	① 冷却时间太短 ② 注射保压时间太短 ③ 注射保压压力太低 ④ 浇口尺寸太小 ⑤ 模具温度太高	① 延长冷却时间 ② 延长注射保压时间 ③ 提高注射保压压力 ④ 加大各浇口尺寸 ⑤ 降低模具温度

(续)

不良现象	产生原因	解决方法
缩痕	① 注射保压压力太低 ② 注射保压时间太短 ③ 注料量不够 ④ 注射速度太慢 ⑤ 冷却时间太短 ⑥ 制品加强筋或凸起部分太厚 ⑦ 浇口至收缩区域的流道不合适 ⑧ 喷嘴、流道和浇口的尺寸太小 ⑨ 在一模多腔中充模不平衡 ⑩ 模具温度太高	① 增加注射保压压力 ② 增加注射保压时间 ③ 增加注料量 ④ 增加注射速度 ⑤ 增加冷却时间 ⑥ 减小制品加强筋或凸起部分厚度 ⑦ 改善从浇口至收缩区域的流道 ⑧ 加大喷嘴、流道和浇口的尺寸 ⑨ 在一模多腔中充模要平衡 ⑩ 降低模具温度
翘曲	① 开模太早 ② 模具温度太高 ③ 注射压力和保压压力太高 ④ 加料量太多 ⑤ 冷却不充分 ⑥ 制品壁厚不均匀	① 延长冷却时间 ② 降低模具温度（对于厚壁部分） ③ 降低注射压力和保压压力 ④ 减少加料量 ⑤ 利用防收缩定型夹具 ⑥ 检验制品壁厚的均匀性
制品表面有条纹或银丝条纹（不同于缺料引起的条纹）	① 料温太高 ② 注射速度太快或太慢 ③ 原料中含水量太大 ④ 喷嘴温度太高	① 降低料温 ② 改变注射速度 ③ 预干燥原料 ④ 降低喷嘴处温度
熔接缝	① 料温太低 ② 注射速度太慢 ③ 保压时间太短 ④ 保压压力太小 ⑤ 模具温度太高或太低 ⑥ 脱模剂用量太多 ⑦ 模具排气不良 ⑧ 各浇口的配置或各浇口的尺寸不合适	① 增加料温，但避免料温超过 205℃ ② 增加注射速度 ③ 增加保压时间 ④ 增加保压压力 ⑤ 改变模具温度 ⑥ 避免使用脱模剂 ⑦ 改善模具排气性 ⑧ 改变各浇口的配置或各浇口的尺寸，也可两者同时改变
分层	① 机筒中残留清洗用原料 ② 料温太低 ③ 注射速度太慢 ④ 浇口尺寸太小	① 保证全部排出清洗机筒用原料 ② 增加料温，但避免料温超过 205℃ ③ 增加注射速度 ④ 扩大浇口尺寸
收缩不够（在物料允许的收缩公差范围内）	① 注射速度太快 ② 注射压力和保压压力太高 ③ 冷却时间太长 ④ 保压时间太长	① 降低注射速度 ② 降低注射压力和保压压力 ③ 减少冷却时间 ④ 减少保压时间

(续)

不良现象	产生原因	解决方法
收缩过度 (在物料允许的收缩公差范围内)	① 注射速度太慢 ② 注射压力和保压压力太低 ③ 冷却时间太短 ④ 保压时间太短	① 增加注射速度 ② 增加注射压力和保压压力 ③ 增加冷却时间 ④ 增加保压时间
制品脱模后,壁厚部分膨胀	① 料温太高 ② 充模速度太快 ③ 壁厚太厚 ④ 流动阻力太大	① 降低料温 ② 降低充模速度 ③ 将壁厚部分减薄 ④ 降低流动阻力

表 4-9 PVC 发泡塑料注射成型中不良现象、产生原因及解决办法

不良现象	产生原因	解决方法
溢料飞边	① 模具密封不严 ② 冷却速度太慢 ③ 供料量和注射量太多 ④ 塑化时间和注射压力配合不当 ⑤ 锁模力不够	① 维修模具 ② 提高冷却效率,增加冷却速度 ③ 减少注射量 ④ 合理调整注射压力和发泡时间 ⑤ 增加锁模力
起大泡	① 发泡剂的粒径太粗,分散不均匀 ② 捏和及造粒时温度太高,发泡剂过早分解,粒子有发泡现象 ③ 熔体在机筒中滞留时间太长或加工温度太高 ④ 螺杆背压太小,熔体在机筒中受热膨胀 ⑤ 机筒端部漏料,在出口处形成低压区,使熔体在此处膨胀形成气泡 ⑥ 再生料回用比例不当 ⑦ 型腔太薄,料流不畅,模内气体有时被熔体包围无法排出而形成大泡 ⑧ 注射压力太低或注射速度太慢	① 将发泡剂磨细后使用(研磨 2~4 遍) ② 适当降低捏和及造粒温度,挤出的粒子切开时不能有小泡 ③ 采用快速预塑,已塑化的熔体应一次注完,不要剩料,并尽量采用一机多模生产 ④ 加大背压,使熔体内所含发泡剂受热分解后无预膨胀的机会 ⑤ 适当降低出料口温度,最好在出料口部位采用节流阀式结构,封住端部出口 ⑥ 应适当减少再生料用量 ⑦ 合理设计制品厚度和表面花纹,使熔体流动通畅,在大泡固定出现的部位开排气槽 ⑧ 适当提高注射压力,加快注射速度
发泡倍率太大	① 发泡剂用量太多,使发气量过高 ② 增塑剂用量太多 ③ 开模温度太高 ④ 保压时间太短	① 测定发气量,准确投料 ② 适当减少增塑剂用量 ③ 降低开模温度 ④ 保证制品完全定型后再出模
发泡倍率不够	① 发泡剂用量太少,造成发气量不足 ② 增塑剂用量过少 ③ 制品在二次加工时,第二次膨胀时间太短 ④ 当制品表面有烘漆样花纹时,表明第一次开模膨胀发泡太慢 ⑤ 当制品表面有小气泡鼓出时,表明注射温度太低	① 测定发气量后准确投料 ② 适当增加增塑剂用量 ③ 适当延长加工时的蒸煮发泡时间,而且第一次和第二次发泡的时间间隔不能超过 12h ④ 适当缩短第一次开模时间 ⑤ 提高注射温度,如果成型温度提高后仍不发泡,应进一步缩短第一次开模时间

(续)

不良现象	产生原因	解决方法
孔径不均	① 发泡剂颗粒大小不一致，分散不好 ② 注射压力太小，注射速度太慢 ③ 成型温度偏高 ④ 机筒内滞留料太多 ⑤ 螺杆背压不足	① 应对发泡剂进行研磨处理后使用 ② 适当提高注射压力和加快注射速度 ③ 应适当降低机筒温度 ④ 通过一模多腔等方法减少存料 ⑤ 适当提高螺杆背压
实心凹陷	① 制品太薄，熔体充模阻力大，造成某些部位压力降低，充模不足 ② 冷却不均匀，某些部位冷却太快，发泡困难	① 合理设计制品厚度，一般要求未发泡厚度在 6mm 以上，且尽量使壁厚均匀 ② 使制品均匀冷却，模具的冷却系统必须根据制品的形体特点合理设置
浇口凹陷	① 浇口截面尺寸太大 ② 保压时间太短 ③ 成型温度太高或太低 ④ 注射压力不足	① 适当缩小浇口截面尺寸 ② 适当延长保压时间 ③ 合理调整成型温度 ④ 提高注射压力
流料痕	① 成型温度太低或各加热区域的温差悬殊 ② 注射速度太慢 ③ 供料量不足	① 适当提高成型温度，调整各部分的加热温度 ② 适当加快注射速度 ③ 适当增加供料量
光泽不良	① 树脂粘度太高，增塑剂吸收不均 ② 大泡收缩形成不均匀麻面 ③ 模具型腔表面粗糙度较高或腐蚀 ④ 成型温度太低 ⑤ 模具型腔表面有残留物 ⑥ 熔体在充模时表面的发泡剂分解发泡，泡孔在流动过程中被撕破，形成烘漆样花纹，影响制品的表面光泽	① 合理选用树脂 ② 首先查明大泡产生的原因，排除大泡故障 ③ 降低模具表面粗糙度 ④ 适当提高成型温度 ⑤ 清理型腔，去除残留物 ⑥ 采用喷色和上光等辅助方法提高表面光泽
色泽不均	① 色料未称准 ② 色料分散不均匀 ③ 色料质量较差，本身着色力不强 ④ 局部塑化温度太高，引起变色 ⑤ 表面有烘漆样花纹，形成色差	① 精确称量色料 ② 使用研磨机将色料磨细 ③ 选用着色性能较好的色料 ④ 检查加热系统，降低局部高温 ⑤ 适当缩短第一次开模时间
生料	① 成型温度不够，塑化不良 ② 原料配方配制不合理	① 检查加热系统，适当提高成型温度 ② 调整配方
分层	① 发泡剂用量太多 ② 成型温度太高 ③ 定型时间太短	① 适当减少发泡剂用量 ② 适当降低成型温度 ③ 适当延长冷却定型时间
变形	① 制品底面和顶面的发泡倍率不一致或局部发泡倍率太高 ② 冷却定型时间不够 ③ 制品冷凝层应力分配不均 ④ 出模时间控制不当，或开模太早，过热出模；或开模太迟，过冷出模	① 检查模具传热情况，模具的厚薄比例必须适当，温度必须均匀 ② 适当延长冷却时间 ③ 检查模具温度分布情况，调整熔体冷凝应力 ④ 合理控制出模时间

(续)

不良现象	产生原因	解决方法
尺寸不稳定	① 发泡限位控制不一 ② 单批单模生产时，成型温度和定型时间控制不一 ③ 模具误差超过了发泡倍率的误差 ④ 充模不均或模具用久变形 ⑤ 模具漏料 ⑥ 制品冷却不一致 ⑦ 锁模力不够	① 严格控制发泡限位 ② 严格控制工艺条件的一致性，也可采用一模多腔的方法提高制品的一致性 ③ 修整模具，减小模具误差 ④ 修整模具浇注系统结构尺寸，减小误差 ⑤ 对模具进行修整 ⑥ 检查模具的冷却系统及加热系统，保证模具表面温度均匀 ⑦ 调整拉钩弹簧的拉力，适当增加锁模力

4.1.4 聚苯乙烯的注射成型

聚苯乙烯英文名称 Polystyrene，简称 PS，是无色透明且具有玻璃光泽的非结晶型聚合物，密度为 1.05g/cm³。PS 流动性好，易加工，着色力强，耐水，尺寸稳定性好，电性能优良，价廉，广泛用于制造光学仪器仪表、电器零件、装饰、照明、餐具、玩具及包装盒等。但 PS 制品性脆易裂，冲击强度低，耐热性差（60 ~ 80℃），不耐苯、汽油等有机溶剂。

HIPS 为 PS 的改性材料，分子中含有 5% ~15%（质量分数）的橡胶成分，其韧性比 PS 提高了 4 倍左右，冲击强度大幅度提高。它具有 PS 易成型加工、着色力强的优点。HIPS 制品不透明。HIPS 吸水性低，加工时可不预先干燥。

1. 工艺特性

(1) 结晶性 PS 为非结晶型塑料，无明显熔点，熔融温度范围较宽，热稳定性好，在 95℃左右开始软化，在 190℃成为熔体，在 270℃以上开始出现分解。成型加工温度一般为 185 ~215℃。

(2) 熔体特性 熔体粘度适中，流动性好，易成型。熔体粘度对温度和剪切速率都比较敏感，在成型时，无论是增加注射压力还是提高机筒温度，都会使熔体粘度显著下降。

(3) 吸湿性 PS 的吸湿性小，含水质量分数一般为 0.01% ~0.03%，成型中所允许的水分含量通常为 0.1%，因此成型前无须干燥。

(4) 收缩率 成型收缩率小，约为 0.5% ~0.8%，有利于成型尺寸精度较高和尺寸较稳定的制品，但热胀系数大，易产生内应力，制品中不易带金属嵌件，如有嵌件应预热。

(5) 比热容低 PS 比热容低，加热流动和冷却固化速度快，故其塑化时间和冷却时间都较短，成型周期短。

(6) 其他 由于 PS 的 MFR 较大，流动性好，宜用高料温和高模温以及低注射

压力；延长注射时间有利于降低内应力，防止缩孔、变形。

HIPS 分子中含有 5% ~ 15% 的橡胶，在一定程度上影响了其流动性，注射压力和成型温度都宜高一些。其冷却速度比 PS 慢，故需足够的保压压力、保压时间和冷却时间。成型周期会比 PS 稍长一些，其加工温度一般为 190 ~ 240℃。HIPS 制品中存在一个特殊的“白边”问题，可以通过提高模具温度和锁模力，减少保压压力和时间等办法来改善。

2. 对成型设备的要求

可用柱塞式注射机或螺杆式注射机。用螺杆式注射机时，螺杆的结构形式选用渐变型螺杆较好，当然，注射机配备的通用型螺杆也可应用。注射喷嘴多采用直通式或延长式喷嘴，带单向阀。

3. 制品特点

制品壁厚应在 1.0 ~ 4.0mm 范围内，当壁厚小于 0.8mm 时，熔体的流动就有困难，易出现制品填充不足的现象。壁厚尽可能均匀，同时不允许有缺口、尖角等存在；对于厚薄相连处，要求用较大的圆弧进行过渡连接，以免因这些部位应力集中而发生开裂。制品中不宜带有金属嵌件，否则当环境温度有所变化时，制品极易出现应力开裂现象，进而破坏制品的实用性。

4. 模具结构

1) 聚苯乙烯制品弹性小，硬度大，脱模困难，因此加工模具时，对尺寸精度、配合精度和表面粗糙度都有较高要求。

2) PS 的成型收缩率为 0.5% ~ 0.8%，需考虑选用适当的脱模斜度。通常型腔部分的脱模斜度为 0.5° ~ 1.5°，型芯部分为 0.5° ~ 1.0°，对于形状复杂的制品可放大到 2°。

3) 为了防止制品因脱模不良而出现开裂、内应力增加等问题，除了选择合理的脱模斜度外，对顶出结构也有一定的要求，即要有较大的顶出有效面积和良好的顶出同步性。

4) 可用各种形式的浇口，浇口与制品圆弧连接，以免去除浇口时损坏制品。

5) 模具中流道长度与制品壁厚之比为 200 : 1 左右。

6) 排气孔、槽的深度应控制在 0.03mm 以下。

5. 原材料处理

PS 树脂的吸水率很低，为 0.01% ~ 0.03%，成型前不必干燥处理。若原料含水质量分数超过 0.1% 时，应在 70 ~ 80℃ 的热风循环烘箱中干燥 2 ~ 4h。

原料可用浮染法或色母料法着色。按比例将染料或色母料加入粒料中，搅拌均匀。如用柱塞式注射机注射加工，为避免色差，应先把混合均匀的配色料挤出造粒后再注射成型。

6. 注射成型工艺条件

(1) 机筒温度 PS 的注射温度可在较宽的范围内选取，但如果注射温度过高

会降低制品的力学性能，而过低又会影响制品的透明度，因此一般机筒温度可控制在 180 ~ 245℃ 之间。喷嘴温度一般在 170 ~ 190℃ 之间。

(2) 模具温度 为减小内应力，往往需要较高的模具温度，使熔体缓慢冷却，取向的分子得到松弛，如在加工厚壁或使用要求较高的制品时，常将模具温度控制在 50 ~ 60℃，型腔和型芯各部分的温差不大于 3 ~ 6℃。但模温高会延长成型周期，降低生产效率。因此对于一般的制品，则采用低模温成型，模具通冷水冷却，然后用热处理的办法减小或消除内应力。

(3) 注射压力 PS 的注射压力可在 60 ~ 150 MPa 范围内选取。一般来说，大浇口、厚壁制品的注射压力可低些，约 60 ~ 80MPa；而薄壁、长流程、形状复杂制品的注射压力则应高些，通常要在 120MPa 以上。

(4) 保压压力 取注射压力的 30% ~ 60%，保压时间相对较短。

(5) 塑化压力 5 ~ 10MPa，塑化压力太低，熔体中易产生气泡（制品中有灰黑纹路）。

(6) 注射速度 由于较高的注射速度不仅会使型腔内的空气难以及时排出，而且还会使制品的表面光洁程度及透明性变差，冲击强度下降，内应力增加，因此成型时应尽量采用较低的注射速度，最好采用变速注射，在速度逐渐减小后结束充模。

(7) 螺杆转速 允许高螺杆转速（最大线速度为 1.3m/s），但是为了获得良好的塑化效果，塑化过程应缓慢。

(8) 成型周期 PS 的比热容较小且无结晶，加热塑化快，塑化量大，熔体在模具中固化快，因此 PS 注射周期短，生产效率高。

PS 的注射成型工艺条件见表 4-10。

表 4-10 PS 的注射成型工艺条件

树脂类型	PS	HIPS
机筒温度/℃		
输送段	140 ~ 160	150 ~ 160
压缩段	170 ~ 180	170 ~ 190
均化段	180 ~ 190	180 ~ 200
喷嘴温度/℃	160 ~ 170	170 ~ 180
模具温度/℃	50 ~ 60	50 ~ 70
注射压力/MPa	60 ~ 100	70 ~ 130
保压压力/MPa	30 ~ 40	30 ~ 40
螺杆转速/(r/min)	40 ~ 80	40 ~ 80

7. 注意事项

(1) 清洁要求 为了得到透明性较好的聚苯乙烯制品，在成型中必须注意以下几点：

1) 树脂颗粒必须干净整洁。为防止因静电吸尘作用,使尘埃附着于颗粒表面,进而影响制品的光学性能,要求在打开包装物之前注意做好包装物外表、周围以及盛器的清洁工作,同时操作者也应注意自身的清洁。对于已打开包装的颗粒,要注意检查,确保树脂颗粒清洁无杂质;对于剩余的颗粒应仔细封装,为再使用创造便利条件。

2) 设备必须干净整洁。对聚苯乙烯来说,无论是料斗还是机筒内,或是喷嘴中都不允许有其他树脂存在,否则会影响制品的透明性或其他性能。因此要尽可能采用专用设备进行加工,或采用专用机筒、螺杆、喷嘴。否则必须采用拆洗法或用树脂进行清洗机筒。清洗树脂可用聚苯乙烯再生料,待机筒内其他物料排除干净后,再用新料清洗数次。此外,由于料斗闸门处往往易被忽视,故对此部位最好采取卸下来的办法清洗干净。

3) 模具部分的整洁。由于油脂类(如切削油、润滑油、防锈油等)的存在不仅会影响聚苯乙烯制品的透明度,而且还易使制品产生开裂,故要求在成型之前对型腔、流道、成型孔根部、转角处、分型面、顶杆、顶板等各部分擦洗干净。

(2) 再生料的使用 对于未受污染的聚苯乙烯再生料可与新料混合后使用,其使用量通常控制在新料的 15%~30%,对于要求不高的制品,比例可适当放宽,可达 50% 左右。但需注意多次反复地再生会导致聚苯乙烯变色降解。

(3) 脱模剂 由于脱模剂的存在将影响聚苯乙烯制品的透光率,增加制品的内应力,故一般不推荐使用脱模剂,即使要用其量也甚微。

(4) 制品的后处理 聚苯乙烯制品的后处理可在空气或水中进行。后处理的工艺条件视制品厚度而定,当制品壁厚 $\leq 6\text{mm}$ 时,处理温度为 60~70℃,处理时间 30~60min;当制品壁厚 $> 6\text{mm}$ 时,处理温度为 70~78℃,处理时间 120~300min,然后缓慢冷却至室温。

聚苯乙烯制品中应力的大小可通过偏振光透视,或极性溶剂浸渍试验(以煤油为介质)进行检验。

8. PS 注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决方法(见表 4-11)

表 4-11 PS 注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决方法

不良现象	产生原因	解决方法
注射不足	① 注射压力太低 ② 注射时间太短 ③ 机筒温度太低 ④ 加料量不够	① 增大注射压力 ② 延长注射时间 ③ 提高机筒温度 ④ 增加加料量
凹痕	① 模具温度过高 ② 注射保压时间太短 ③ 注射压力太小 ④ 机筒温度过高	① 降低模具温度 ② 延长注射保压时间 ③ 增大注射压力 ④ 降低机筒温度

(续)

不良现象	产生原因	解决方法
银丝、气泡	① 物料干燥不充分，水分过大 ② 料温过高，料分解 ③ 模具排气不良 ④ 脱模剂过量 ⑤ 注射速度过快	① 充分干燥物料 ② 降低机筒和喷嘴温度 ③ 增设排气孔，改善模具的排气性能 ④ 少用脱模剂 ⑤ 降低注射速度
发雾	① 物料水分含量过大 ② 机筒温度太低	① 充分干燥物料 ② 提高机筒温度
杂质	① 物料混入杂质 ② 物料在干燥过程中混进杂质、盛具不干净 ③ 间断生产，物料在机筒中停留时间过长，继续生产时未清除干净 ④ 机筒温度过高，物料分解	① 更换原料 ② 注意环境，设备、盛具的清洁 ③ 缩短物料在机筒中停留时间，必要时清洗机筒 ④ 降低机筒温度
顶白	① 模具型腔表面粗糙度高 ② 模具温度太高，冷却时间不够 ③ 模具脱模斜度不够 ④ 顶出系统不合理	① 降低模具型腔表面粗糙度 ② 降低模具温度，延长冷却时间 ③ 增大模具脱模斜度 ④ 改善顶出系统结构，增加顶出面积
划伤	① 模具表面粗糙 ② 后加工碰伤	① 降低模具表面粗糙度 ② 后加工时小心谨慎，避免碰伤

4.1.5 ABS 的注射成型

ABS 英文名称 Acrylonitrile Butadiene Styrene，简称 ABS，是由丙烯腈（A）-丁二烯（B）-苯乙烯（S）三元共聚而成的高聚物，属于非晶型材料，密度为 1.02 ~ 1.06g/cm³，不仅具有较好的综合力学性能，而且耐热性、耐寒性良好，耐化学腐蚀，电性能良好，尺寸稳定性好，易加工性、染色性好等，用注射成型的方法可以生产冲击强度高，制品尺寸较稳定的工业产品，如机电产品，交通工业中的齿轮、叶片、轴承、仪表仪器的外壳，电视机外壳，冰箱内衬，纺织用各类管材及汽车零件等，可节约大量的金属材料，降低成本，实现以塑代钢，以塑代木。

由于三种单体的比例不同，可以得到不同用途和性能的 ABS，主要有抗冲级、耐热级、阻燃级、透明级、增强级、电镀级等品种。

1. 工艺特性

(1) 结晶性 ABS 属于非结晶型聚合物，无明显熔点，热变形温度 93 ~ 124℃，流动温度 110 ~ 120℃，使用温度 -40 ~ 100℃。由于其牌号、品种较多，在注射成型时应按品级的不同制订合适的工艺参数。一般情况下，ABS 在 160℃ 以上即可成型，在 270℃ 以上才开始出现分解。

(2) 熔体特性 ABS 的熔体粘度适中，流动性介于 PS 与 PC 之间，并且熔体

的冷却固化速度比较快。熔体粘度对成型温度和注射压力都比较敏感,其中注射压力稍敏感些。因此在成型过程中常采用较高的注射压力以降低熔体粘度,提高充模性能。

(3) 吸水性 根据 ABS 中组分的不同,吸水性有所差异,其范围在 0.2% ~ 0.5% 之间,为了得到较为理想的制品,在成型加工之前需对原材料进行干燥处理,使吸水率降低至 0.2% (质量分数) 以下。

(4) 收缩率 ABS 的成型收缩率较小,一般为 0.4% ~ 0.7%,但易产生内应力,制品成型后应进行退火处理。

(5) 热稳定性 在成型过程中,ABS 的热稳定性较好,可供选择的温度范围较宽,不易出现降解或分解现象,但温度过高,有破坏 ABS 中橡胶相的倾向,故须注意。由于大分子中含有双键,ABS 的耐候性较差,紫外线可引起 ABS 变色。

2. 对成型设备的要求

ABS 加工性能良好,对注射机无特殊要求。在实际生产中大多采用螺杆式注射机,这样可使物料塑化充分,制品质量好。在选用螺杆式注射机时应注意以下几点:

1) 每次注射量应取设备最大注射量的 50% ~ 75%。

2) 螺杆应选用单头、等距、渐变、全螺纹、带止逆环的螺杆。螺杆的长径比 L/D 为 20 : 1,压缩比为 (2 ~ 2.5) : 1。如果采用色母粒或制品外观要求较高,可选用小一级直径的螺杆。锁模力按照 $4.7 \sim 6.2 \text{ kN/cm}^2$ 来确定,具体需根据塑料等级和制品要求而定。

3) 喷嘴可选用敞开式喷嘴或延伸式喷嘴(其长度不超过 150mm),避免采用自锁式喷嘴,以降低注射流程或引起物料变色。在喷嘴上还应有加热控温装置。

4) 对于阻燃级 ABS,要求设备做好防腐工作(如螺杆、机筒、喷嘴等部分),并要求控温系统工作灵敏。

3. 制品特点

制品的壁厚与熔体的流动长度、生产效率以及使用要求等有关。ABS 熔体的最大流动长度与制品壁厚之比约为 190 : 1,而这个数值又会因品级的不同而有所差异,因此 ABS 制品的壁厚不宜太薄,特别是需要作电镀处理的制品,壁厚要求略厚些以增加镀层与制品表面的粘附力。制品壁厚也不宜过厚,否则不仅会增加制品的成本,而且成型周期也较长,所得制品的收缩率明显增加。因此 ABS 制品的壁厚通常取 1.5 ~ 5.0mm。

壁厚要均匀,尽量避免缺口与锐角,以防应力集中,在转角、厚薄连接处等部位采用圆弧进行过渡。

4. 模具结构

(1) 浇口与流道 可使用点浇口和热流道,为了使 ABS 熔体能尽快充满模具型腔的各个部分,要求流道的直径为 6 ~ 8mm,浇口厚度为制品厚度的 30% 以上,

平直部分（指将要进入型腔的部分）的长度约为 1mm。浇口位置应根据制品要求和料流方向而定，对于需作电镀处理的制品，浇口位置不能在电镀表面处。

（2）脱模斜度 制品的脱模斜度与成型收缩率有关，由于品级不同，制品形状不同以及成型条件的不同，成型收缩率有一定的差异，大致范围为 0.3% ~ 0.6%，有时可达 0.4% ~ 0.8%，因此 ABS 制品的脱模斜度可考虑为：型芯部分沿脱模方向为 35' ~ 1°，型腔部分沿脱模方向取 40' ~ 1°20'。对于形状较复杂，或带有字母、花纹的制品，其脱模斜度应适当增加。

（3）顶出要求 由于制品表面质量对电镀性能有较大的影响，表观上任何微小的伤痕都会在电镀后明显地显露出来，因此除了要求型腔内不允许有任何伤痕存在外，还要求顶出的有效面积要大，多根顶杆在顶出过程中的同步性要好，顶出力均匀。

（4）排气 为了防止在充模过程中出现排气不良，熔体灼伤，接缝线明显等问题，要求开设排气孔或排气槽，排气孔宽 4 ~ 6mm，厚 0.025 ~ 0.05mm。

ABS 模具设计的部分参考数据见表 4-12。

表 4-12 ABS 模具设计的部分参考数据

设计项目	数据及注意事项
主流道	圆锥形，小端直径 3 ~ 6mm，大端直径 6 ~ 10mm，等于或大于分流道的直径，长度 30 ~ 50mm
冷料井	直径与主流道大端直径相同或大 2 ~ 3mm，深度为 5 ~ 8mm
分流道	制品在 150g 以下时，直径取 5mm；150 ~ 300g 时，直径取 6mm；330 ~ 850g 时，直径取 7 ~ 10mm。截面积尽可能做成圆形，以减少热损失，分流道的弯曲部位可做成直角
浇口	直径为 0.8 ~ 1.7mm，平均部分约 1mm。浇口厚度为制品厚度的 30% 以上（因流出浇口时的熔体很少膨胀）
制品的厚度	多为 1 ~ 3mm，大型制品为 3 ~ 6mm
制品的长度与厚度比	< 190 : 1
排气孔	设置在浇口的对面或分流道的末端，深度为 0.025 ~ 0.050mm
脱模锥度	(1 : 1000) ~ (1 : 200)
成型收缩率	< 0.6%

5. 原材料处理

ABS 的吸水率大约为 0.2% ~ 0.8%，加工允许值为 0.2% 左右，因此对于包装严密、贮存得当，而制品要求又不太高的情况下，可以不经干燥处理即进行成型加工。若颗粒中水分含量超过规定值，则必须先经干燥处理方可成型。干燥条件为：干冬季节在 75 ~ 80℃ 下，干燥 2 ~ 3h（料层厚度 25 ~ 40mm），夏季雨水天在 80 ~ 90℃ 下，干燥 4 ~ 8h。对于特殊品级的颗粒或制品有较高要求（如电镀制品）时，干燥条件为温度 70 ~ 80℃，时间 8 ~ 18h；对于含 PC 组分的耐热级 ABS，干燥温度

适当调高至 100℃。

ABS 染色性好，根据需要可采用浮染法或色母料法着色。原料中要加入紫外线吸收剂和抗氧剂，以提高耐老化能力。

6. 注射成型工艺条件

(1) 注射温度 因 ABS 含有橡胶成分，过高的成型温度会引起橡胶分解，流动性降低。同时长时间的高温作用会造成降解、交联和炭化。所以成型时应严格控制温度在允许范围内。ABS 树脂等级不同，成型温度也不同，耐热级、电镀级等品级树脂的加工温度可稍高些，而阻燃级、通用级及抗冲级等，加工温度应低些（见表 4-13），对于表面要求高的制品，应采用较高的成型温度。

表 4-13 不同等级 ABS 树脂的成型温度

ABS 树脂等级	成型温度范围
通用级	180 ~ 230℃，以 220℃ 为佳
抗冲级	220 ~ 260℃，以 250℃ 为佳
电镀级	250 ~ 275℃，以 270℃ 为佳
耐热级	240 ~ 280℃，以 265 ~ 270℃ 为佳
阻燃级	200 ~ 240℃，以 220 ~ 230℃ 为佳
透明级	230 ~ 260℃，以 245℃ 为佳
玻璃纤维增强级	230 ~ 270℃

(2) 模具温度 模具温度影响 ABS 制品的表面质量和内部残余应力。模具温度高，熔体充模容易，制品外观好，内应力小，同时对制品的可电镀性也有所改善或提高，但制品的成型收缩率大，成型周期长，脱模后易变形等。对于一般要求的制品，模具温度可控制在 40 ~ 50℃；对于外观和性能要求都比较高的制品，模温可控制在 60 ~ 70℃。而且模温要均匀，要求型腔与型芯之间的温度差不超过 10℃。对于深孔制品或形状较为复杂的制品，要求型腔温度比型芯温度略高一些，以利于制品的顺利脱模。在注射大的、结构复杂的、薄壁制品时，应考虑专门对模具加热。

(3) 注射压力 ABS 的熔体粘度比聚苯乙烯或改性聚苯乙烯的高，所以在注射时采用较高的注射压力。当然并非所有 ABS 制品都要施用高压注射，对小型、构造简单、厚度大的制品可以用较低的注射压力，一般控制在 60 ~ 120MPa；壁薄、流道较长，流动阻力大时，注射压力可高至 130 ~ 150MPa。提高注射压力可增加 ABS 制品的表面光泽度，但过高的注射压力容易造成制品脱模困难或脱模损伤，还可能给制品带来较大的内应力。在实际生产过程中，螺杆式注射机常选用的注射压力在 100MPa 以下，而柱塞式注射机一般在 100MPa 以上。

(4) 保压压力 保压压力大小往往决定了制品的外观质量及银丝状缺陷的程度。压力过小，塑料收缩大，与型腔表面脱离接触的机会大，在热的气氛下使制品表面雾化；压力过大，塑料型腔表面摩擦作用强烈，容易造成粘模。所以要调配好

保压压力和保压时间。保压压力不宜过高，为注射压力的 30% ~ 60%，使用螺杆式注射机一般采用 30 ~ 50MPa，而柱塞式则需 60 ~ 70MPa 以上。若保压压力过高，会使制品内应力增大。保压时间相对较短。

(5) 塑化压力 塑化压力为 5 ~ 15MPa，如果塑化压力太低，熔体中裹入的空气会造成焦化（在制品内有灰黑纹路）。

(6) 注射速度 ABS 的注射成型采用中等注射速度效果较好。若注射速度慢，制品表面会出现波纹，熔接不良等缺陷；若注射速度快，可使充模迅速，但易出现排气不良，表观粗糙度不佳等情况，同时还会使制品的拉伸强度和伸长率下降。在生产过程中，除了充模有困难需用较高的注射速度外，一般都选用中、低注射速度，最好采用分级注射，以获得较好的表面光泽，并且熔合缝小，熔合缝强度高。

(7) 成型周期 总成型周期通常在 80s 以下，较其他塑料短 10% ~ 20%。

(8) 螺杆转速 最大螺杆转速 60r/min，尽量采用较低的螺杆转速，只要能在冷却时间结束前完成塑化过程即可。

不同等级的 ABS 注射成型工艺条件见表 4-14。

表 4-14 不同等级的 ABS 注射成型工艺条件

工 艺 参 数	通用 ABS	高抗冲 ABS	耐热 ABS	电镀 ABS	阻燃 ABS	透明 ABS
机筒温度/℃						
输送段	180 ~ 200	180 ~ 200	190 ~ 200	200 ~ 210	170 ~ 190	190 ~ 200
压缩段	200 ~ 220	210 ~ 230	220 ~ 240	230 ~ 250	200 ~ 220	220 ~ 240
均化段	200 ~ 210	200 ~ 210	200 ~ 220	210 ~ 230	190 ~ 200	200 ~ 220
喷嘴温度/℃	170 ~ 180	190 ~ 200	190 ~ 200	190 ~ 210	180 ~ 190	190 ~ 200
模具温度/℃	40 ~ 80	50 ~ 80	60 ~ 85	40 ~ 80	40 ~ 60	50 ~ 70
注射压力/MPa	50 ~ 100	70 ~ 120	85 ~ 120	70 ~ 120	50 ~ 110	70 ~ 100
保压压力/MPa	50 ~ 70	50 ~ 70	50 ~ 80	50 ~ 70	30 ~ 60	50 ~ 60
螺杆转速/(r/min)	30 ~ 60	40 ~ 60	40 ~ 60	30 ~ 60	20 ~ 50	40 ~ 60
成型周期/s	40 ~ 70	40 ~ 70	40 ~ 70	40 ~ 90	30 ~ 70	30 ~ 80

7. 注意事项

(1) 开机与停机 在 ABS 塑料的开机或停机时，除了阻燃级 ABS 有严格的要求之外，其他品级的 ABS 与大多数塑料一样，无特殊要求。阻燃级 ABS 在开机或停机过程中，为了防止阻燃剂发生分解，要求开机时，应先对机筒进行清洗（用通用级 ABS），然后再行加工。对于需作 20min 以上的停机时，在停机前须一方面将机筒温度降低至 100℃ 以下，另一方面排空机筒内的物料，并用通用级 ABS 清洗机筒后方可停机。

在 265℃ 温度下，物料在机筒内停留时间最多不能超过 5 ~ 6min；温度为 280℃，则物料在机筒内停留时间就不能超过 2 ~ 3min；有些 ABS 制品在刚脱模时并无问题，但过一段时间后会产褐色或黄色条纹，这可能是由于机筒过热或物料在机筒内滞留时间过长引起的。

(2) 再生料的利用 对于干净、无杂质、无分解物存在的 ABS 再生料，可以与新料混合后使用，混合比例一般不超过新料的 25%，以免影响性能。对于再生次数较多（指 5 次以上）或添加着色剂的再生料，一般不要与新料混合使用，防止造成色差。电镀级 ABS 不能使用再生料。混合后的物料，须按规定进行干燥处理，然后方可成型加工。

(3) 制品后处理 ABS 制品中也存在内应力，只是在一般情况下很少发生应力开裂。因此当制品使用要求不高时，可不必进行热处理；如果制品使用要求较高（电镀级制品），则须将制品放入温度为 70 ~ 80℃ 的热风循环烘箱中，处理 2 ~ 4h，然后缓慢冷却至室温。

ABS 制品内应力大小的检验方法为：将制品浸入冰醋酸中，5 ~ 15s 内出现裂纹，则说明制品内应力大，若 2min 后无裂纹出现，则表明制品的内应力小。

(4) 清理模具 成型耐热级或阻燃级材料时，生产 3 ~ 7d 后模具表面会残存塑料分解物，导致模具表面发亮，需对模具及时进行清理，同时模具表面需增加排气装置。

(5) 其他 由于 ABS 的加工温度较高，对各种工艺因素的变化比较敏感，所以机筒前端和喷嘴部分的温度控制十分重要。试验证明，这两部分温度的微小变化都将在制品上反映出来。温度变动过大，将会带来熔接缝、光泽不佳、飞边、粘模、变色等缺陷。

8. ABS 注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决方法（见表 4-15）

表 4-15 ABS 注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决方法

不良现象	产生原因	解决措施
料头附近有暗区	① 流速太高 ② 熔体温度太低 ③ 模具温度太低 ④ 浇口与制品成锐角 ⑤ 浇口直径太小 ⑥ 浇口位置不当	① 采用多级注射：慢-较快-快 ② 增加机筒温度，增加螺杆背压 ③ 增加模具温度 ④ 在浇口和制品间用圆弧过渡 ⑤ 增加浇口直径 ⑥ 浇口重新定位
锐边料流区有暗区	① 熔体前端速度太快 ② 模具内存在锐角	① 采用多级注射：快-慢，在熔体前端到达锐边之前降低注射速度 ② 采用圆弧过渡
表面光泽不均	① 保压压力太低 ② 保压时间太短 ③ 模具温度太低 ④ 熔体温度太低 ⑤ 制品壁厚差异太大 ⑥ 材料积留过多或棱边尺寸过大 ⑦ 料流线处排气不好	① 提高保压压力 ② 延长保压时间 ③ 提高模具温度 ④ 提高熔体温度 ⑤ 使制品壁厚更均匀 ⑥ 避免材料积留过重或棱边尺寸过大 ⑦ 提高模具在料流线处的排气

(续)

不良现象	产生原因	解决措施
空隙	① 保压压力太低 ② 保压时间太短 ③ 模具温度太低 ④ 熔体温度太高 ⑤ 浇口横截面太小 ⑥ 喷嘴孔径太小 ⑦ 浇口开在薄壁区	① 提高保压压力 ② 延长保压时间 ③ 提高模具温度 ④ 降低熔体温度 ⑤ 增加浇口横截面积, 缩短流道长度 ⑥ 增大喷嘴孔径 ⑦ 浇口开在厚壁区
气泡	① 熔体温度太高 ② 熔体在机筒内滞留时间过长 ③ 不合理的螺杆几何形状	① 降低机筒温度、螺杆背压和螺杆转速 ② 缩短循环时间, 或使用较小直径的机筒 ③ 使用低压缩比螺杆
白点	① 熔体温度太低 ② 螺杆转速太高 ③ 螺杆背压太低 ④ 循环时间短, 即熔体在机筒内滞留时间短 ⑤ 不合理的螺杆几何形状	① 增加机筒温度 ② 降低螺杆转速 ③ 增加螺杆背压 ④ 延长循环时间 ⑤ 选用适当几何形状的螺杆 (含计量切变区)
灰黑斑纹	① 螺杆背压太低 ② 喂料区的机筒温度过高 ③ 螺杆转速过快 ④ 循环时间短, 即熔体在机筒内滞留时间短 ⑤ 不合理的螺杆几何形状	① 增加螺杆背压 ② 降低喂料区的机筒温度 ③ 降低螺杆转速 ④ 延长循环时间 ⑤ 选用加料段长的螺杆, 且加料段的螺槽较深
料头附近有灰黑斑	① 螺杆降压太快 ② 螺杆降压率太高 ③ 熔体温度太高	① 减小螺杆降压幅度 ② 减小螺杆降压率 ③ 降低机筒温度, 降低螺杆背压, 降低螺杆转速
放射纹	① 注射速度太快 ② 注射速度单级 ③ 熔体温度太低 ④ 浇口和模具之间过渡不好 ⑤ 浇口太小 ⑥ 浇口位于截面厚度的中心	① 降低注射速度 ② 采用多级注射速度: 慢 - 快 ③ 提高机筒温度 (对热敏性材料只在计量区); 增加螺杆背压 ④ 采用圆弧过渡 ⑤ 增加浇口直径 ⑥ 浇口重新定位, 采用障碍注射
冷料头	① 热流道温度太低 ② 喷嘴温度太低 ③ 喷嘴孔径太小 ④ 浇口几何尺寸不合理 ⑤ 热流道几何尺寸不合理	① 增加热流道温度 ② 提高喷嘴温度, 减少喷嘴接触区 ③ 增加喷嘴孔径 ④ 改变浇口几何尺寸, 将冷料头留在通道 ⑤ 改变热流道几何尺寸

(续)

不良现象	产生原因	解决措施
熔接缝	① 注射速度太低 ② 熔体温度太低 ③ 模具表面温度太低 ④ 保压压力太低 ⑤ 浇口位置不合理 ⑥ 排气不良	① 增加注射速度 ② 提高机筒温度 ③ 提高模具温度 ④ 增加保压压力，尽早进行保压切换 ⑤ 重新定位浇口，并将其移到不可见的地方 ⑥ 排气孔尺寸应符合材料的特性
水迹纹	颗粒内残留的水分太高	检查颗粒的储藏条件，缩短颗粒在料斗内的时间，给材料提供足够的预烘干
颜色不均	① 材料未均匀混合 ② 熔体温度太低 ③ 螺杆背压太低 ④ 螺杆速度太高 ⑤ 螺杆行程过长 ⑥ 熔体在机筒内停留时间短 ⑦ 螺杆长径比太小 ⑧ 螺杆压缩比低 ⑨ 没有剪切段和混合段	① 降低螺杆速度，增加机筒温度，增加螺杆背压 ② 增加机筒温度，增加螺杆背压 ③ 增加螺杆背压 ④ 降低螺杆速度 ⑤ 用直径较大或长径比较大的机筒 ⑥ 用直径较大或长径比较大的机筒 ⑦ 使用长径比较大的机筒 ⑧ 采用高压压缩比螺杆 ⑨ 提供剪切段和（或）混合段
焦烧纹	① 熔体温度太高 ② 热流道温度太高 ③ 熔体在机筒内残留时间太长 ④ 注射速度太高	① 降低机筒温度 ② 检查热流道温度，降低热流道温度 ③ 采用小直径机筒 ④ 减小注射速度，或采用多级注射：快-慢
玻璃纤维银纹	① 注射速度太低 ② 模具温度太低 ③ 熔体温度太低 ④ 熔体温度变化大，如熔体不均匀	① 增加注射速度，或采用多级注射：先慢-后快 ② 增加模具温度 ③ 增加机筒温度，增加螺杆背压 ④ 增加螺杆背压，减小螺杆速度，使用较长的机筒以缩短行程
溢边	① 锁模力不够 ② 注射速度太快 ③ 保压切换晚 ④ 熔体温度太高 ⑤ 模具温度太高 ⑥ 保压压力太高 ⑦ 模具强度不够 ⑧ 模具在分型面或凸边处密封不良	① 增加锁模力 ② 降低注射速度，或用多级注射：快-慢 ③ 早一点保压切换 ④ 降低机筒温度 ⑤ 降低模具温度 ⑥ 降低保压压力 ⑦ 增加模具强度 ⑧ 重新设计模具
收缩	① 保压压力太低 ② 保压时间太短 ③ 模具温度太高 ④ 熔体温度太高 ⑤ 浇口横截面太小 ⑥ 喷嘴孔径太小 ⑦ 浇口开在了薄壁处 ⑧ 材料堆积过量 ⑨ 壁（筋）的截面不合理	① 增加保压压力 ② 延长保压时间 ③ 降低模具温度 ④ 降低机筒温度 ⑤ 增加浇口横截面积 ⑥ 增加喷嘴孔径 ⑦ 将浇口定位在厚壁处 ⑧ 避免材料堆积 ⑨ 提供较合理的壁（筋）的截面比例

(续)

不良现象	产生原因	解决措施
注射不足	① 注射压力太低 ② 注射速度太低 ③ 保压压力太低 ④ 保压切换太早 ⑤ 熔体温度太低 ⑥ 保压时间太短 ⑦ 流道、浇口横截面太小 ⑧ 模具排气不良 ⑨ 喷嘴孔径太小 ⑩ 薄壁处的厚度不够	① 增加注射压力 ② 增加注射速度 ③ 增加保压压力 ④ 延迟从注射到保压的切换 ⑤ 增加机筒温度，增加螺杆背压 ⑥ 延长保压时间 ⑦ 增加流道、浇口的横截面积 ⑧ 提高模具排气性能 ⑨ 增加喷嘴孔径 ⑩ 增加截面厚度
翘曲	① 保压压力太高 ② 模具温度太低 ③ 熔体温度太低 ④ 模具温度不稳定 ⑤ 制品壁厚不规则	① 降低保压压力，将保压切换提前 ② 增加模具温度 ③ 增加机筒温度，增加螺杆背压 ④ 提供冷却、加热均衡的模具 ⑤ 按树脂特性重新设计制品形状尺寸
顶白	① 保压压力太高 ② 保压时间太长 ③ 保压时间切换太迟 ④ 冷却时间太短 ⑤ 脱模斜度不够 ⑥ 脱模方向上表面粗糙 ⑦ 顶出一侧形成真空	① 降低保压压力 ② 缩短保压时间 ③ 将保压切换提前 ④ 延长冷却时间 ⑤ 按规格选择脱模斜度 ⑥ 对脱模方向上模具进行抛光 ⑦ 型芯内安装气阀

4.1.6 聚甲基丙烯酸甲酯的注射成型

聚甲基丙烯酸甲酯俗称有机玻璃，又称亚克力，英文名称 Polymethylmethacrylate，简称 PMMA。密度为 1.18g/cm³。注射成型中常用的 372 有机玻璃是由甲基丙烯酸甲酯与苯乙烯单体（约 85：15）进行共聚而成的。如果在 372 有机玻璃中加入少量的丁腈橡胶（约 5%）即可成 373 有机玻璃。

PMMA 的最大特点是具有优良的光学特性，白光的穿透性高达 92%；耐候性好，制品表面有光泽。此外，PMMA 还具有耐腐蚀，绝缘性良好，综合性能优良等优点，因此广泛用于制造文具、装饰品、仪器仪表、影碟、光学透镜等产品。缺点是质脆，耐磨及耐热性差，易溶于有机溶剂，如作透光材料，其表面硬度稍低，容易擦花。

1. 工艺特性

1) PMMA 为非结晶型聚合物，热稳定性较好，不易分解。玻璃化温度（ T_g ）为 105℃，熔融温度 160℃，而分解温度高达 270℃ 以上，成型温度范围较宽，工艺性较好。

2) PMMA 粘度大, 流动性比 PS、ABS 差, 易发生填充不良、粘模、收缩、熔接痕等缺陷。因此必须采用高料温、高注射压力成型, 其中注射温度的影响大于注射压力, 故改善流动性, 主要从注射温度着手。但提高注射压力, 有利于改善产品的收缩率。

3) PMMA 的成型收缩率较小, 为 0.2% ~ 0.4%。制品冲击性差, 耐磨性不好, 易划花, 易脆裂, 成型时可通过提高模具温度, 改善冷却过程来克服这些缺陷。

4) PMMA 具有一定的亲水性, 水分的存在使熔体出现气泡、膨胀, 所得制品有银丝, 透明度降低, 有糊斑等, 因此树脂在成型前必须干燥, 使含水质量分数小于 0.03%。

总的来说, PMMA 宜高压注射, 在不出现缺陷的条件下取高料温, 高模温, 以增加流动性, 降低内应力, 改善透明性及强度。

2. 对成型设备的要求

PMMA 成型时对设备要求不高, 柱塞式和螺杆式注射机均可使用。因为其熔体粘度大, 需要较深的螺槽和较大的喷嘴直径。喷嘴多采用直通式结构, 直径通常取 5~7mm, 制品增大, 直径也应增大(最大 10mm), 长度宜短不宜长; 螺杆选用长径比 (L/D) 为 (20~22): 1 的渐变型螺杆, 压缩比 (ε) 一般为 (2.3~2.6): 1。如果对制品的强度要求较高, 则要用较大长径比的螺杆实行低温塑化。针对 PMMA 具有一定的亲水性, 可在螺杆的前端采用混炼环结构。

目前市场上有成熟的 PMMA 塑化组件可供选择, 例如对于透明镜片采用带屏障功能的螺杆, 可以加强塑化效果; 对于着色镜片使用销钉型螺杆或销钉型过胶头, 加强混炼效果。

3. 制品特点

PMMA 的熔体粘度大, 流动性较差, 熔体的流动长度与壁厚之比为 130:1, 故制品的壁厚不宜太薄, 最好不要低于 1mm (372 为 0.8mm), 通常是在 1.5~5mm 之间选取。PMMA 性脆易碎, 为防止因脱模不佳或使用不当而引起开裂, 要求制品设计中避免缺口或尖角的存在, 对于厚薄连接处要用圆弧过渡。

4. 模具结构

1) PMMA 的成型收缩率较小 (0.2% ~ 0.4%), 需要较大的脱模斜度, 一般情况下, 型芯部分的脱模斜度为 $30' \sim 1^\circ$, 型腔部分为 $35' \sim 1^\circ 30'$, 对于稍复杂的制品其脱模斜度应加大。

2) 模具浇注系统表面应光洁, 流道和浇口应尽量宽大, 对于壁厚小于 4mm 的制品, 流道直径应为 6~8mm; 壁厚大于 4mm 的制品, 流道直径应为 8~12mm。浇口的设置应避免产生料流痕迹, 浇口凝料要有利于去除而不伤及本体, 同时还要有益于熔体流动并减少内应力, 一般选用薄而宽的浇口, 扇形浇口的深度应为 0.7t 至 0.9t (t 为制品壁厚度), 针形浇口的直径应为 0.8~2mm, 低粘度的应选用较小

的尺寸，浇口的整体长度不要超过 50mm。

3) 为了能及时排除型腔内的空气以及熔体挥发出的气体，减少制品中出现熔接痕的可能性，在模具中应考虑开设深度为 0.05 ~ 0.07mm，宽 6mm 的排气孔（槽）。

4) 对于装饰类制品，多数采用推板脱模；对于需要用顶针的，必须满足平衡顶出的原则。

5) 对于一模多腔的模具，其冷却水道的布置应尽可能平衡，否则可能很难保证每个制品质量的一致。

5. 原材料处理

PMMA 易吸附水分，加工前必须干燥。干燥条件为：干燥温度 80 ~ 90℃，干燥时间 2 ~ 4h，料层厚度 30 ~ 40mm。在干燥处理过程中，除了严格控制干燥工艺防止颗粒粘连成块之外，还应注意干燥设备以及盛器的干净整洁，以免杂质尘埃混入而影响制品质量。经干燥后的颗粒应及时使用，以防物料重新吸湿。对暂时不用的物料，要用密闭容器储存，以防重新吸湿。

6. 注射成型工艺条件

(1) 机筒温度 PMMA 为非结晶型聚合物，没有明显的熔点。成型温度范围较宽，可在 160 ~ 270℃ 之间选取。同时温度的改变对熔体流动性的影响比较明显，见表 4-16。由表可知，随着温度的升高，熔体流动长度明显增加，这对于薄壁、长流程及复杂制品的充模十分重要，但必须注意，在选用高料温时易使制品表面变色或模糊等。

表 4-16 机筒温度与熔体流动长的关系

机筒温度/℃	200	220	240
熔体流动长度/cm	10. 2	20. 3	30. 5

机筒温度设定的恰当与否可通过对空注射法进行观察判断：若熔体低速从喷嘴中流出呈“串珠状”，不透明，则表明料温太低；如果是呈不透明、模糊、有气泡、银丝的膨胀体，则可认为温度偏高或树脂内含水量过高。合适机筒温度下的料流应光亮、透明、无气泡。

一般来说，在能够充满型腔的情况下，要求取略低一些的机筒温度，以减少可能出现的变色和对性能的影响。

(2) 模具温度 模具温度是 PMMA 成型中的一个重要因素，模具温度的控制与制品的结构形状、使用要求以及材料本身有关。一般控制在 40 ~ 80℃，最高不超过 80℃。型腔、型芯各部分的温度差应控制在 10℃ 以下。模具温度高，充模速度快，可减少熔接不良现象，改善制品的透明性，尤其可降低制品的内应力。但模温提高后，制品的收缩率会增加，容易引起制品凹陷，还会延长成型周期。

在实际生产中，除了因充模困难，改善熔接痕，防止收缩孔等需要适当增加模

具温度外，大多是采取通水冷却的办法来控制模具温度。

(3) 注射压力 虽然注射压力对 PMMA 熔体流动性的影响不如注射温度那么明显，但由于熔体粘度较大，流动性比较差，特别是形状复杂的制品，为克服熔体流动阻力和减少收缩凹痕与气泡等问题，需要较大的注射压力。注射压力的选择，首先是依据制品的壁厚情况予以初选，其次再根据成型中的实际问题进行调整。通常无浇口、易流动的厚壁制品所选取的注射压力为 80 ~ 100MPa 之间，而熔体流动较困难的制品所需的压力要大于 140MPa，大多数制品的注射压力为 110 ~ 140MPa。

(4) 注射速度 可以采用快速注射，但要避免产生高度内应力，最好用多级注射，如慢-快-慢等。注射厚壁制品时，则采用慢速，一般采用中等速度注射。

提高注射速度有利于 PMMA 熔体的充模，但高速注射会使浇口周围模糊不清，制品的透光性降低，同时还增加了制品中的内应力，故一般情况下不采用高速注射。当浇口较小（大多为针形浇口）、充模困难、制品上熔接痕明显时，可选用较高的注射速度。

(5) 成型周期 成型周期与制品的壁厚有关，由于 PMMA 的玻璃化温度较高（105℃），可以在较高温度下脱模而很少发生变形，所以成型周期一般都比较短，只有当模具温度过高时，周期才略有延长，故成型周期较短。

PMMA 注射成型工艺条件见表 4-17。

表 4-17 PMMA 注射成型工艺条件

工 艺 参 数	数 值	
	螺杆式注射机	柱塞式注射机
机筒温度/℃		
输送段	180 ~ 200	180 ~ 200
压缩段	200 ~ 230	—
均化段	190 ~ 210	210 ~ 240
喷嘴温度/℃	180 ~ 200	210 ~ 240
模具温度/℃	40 ~ 80	40 ~ 80
注射压力/MPa	80 ~ 120	80 ~ 130
保压压力/MPa	40 ~ 60	40 ~ 60
塑化压力/MPa	14.5 ~ 40	—
螺杆转速/(r/min)	20 ~ 30	—

7. 注意事项

(1) 整洁 与 PS 一样，在加工过程中要保持原料、环境、设备和模具的清洁，否则会因透明度变差而影响制品的质量，甚至报废。

1) 原料的整洁。使用时应先将包装材料清理干净，再打开包装。对于使用剩余的原料注意妥善保管，以防因静电作用而污染材料或与其他材料混杂。

2) 环境的整洁。除了操作人员应注意自身的整洁外，还应注意操作环境的整洁，如机床周围、操作台、制品堆放处以及颗粒盛放处等。在操作过程中，还应注

意给料斗加盖。

3) 成型设备的整洁 料斗和机筒应特别注意清洁。如果机筒内存留有其他物料时, 首先将机筒清洗干净 (清洗材料可用 PMMA 的再生料), 当机筒内存留有 PVC、POM 等物料时, 应注意先用 PS 等物料清洗机筒, 其次再用 PMMA 再生料清洗, 而不可用 PMMA 再生料直接清洗, 这一点务必注意。

4) 模具的整洁 模具中不允许有油污 (如防锈油、切削油、润滑油等) 存在, 以免使制品出现开裂、糊斑等。要定期清理模具型腔表面的水垢, 以免影响制品的光泽度, 一般不推荐使用脱模剂。

(2) 机器停工时段 材料不能在机筒中停留太久, 若温度为 260℃, 滞留时间最多不超过 10min, 若温度为 270℃, 滞留时间不能超过 8min。长时间停止操作, 要将机筒温度降至 170℃ 以下, 避免熔体降解。

(3) 再生料的利用 在要求不高的制品中回收料可以与新料混合后使用, 其掺入的质量分数通常为新料的 30%, 掺混后的物料在成型加工之前必须进行干燥处理, 干燥的工艺与纯新料相同。对于透明度要求较高的制品, 原则上不允许使用再生料。

(4) 制品的后处理 为减少内应力, 制品都应进行后处理。后处理条件为: 温度 70 ~ 80℃, 时间视制品壁厚而定, 一般为 4h, 然后缓慢冷却至室温。

8. PMMA 注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决方法 (见表 4-18)

表 4-18 PMMA 注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决方法

不良现象	产生原因	解决措施
银纹及丝纹	① 原料未充分干燥 ② 熔体温度太高 ③ 浇口太小或喷嘴孔径太小 ④ 成型周期偏长 ⑤ 螺杆背压太高	① 适当提高干燥温度, 延长干燥时间 ② 适当降低成型温度及调节机筒的温度分布 ③ 适当加大浇口或喷嘴口径 ④ 适当缩短成型周期 ⑤ 适当降低螺杆背压
云纹及雾晕	① 熔体温度太低 ② 原料内混有异物杂质 ③ 原料中水分及易挥发物含量太高 ④ 机筒及其区段温度分布不合理	① 适当提高成型温度 ② 彻底清除杂质或换用新料 ③ 进行干燥处理 ④ 适当调整机筒温度及分布
熔接痕及流料痕	① 熔体温度太低 ② 注射压力太低 ③ 注射速度太快或太慢 ④ 浇注系统设置不合理 ⑤ 模具温度太低 ⑥ 模具排气不良 ⑦ 供料量不足 ⑧ 塑料流动性太差	① 适当提高成型温度 ② 适当提高注射压力 ③ 调整注射速度 ④ 改进热流道形式, 或重新设置浇口位置 ⑤ 适当提高模具温度 ⑥ 增设排气孔或降低锁模力; 在分型面或熔接点处开排气槽 ⑦ 适当增加供料量或换用规格较大的注射机 ⑧ 更换流动性好的材料

(续)

不良现象	产生原因	解决措施
波浪纹或震纹	① 熔体温度太低 ② 供料量不足 ③ 浇口定位不当 ④ 喷嘴孔或流道内有阻塞物 ⑤ 模具温度太低 ⑥ 充模速度太慢 ⑦ 塑料流动性太差	① 适当升高熔体温度 ② 适当增加供料量 ③ 重新选位开口 ④ 彻底清除阻塞物 ⑤ 适当提高模具温度 ⑥ 适当提高充模速度 ⑦ 更换流动性好的材料
黑斑及条纹	① 机筒或喷嘴内部有局部过热点或滞料死角 ② 流道及浇口截面太小，定位不当，流动阻力太大 ③ 机筒各段温度分布不合理 ④ 熔体温度太高或太低 ⑤ 模具排气不良 ⑥ 原料内混入杂质	① 修除滞料死角，消除过热点 ② 适当放大浇口及流道截面，检查流道内有无阻塞物 ③ 适当调整机筒各段温度分布 ④ 适当调整熔体温度 ⑤ 适当增加排气孔，改善模具的排气性能 ⑥ 彻底清除杂质
表面粗糙及光泽不良	① 熔体温度太低 ② 注射压力太低 ③ 模具温度太低 ④ 供料不足 ⑤ 浇口定位不当 ⑥ 冷却时间不足 ⑦ 模具型腔表面粗糙度太高	① 适当提高成型温度 ② 适当提高注射压力 ③ 适当提高模具温度 ④ 应适当增加供料量 ⑤ 重新选位 ⑥ 适当延长冷却时间 ⑦ 研磨抛光，降低表面粗糙度
气泡及收缩	① 熔体温度太高 ② 原料干燥不充分 ③ 制品在模具内冷却时间太长 ④ 保压时间太短 ⑤ 模具温度太低 ⑥ 注射压力和保压压力太低	① 适当降低成型温度 ② 适当提高干燥温度并延长干燥时间 ③ 缩短冷却时间，将脱模后的制品放在热水浴中缓冷 ④ 适当延长保压时间 ⑤ 适当提高模具温度 ⑥ 适当提高注射压力和保压压力
浇口处有冷料斑或脱皮层	① 原料内混入异物杂质 ② 模具温度及喷嘴温度偏低 ③ 喷嘴孔小及流道截面积小 ④ 冷料井偏小	① 彻底清除杂质或换用新料 ② 适当提高模具温度及喷嘴温度 ③ 适当加大喷嘴孔径和流道截面积 ④ 适当加大冷料井尺寸

4.2 工程塑料的注射成型

4.2.1 聚酰胺的注射成型

聚酰胺（PA）俗称尼龙，是主链上含有重复酰胺基团—[NHCO]—的热塑性

树脂总称，包括脂肪族 PA，脂肪-芳香族 PA 和芳香族 PA。其中脂肪族 PA 品种多，产量大，应用广泛，其命名由合成单体具体的碳原子数而定。尼龙中的主要品种是尼龙 6 和尼龙 66，占绝对主导地位；其次是尼龙 1010，尼龙 11，尼龙 12，尼龙 610，尼龙 612；另外还有尼龙 46，尼龙 7，尼龙 9，尼龙 13；新品种有尼龙 6I，尼龙 9T、透明尼龙和特殊尼龙 MXD6（阻隔性树脂）等。PA6 弹性好，冲击强度高，吸水性最大；PA66 性能优于 PA6，强度高，耐磨性好，吸水性比 PA6 小；PA610 与 PA66 相似，但吸水性小，为 PA66 的一半，刚度低；PA1010 半透明，吸水性小，耐寒性较好。PA 主要技术性能指标见表 4-19。

表 4-19 PA 主要技术性能指标

性 能	PA6	PA66	PA610	PA612	PA9	PA11	PA12	PA1010
密度/(g/cm ³)	1. 13	1. 15	1. 07	1. 07	1. 05	1. 04	1. 02	1. 07
熔点/℃	215	252	220	—	185	186	178	210
热变形温度/℃	68	75	82	—	—	54	55	—
耐寒温度/℃	- 30	- 30	- 40	—	- 30	- 40	—	- 40
拉伸强度/MPa	75	80	60	62	65	56	65	55
压缩强度/MPa	85	105	—	—	72	70	—	65
弯曲强度/MPa	120	60 ~ 100	90	—	85	70	90	80
缺口冲击强度/(kJ/m ²)	5. 5	5. 4	5. 5	—	—	3. 86	—	5
体积电阻/Ω · cm	10 ¹²	10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹²	10 ¹⁴	10 ¹³	10 ¹⁴	10 ¹⁵
相对介电常数(1MHz)	3. 4	3. 6	3. 5	3. 5	3. 7	3. 7	3. 1	3. 1
介电损耗因数(1MHz)	0. 030	0. 030	0. 040	0. 020	0. 018	0. 040	0. 030	0. 026
介电强度/(kV/mm)	16	16	16	16	16	17	18	15

尼龙是最重要的工程塑料，产量在五大通用工程塑料中居首位，它不仅具有优良的韧性，优异的耐磨性和自润滑性，良好的耐化学性和耐油性，而且成型加工容易，无毒，易着色，因此广泛用于机械、仪器仪表、化工、交通运输、电气设备、医疗器械和日用品等领域。

1. 工艺特性

尽管尼龙品种很多，化学结构略有差异，性能不尽相同，但由于其分子结构中都含有酰胺基（—CONH—），因此它们的成型特点是相似的。

1) 流动性。尼龙为结晶型塑料，有明显的熔点（见表 4-19），而且熔点较高（160 ~ 290℃，视品种不同而异），熔融温度范围较窄（约 10℃左右）。一旦加工温度超过熔点后，熔体粘度下降快、流动性好，因此在成型加工中，需要严格控制成型工艺，以防出现溢边等问题。同时由于熔体的冷凝速度较快，所以还需要防止物料阻塞喷嘴、流道、浇口等引起制品不足现象的发生。

2) 热稳定性。处于熔融状态下的尼龙树脂热稳定性较差，特别是和空气接触时易氧化变色，因此在成型加工中应避免树脂在高温的机筒内停留时间过长（超过

30min)，以防树脂变色降解，从而影响制品性能。

3) 结晶性。尼龙的结晶度一般在 20% ~ 30%，随着结晶度升高，拉伸强度、耐磨性、硬度和润滑性等性能有所提高，热胀系数和吸水性下降，但对透明性和冲击性能不利。

4) 吸水性。聚酰胺类塑料的分子结构中含有亲水的酰胺基，易吸湿，吸水程度随分子结构中碳原子数的增加而变小，表 4-20 为部分尼龙树脂的吸水情况。吸湿后的树脂在加工过程中会使熔体粘度急剧下降，制品表面出现气泡、银纹等缺陷，而且所得制品的力学性能也明显下降。因此 PA 在加工前必须进行干燥，使水分降至 0.3%（质量分数）以下。

表 4-20 部分 PA 的吸水情况

树 脂 品 种	吸水性（%）	树 脂 品 种	吸水性（%）
PA6	1.2 ~ 3.0	PA66	0.9 ~ 2.5
PA9	0.15 ~ 0.25	PA610	0.4 ~ 1.5
PA11	0.5 ~ 1.0	PA612	0.5 ~ 1.3
PA12	0.6 ~ 1.5	PA1010	0.2 ~ 0.4
PA13	0.5 ~ 0.8		

5) 收缩率。尼龙类树脂的成型收缩率较大，其大小与树脂的品种、制品的壁厚、料流方向以及成型工艺等因素有关，因此在制品和模具设计及成型工艺条件的选择时应予高度重视。部分尼龙品种的成型收缩率见表 4-21。

表 4-21 部分尼龙品种的成型收缩率

树 脂 品 种	成型收缩率（%）	树 脂 品 种	成型收缩率（%）
PA6	0.8 ~ 2.4	PA610	1.2 ~ 1.8
增强 PA6	0.3 ~ 0.7	增强 PA610	0.4 ~ 0.7
PA9	1.5 ~ 2.5	PA612	1.0 ~ 1.1
PA11	1.2 ~ 2.0	PA6-PA66	0.6 ~ 1.5
PA12	1.0 ~ 1.6	PA1010	1.0 ~ 2.3
PA66	1.5 ~ 2.0	增强 PA1010	0.3 ~ 0.5
增强 PA66	0.2 ~ 0.8	透明 PA	0.5
PA6-PA9	1.0 ~ 1.5		

2. 对成型设备的要求

尼龙的注射成型可采用柱塞式或螺杆式注射机，但从塑化效果以及物料在机筒内所停留的时间来看，还是螺杆式注射机为佳，特别是尼龙 66 一类热稳定性稍差的品种和经着色、增强、改性的尼龙尤为重要。

由于尼龙的熔融温度范围较窄，熔融前后体积变化较大，选用注射机时，要注意以下几点：

1) 所用的螺杆形式为单头、全螺纹、压缩突变形螺杆, 其长径比 L/D 为 $(12 \sim 20): 1$, 常用 $(18 \sim 20): 1$, 压缩比为 $(2 \sim 3): 1$ 。螺杆头应装有止逆环, 以免粘度较低的熔体发生漏流, 同时也避免了注射压力的下降。

2) 为防止喷嘴处熔体的流延现象, 应采用自锁式喷嘴, 特别是立式注射机和角式注射机更应选用自锁式喷嘴, 喷嘴直径为 3.0mm , 一般以外弹簧针阀式喷嘴较好。

3) 螺杆与机筒之间的配合间隙要小, 精度要高, 防止熔体在注射过程中产生逆流, 配合间隙最好控制在 0.05mm 以下, 但是机筒平均温度要提高 $10 \sim 20^{\circ}\text{C}$, 防止未充分熔融的粒料堵塞螺杆与机筒的间隙。

3. 制品特点

如前所述, 尼龙类树脂的成型收缩率较大, 收缩情况与制品壁厚有关, 随着制品壁厚的增加, 成型收缩率也相应地增加, 因此在选择制品的壁厚时应充分考虑收缩率所带来的影响。表 4-22 列出了尼龙 1010 制品壁厚与收缩率之间的关系。当然, 在选择制品的壁厚时还必须考虑熔体的充模性。尼龙类熔体流动长度与壁厚之比因品种的不同而有所差异, 通常在 $150 \sim 200$ 之间, 故制品的壁厚一般不低于 0.8mm , 通常为 $1.0 \sim 3.2\text{mm}$ 。

表 4-22 尼龙 1010 制品壁厚与成型收缩率的关系

制品厚度/mm	1 ~ 2	2 ~ 3	3 ~ 4	5 ~ 6	6 ~ 8	> 8
成型收缩率 (%)	0.1 ~ 1.0	1.1 ~ 1.3	1.4 ~ 1.6	1.8 ~ 2.0	2.0 ~ 2.5	2.5 ~ 4.0

4. 模具结构

1) 脱模斜度。鉴于尼龙类树脂的收缩率较大, 在成型时必须选择合适的脱模斜度, 以利于制品的顺利脱模。按照制品的复杂程度其脱模斜度会有所不同, 一般可在 $40' \sim 1^{\circ}30'$ 之间进行选取。

2) 流道与浇口。对流道和浇口无特殊要求, 常用的流道和浇口形式均可用于尼龙类树脂的成型加工。除 PA66 等少数品种外, 大部分还可用无流道 (热浇道) 模具, 但在选择浇口时应考虑制品壁厚与收缩补料的关系。为防止可能出现的气泡或收缩凹痕, 要求流道和浇口部分必须有足够的冷料井, 以便及时捕集冷料。主流道的斜度为 $4^{\circ} \sim 6^{\circ}$; 分流道的直径等于或稍大于制品的壁厚, 梯形流道的截面高度为上底的 $2/3$, 下底宽为上底的 $3/4$, 浇口直径一般为制品壁厚的 $2/3 \sim 3/4$, 但最小不得小于 0.8mm 。

3) 排气。由于尼龙类树脂的熔体粘度较低, 流动性较好, 在成型过程中易出现排气不良现象, 因此需开设一定的排气孔 (槽)。在开设排气槽时还需注意防止溢边, 尼龙类树脂的溢边值在 0.030mm 左右, 所以排气槽的最大厚度应控制在 0.025mm 以下。

5. 原材料处理

尼龙的吸水性较大，在成型加工之前必须对尼龙类颗粒进行干燥处理。在干燥过程中，由于酰胺基团对氧比较敏感，在高温下易发生氧化变色，因此干燥时最好采用真空干燥，因为它的脱水率高，干燥时间短，干燥后的粒料质量好。如果采用普通烘箱干燥，应将干燥温度降至 100℃ 以下，并延长干燥时间。不同干燥方法的工艺参数见表 4-23。

表 4-23 尼龙干燥工艺参数

干燥方法	温度/℃	时间/h	料层厚度/mm	备 注
真空干燥	90 ~ 110	12 ~ 16	< 25	真空度为 95kPa 40 ~ 60kg
热风循环干燥	80 ~ 90	15 ~ 20	< 25	
负压沸腾干燥	100 ~ 110	15 ~ 30 (min)	一次加料量	

干燥后的树脂含水量应达到成型加工中所允许的范围（见表 4-24）。有关含水量的测定可用快速水分测定仪或压片法进行测定了解，在成型加工中，也可用对空注射法，通过熔融物料的光亮度、气泡、银丝等现象进行分析判断。

表 4-24 部分 PA 成型加工时允许的含水量

树脂名称	PA6-PA66	PA11	PA610	PA1010
允许含水质量分数 (%)	0.10	0.15	0.10 ~ 0.15	0.06 ~ 0.10

干燥后的物料最好能立即使用，否则应注意保存，以防再吸湿。在空气中暴露时间为阴雨天不超过 1h，晴天不超过 3h。对于正在加工中的颗粒应注意采取保温措施，如料斗保温层或加红外灯等。

6. 注射成型工艺条件

(1) 尼龙 6 注射成型 尼龙 6 化学名称聚己内酰胺，英文名称 Polycaprolactam (Nylon6)，简称 PA6，结构式—[NH(CH₂)₅CO]_n—。

PA6 为半透明或不透明的乳白色结晶型聚合物颗粒，熔点 220℃，热分解温度大于 310℃，密度 1.14g/cm³，吸水率（23℃ 水中 24h）1.8%，具有优良的耐磨性和自润滑性，力学强度高，耐热性、电绝缘性能好，低温性能优良，能自熄，耐化学药品性好，特别是耐油性优良。加工成型比 PA66 容易，制品表面光泽性好，使用温度范围宽。但吸水率较高，尺寸稳定性较差。与尼龙 66 相比，刚性小，熔点低，在恶劣环境下能长期使用，在较宽的温度范围内仍能保持足够应力，连续使用温度 105℃，阻燃等级 V-2，耐寒温度 -30℃。

注射成型采用粘度 200 ~ 2000 (Pa · s) 的粒料，选用螺杆式注射机，螺杆压缩比取 (2 ~ 3) : 1，L/D 取 (12 ~ 20) : 1，带止逆环，喷嘴选用直通式；对加入了玻璃纤维的增强塑料，需要高耐磨的双金属机筒。纯 PA6 的注射成型工艺

见表 4-25。

表 4-25 纯 PA6 注射成型工艺

制品厚度/mm		<3	3~6	>6
浇口直径/mm		1.0	1.0~3.0	3.0~4.5
浇口长度/mm		最大为 1	最大为 1.5	浇口的 1/2
熔化温度/℃		230~280（对于增强品种为 250~280）		
机筒温度/℃	喂料区	60~90		
	输送段	210~220	210~220	230~260
	压缩段	220~240	210~230	240~260
	均化段	220~240	210~230	240~260
	喷嘴	210~230	210~225	210~230
模具温度/℃		20~80	20~80	25~85
注射压力/MPa		60~120	60~120	85~160
保压压力/MPa		30~60		
塑化压力/MPa		2~8		
注射速度		高速（对增强型材料要稍微降低）		
螺杆转速/(r/min)		50~120		
成型周期/s		5~20	10~40	20~60

改性 PA6 注射时，工艺的设置应根据改性组分特性及加入量，在试验基础上来决定，一般来讲，玻璃纤维增强及填充增强 PA6 的成型温度应比纯 PA6 高 5~10℃；阻燃 PA6 的加工温度略低于 PA6 的加工温度；聚烯烃、ABS 与 PA6 的共混物的加工温度略低于纯 PA6，应根据改性组分含量来确定具体条件，加工温度太高，会引起改性组分的热降解；加工温度太低，共混物中的 PA6 塑化不好，会影响制品性能。改性 PA6 注射成型工艺见表 4-26。

表 4-26 改性 PA6 注射成型工艺

工 艺 条 件		玻璃纤维增强 PA6	阻燃 PA6	填充增强 PA6	增韧 PA6	PP、PE、ABS 类 PA6 合金
机筒温度/℃	输送段	210~220	210~220	210~220	210~220	220~230
	压缩段	230~240	220~230	230~240	220~230	220~230
	均化段	235~245	220~230	230~240	220~230	220~250
	喷嘴	235~240	225~230	230~235	230~235	230~235
模具温度/℃		60~80	40~60	60~80	40~60	40~60
注射压力/MPa		60~90	20~60	60~80	40~60	40~60
成型周期/s		7~12	5~10	7~12	5~10	5~10

(2) 尼龙 66 注射成型 尼龙 66 化学名称聚己二酰己二胺，英文名称 Polyhexamethyleneadipamide (Nylon66)，简称 PA66，结构式—[NH (CH₂)₆ NHCO (CH₂)₄ CO]_n—。

PA66 为半透明或不透明的乳白色、结晶型、热塑性树脂，熔点 255℃，热分解温度大于 370℃，玻璃化转变温度（干态）为 50℃，密度 1.13 ~ 1.16g/cm³。具有较高的韧性、刚性和优良的耐磨性、自润滑性，耐油和耐化学性好，有自熄性，加工流动性好，力学强度较高，刚性和抗冲击性好。使用温度范围广，连续使用温度 105℃；耐热性优良，热变形温度 235℃；耐寒性好；能耐稀无机酸、碱及醇、酮、芳烃等溶剂，特别是耐油性突出，但吸水性较大，制品尺寸稳定性较差。

PA66 在注射过程中，注射机的温度控制、模具温度的设置对制品性能影响较大。注射机加热温度的设定原则是高于熔点 10 ~ 20℃，应根据制品结构与大小、厚度以及原料性能来决定。纯 PA66 的注射成型工艺见表 4-27。

表 4-27 纯 PA66 注射成型工艺

制品厚度/mm		<3	3 ~ 6	>6
浇口直径/mm		0.75 ~ 制品厚度/2	0.75 ~ 3.0	3.0 ~ 4.5
浇口长度/mm		0.75	0.75 ~ 3.0	3.0 ~ 4.5
熔化温度/℃		260 ~ 290，玻璃纤维增强品种为 275 ~ 280℃，避免高于 300℃		
机筒温度/℃	输送段	240 ~ 270	240 ~ 280	260 ~ 280
	压缩段	240 ~ 270	240 ~ 280	270 ~ 280
	均化段	240 ~ 280	240 ~ 280	270 ~ 290
	喷嘴	230 ~ 260	230 ~ 260	260 ~ 280
模具温度/℃		20 ~ 90	20 ~ 90	82 ~ 94
注射压力/MPa		60 ~ 150	60 ~ 150	105 ~ 210
成型周期/s		10 ~ 20	14 ~ 40	46
注射速度		高速（增强品种应稍低一些）		
螺杆转速/（r/min）		50 ~ 120		
成型收缩率		PA66 的收缩率在 1% ~ 2% 之间，玻璃纤维增强 PA66 的收缩率为 0.2% ~ 1%		

改性 PA66，特别是增强 PA66 的加工温度应比纯 PA66 高 10℃左右，但加工温度最好不超过 280 ~ 290℃，否则引起 PA66 的热降解。对于阻燃 PA66，应在熔点附近寻找一个适宜的加工温度，加工温度太高，易引起阻燃剂分解，大量的低分子存在于制品中，严重影响其力学性能，使制品易脆或引起表面起霜、花纹等缺陷。加工温度太低，PA66 未能充分塑化，使制品存在局部应力。改性 PA66 的注射成型工艺条件见表 4-28。

表 4-28 改性 PA66 注射成型工艺

工 艺 条 件		玻璃纤维增强 PA66	阻燃 PA66	增韧 PA66
机筒温度/℃	输送段	271 ~ 277	220 ~ 230	245 ~ 255
	压缩段	277 ~ 282	240 ~ 250	255 ~ 265
	均化段	288 ~ 300	240 ~ 250	260 ~ 265
	喷嘴	260 ~ 277	230 ~ 240	270 ~ 275
模具温度/℃		100 ~ 120	50 ~ 80	80 ~ 100
注射压力/MPa		80 ~ 120	40 ~ 60	40 ~ 80
成型周期/s		50	30 ~ 60	50 ~ 60

(3) 尼龙 11 注射成型 尼龙 11 化学名称聚十一内酰胺，英文名称 Polyundecanoylamide (Nylon11)，简称 PA11，结构式—[NH(CH₂)₁₀ CO]_n—。

PA11 为白色半透明固体，分子中亚甲基数目与酰胺基数目之比较高，故其密度低 (1.03 ~ 1.05g/cm³)，吸水性小，熔点低，加工温度范围宽，尺寸稳定性好，电气性能稳定可靠；低温性能优良，可在 -40 ~ 120℃ 保持良好的柔性；耐磨性和耐油性优异，耐碱、醇、酮、芳烃、润滑油、汽油、柴油、去污剂等性能优良；耐稀无机酸和氯代烃的性能中等；不耐浓无机酸；50% 盐酸和苯酚对它有很大的腐蚀作用；耐候性中等，加入紫外线吸收剂，可大大提高耐候性。

PA11 熔体流动性好，采用螺杆式注射机成型加工时，选用突变型螺杆，长径比 (L/D) 为 20 : 1，压缩比为 (3.5 ~ 4) : 1，螺杆转速为 20 ~ 50r/min。制品体积为注射机最大注射量的 50% ~ 70%，一般牌号的 PA11 宜选用自动启闭式喷嘴，可避免流延现象，但玻璃纤维增强级应选用延伸式通用闭口喷嘴，以免被玻璃纤维堵塞。喷嘴直径为 3 ~ 5mm，并有单独的控温和保温装置。PA11 的注射工艺条件随注射机结构与功能、模具设计、原料牌号规格、制品设计等不同而有相当大的变化。不同牌号 PA11 注射成型工艺条件见表 4-29。

表 4-29 PA11 注射成型工艺

工 艺 条 件		PA11 品级			
		低相对分子质量级	高相对分子质量级	增塑级	玻璃纤维增强级
机筒温度/℃	输送段	190 ~ 210	220 ~ 240	200 ~ 220	230 ~ 250
	压缩段	210 ~ 230	240 ~ 260	210 ~ 230	240 ~ 270
	均化段	120 ~ 240	250 ~ 270	220 ~ 240	260 ~ 280
	喷嘴	210 ~ 230	240 ~ 250	210 ~ 220	250 ~ 270
模具温度/℃		60 ~ 90	60 ~ 90	60 ~ 90	100 ~ 120
注射压力/MPa		80 ~ 110	80 ~ 110	80 ~ 110	90 ~ 130
注射时间/s		3 ~ 8			
保压压力/MPa		30 ~ 50			
保压时间/s		15 ~ 50			
螺杆转速/ (r/min)		20 ~ 50			

为提高制品尺寸稳定性和消除内应力，成型后最好将制品放在 120 ~ 150℃ 的液体石蜡或其他矿物油中进行 10 ~ 30min 的退火处理，取出后再浸入 100℃ 的盐水溶液中让其吸湿进行调湿处理。一般调湿时间为 2 ~ 4h，具体调湿时间视制品厚度而定。

(4) 尼龙 12 注射成型 尼龙 12 化学名称聚十二内酰胺，英文名称 Poly laurylactam (Nylon12)，简称 PA12，结构式—[NH(CH₂)₁₁CO]_n—。

PA12 的性能类似尼龙 11，比 PA11 有更低的密度、熔点和吸水性。PA12 密度在尼龙树脂中最小，吸水性小，故制品尺寸变化小，易成型加工，特别容易注射和挤出。PA12 是很好的电气绝缘体并且和其他聚酰胺一样不会因潮湿影响绝缘性能。它具有优异的耐低温冲击性能，耐屈服疲劳性，耐磨性，耐水解性，耐碱，耐去污剂、油品和油脂性能优良，耐醇、无机稀酸，耐芳烃中等，不耐浓无机酸、氯代烃，可溶于苯酚。

对于未加添加剂的 PA12，由于材料粘度较低，流道直径应在 3mm 左右；对于增强型 PA12 要求 5 ~ 8mm 的大流道直径。流道形状为圆形，注入口应尽可能短。可以使用多种形式的浇口，大型制品不要使用小浇口，这是为了避免采用过高的注射压力。浇口厚度最好和制品厚度相等。如果使用潜伏式浇口，建议最小直径为 0.8mm；如果使用热流道，浇口尺寸要比冷流道小一些。

PA12 的注射成型工艺见表 4-30。

表 4-30 PA12 的注射成型工艺

项 目	工 艺 条 件
干燥处理	如果材料是暴露在空气中储存，要在 85℃ 热空气中干燥 4 ~ 5h；如果材料是在密闭容器中储存，经过 3h 温度平衡即可直接使用，加工之前应保证湿度在 0.1% 以下
熔化温度	240 ~ 300℃，普通 PA12 不要超过 310℃，阻燃 PA12 不要超过 270℃
机筒温度	输送段 160 ~ 170℃，压缩段 190 ~ 240℃，均化段 255 ~ 265℃
模具温度	未增强 PA12 为 30 ~ 40℃，薄壁或大面积制品为 80 ~ 90℃，增强 PA12 为 90 ~ 100℃
注射压力	最大可到 100MPa（建议使用低压压力和高温熔化温度）
注射速度	高速（对于玻璃纤维增强 PA12 更好些）

(5) 尼龙 1010 注射成型 尼龙 1010 化学名称为聚亚癸基癸二酰胺或聚癸二酰癸二胺，英文名称 Poly (decamethylen seba camide) (Nylon1010)，简称 PA1010，结构式—[NH(CH₂)₁₀NHCO(CH₂)₈CO]_n—。

PA1010 是一种半透明结晶型聚酰胺，具有一般尼龙的共性。密度在 1.04 ~ 1.05g/cm³之间，吸水率为 1.5%，比 PA6、PA66 低，脆化温度为 -60℃，热分解温度大于 350℃。对霉菌的作用非常稳定，无毒，对光的作用也很稳定。其最大特点是具有高度延展性，不可逆拉伸能力高，在拉力的作用下，可伸至原长的 3 ~ 4

倍，同时，还具有优良的冲击性能和很高的拉伸强度，-60℃下不脆。自润滑性和耐磨性优良，抗磨性是铜的8倍，优于尼龙6、尼龙66。耐化学腐蚀性能非常好，对大多数非极性溶剂稳定，如烃、脂、低级醇类等。但易溶于苯酚、甲酚、浓硫酸等强极性溶剂。在高于100℃时，长期与氧接触逐渐变黄，力学性能下降，特别是在熔融状态下，极易热氧化降解。PA1010注射成型工艺条件见表4-31。

表 4-31 PA1010 注射成型工艺条件

工 艺 条 件		PA1010	玻璃纤维增强 PA1010
机筒温度/℃	输送段	190 ~ 210	190 ~ 200
	压缩段	200 ~ 225	230 ~ 250
	均化段	210 ~ 230	230 ~ 250
喷嘴温度/℃		200 ~ 210	200 ~ 230
模具温度/℃		40 ~ 80	80 ~ 100
注射压力/MPa		70 ~ 100	90 ~ 130
保压压力/MPa		20 ~ 40	40 ~ 50
成型周期/s		30 ~ 100	50 ~ 90

(6) 尼龙 610 注射成型 尼龙 610 化学名称聚癸二酸己二胺，英文名称 Poly-hexamethyensebacamide (Nylon610)，简称 PA610，结构式—[NH(CH₂)₆NHCO(CH₂)₈CO]_n—。

PA610 很多性能类似 PA66，力学性能介于 PA6 和 PA66 之间，吸水率优于 PA6 和 PA66；耐候性较好；熔点 215 ~ 222℃，耐低温性能、拉伸强度、冲击强度等优于 PA1010，具有较小的密度。PA610 耐碱和稀无机酸，不耐浓无机酸、去污剂和油脂类；稍耐醇类、酮类、芳烃、氯代烃，并能吸收醇、酮、芳烃、氯代烃等起增塑作用。PA610 注射成型工艺条件见表 4-32。

表 4-32 PA610 注射成型工艺条件

机筒温度/℃			喷嘴温度/℃	模具温度/℃	注射压力/MPa	成型周期/s
输 送 段	压 缩 段	均 化 段				
200 ~ 210	220 ~ 230	230 ~ 250	200 ~ 210	40 ~ 100	70 ~ 140	50 ~ 110

(7) 尼龙 612 注射成型 尼龙 612 化学名称聚十二酰己二胺，英文名称 Poly-hexamethylene dodecanamide (Nylon612)，简称 PA612，结构式为—[NH(CH₂)₆NHCO(CH₂)₁₀CO]_n—。

PA612 为半透明乳白色颗粒，相对分子质量 1200 ~ 4000，性能与 PA6 和 PA610 接近，吸水性、尺寸稳定性及刚性等优于 PA610，冲击强度比 PA6 高得多，低温性能和拉伸强度、冲击强度等都超过 PA1010，能耐酸、碱、溶剂。非增强 PA612 和玻璃纤维增强 PA612 注射成型工艺条件见表 4-33。

表 4-33 PA612 注射成型工艺

工 艺 条 件		非增强 PA612	玻璃纤维增强 PA612
机筒温度/℃	输送段	225	266 ~ 270
	压缩段	230	270 ~ 277
	均化段	240	282 ~ 293
	喷嘴	232	277 ~ 290
模具温度/℃		40 ~ 90	70 ~ 120
熔化温度/℃		230 ~ 290	282 ~ 304
进料速度		中	快
螺杆转速		慢 - 中	慢
注射压力/MPa		35 ~ 140	40 ~ 140

(8) 尼龙 46 注射成型 尼龙 46 化学名称聚己二酰丁二胺，英文名称 Polytetramethylene adipamide (Nylon46)，简称 PA46，结构式为—[NH(CH₂)₄ NHCO(CH₂)₄ CO]_n—。

PA46 是荷兰 DSM 公司出品的一种耐热聚酰胺，商品牌号为 Stanyl PA46，它是由二氨基丁烷和己二醇缩聚而成的脂肪族聚酰胺。Stanyl PA46 的主要特征如下：

1) 极佳的短期和长期耐热性。非增强型 Stanyl PA46 的热变形温度为 160℃，增强型 Stanyl PA46 的热变形温度为 290℃，长期使用温度为 163℃。

2) 高温下能保持高刚度。由于结晶度高（约 70%），Stanyl PA46 在接近熔点（295℃）时仍能保持高刚度，这样在要求较高的场合，与其他材料如 PA6、PA66 和 PCT 相比，安全系数更高。

3) 高的抗蠕变力。Stanyl PA46 的高结晶度使其在高温下（100℃ 以上）能极好地保持其刚度，因此也使得其抗蠕变力增加（即在负荷下塑料变形低），比多数工程塑料和耐热材料的抗蠕变力更强。

4) 优异的韧性。Stanyl PA46 结晶率高，形成许多小型晶体球粒，即使在 0℃ 以下，缺口冲击强度值仍保持高水平。

5) 极佳的抗疲劳强度和耐磨性。Stanyl 的高结晶度和良好的晶状结构使其比大多数工程塑料和耐热塑料具有更佳的抗疲劳强度，优于 PPA、PPS 和 PA66。Stanyl PA46 还有极好的耐磨性，改性 Stanyl PA46 有更好的耐磨性；Stanyl PA46 表面光滑坚固，加之在高温下的刚性使其成为滑动部件的理想材料。

6) 良好的耐化学性。即使在较高温度下，Stanyl PA46 对油和油脂的耐蚀性也极佳。因而是汽车工业中发动机部件、齿轮和轴承的理想材料。但是 Stanyl PA46 和其他聚酰胺一样会被强酸腐蚀，而且还易吸收极性溶剂。

7) 电气特性和阻燃性好。Stanyl PA46 具有很高的表面和体积电阻率、绝缘强度和相当好的抗刻划能力，加上 Stanyl PA46 的耐高峰值温度性能和高韧性，使其成为焊接印刷电路板（PCB）上元件的最佳原料。

8) 加工性能好。Stanyl PA46 的结晶速率很快，可以显著地缩短成型周期；St-

anyl PA46 熔化时的流动性极佳，没有任何溢料，再加之在高温时的高硬度，这些都简化了薄壁制品的设计和和生产。另外由于 Stanyl 的结晶温度低，因此加工时不需要高模温（80℃即可）。

Stanyl PA46 和玻璃纤维增强 Stanyl PA46 注射成型工艺条件见表 4-34。

表 4-34 Stanyl PA46 注射成型工艺

工 艺 条 件		Stanyl PA46	玻璃纤维增强 Stanyl PA46
机筒温度/℃	输送段	285 ~ 300	285 ~ 305
	压缩段	290 ~ 305	295 ~ 310
	均化段	295 ~ 310	300 ~ 315
	喷嘴	295 ~ 310	300 ~ 315
模具温度/℃		80 ~ 120	
熔化温度/℃		300 ~ 315	
注射压力/MPa		60 ~ 150	
保压压力/ MPa		40 ~ 100	
塑化压力/ MPa		0.5	
注射速度		高速-中速	
金属嵌件		预先加热至 120 ~ 150℃	
螺杆转速		螺杆直径在 20mm 时为 200r/min；螺杆直径在 45mm 时为 100r/min	
滞留时间/min		6 ~ 10	5

7. 注意事项

(1) 开机与停机 开机时应首先加热喷嘴，然后再加热机筒。当喷嘴发生堵塞时，切忌面对喷孔，以防机筒内的熔体因聚集的压力释放而突然喷出熔体酿成事故。

在长时间中断注射过程之前，应当用无色的 PE 或专门用于 PA 树脂的清洗料清洗和填充机筒。如果工作区域中有洒落的颗粒，应当及时清除和丢弃，以免滑倒。

(2) 再生料的使用 干净整洁、无污染变色的再生料，可以与新料共混后使用，但再生次数不宜过多，最好不要超过三次，以免引起制品色泽变深或物理力学性能下降；使用量应控制在新料的 25%（质量分数）以下，过多会引起工艺条件的波动；再生料与新料混合后必须按工艺要求进行干燥处理。

(3) 脱模剂的使用 使用少量的脱模剂可以改善或消除气泡等缺陷。尼龙制品的脱模剂可选用硬脂酸锌、白油（液体石蜡）等，也可以混合成糊状使用。使用时必须量少而均匀，以免造成糊斑、裂纹或熔接痕明显等问题。

(4) 制品的后处理 尼龙制品的后处理是为了防止、消除制品中残留的应力或因吸湿作用所引起的尺寸变化。后处理的方式有热处理和调湿处理两种方法。

1) 热处理。尼龙制品虽然可用红外线、热风循环等方法进行处理，但最好是

在无氧情况下进行，以免氧化变色。常用的方法是將制品放入热油（矿物油、甘油）、液体石蜡或充氮炉中，在温度 100 ~ 120℃ 下处理一定时间，然后缓慢冷却至室温。处理的时间视制品的壁厚而异，厚度在 3mm 以下为 10 ~ 15min，厚度为 3 ~ 6mm 的时间为 15 ~ 30min。

2) 调湿处理。尼龙本身收缩率较高，为了保持尺寸相对稳定，可对制品进行调湿处理。其方法是將制品放置在相对湿度为 65% 的环境中一段时间，使其达到所要求的平衡吸湿量（约 4%）。由于这一过程进行缓慢，厚制品往往需要较长时间，为了加速吸湿，一般將制品放进沸水或醋酸钾水溶液中（醋酸钾与水的比例为 1.25 : 1，沸点 121℃），并控制温度为 80 ~ 100℃，处理时间主要取决于制品的厚度，当壁厚为 1.5mm 时约 2h，3mm 为 8h，6mm 为 16 ~ 18h。调湿处理对改善制品内的晶体结构，提高制品韧性，改善内应力分布状况也有好处，且效果比退火处理更佳。

8. 尼龙注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决方法（见表 4-35）。

表 4-35 尼龙注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决方法

不良现象	产生原因	解决方法
下料困难或不下料	① 机筒温度设置不当 ② 机筒下料口处冷却不足 ③ 螺杆、机筒设计不当 ④ 料斗、下料口堵塞	① 适当提高机筒中段温度、降低后段温度 ② 检查冷却水管有无堵塞 ③ 螺杆的加料段较长，螺槽较深，该处机筒拉槽 ④ 检查材料中有无尺寸较长的再生料，再生料的使用比例过大
填充不足	① 注射压力不足 ② 注射速度慢 ③ 熔体温度低 ④ 排气不良 ⑤ 浇口过小 ⑥ 过胶圈磨损 制品厚度太薄	① 提高注射压力 ② 提高注射速率 ③ 提高机筒或喷嘴温度 ④ 提高模具温度，或在未填满的部位加排气孔 ⑤ 扩大浇口尺寸或缩短浇口流道的距离 ⑥ 检查过胶圈的磨损程度并更换；增加制品厚度
溢边	① 物料温度过高 ② 注射压力过大 ③ 锁模力不足	① 降低机筒温度，减少物料供给量 ② 降低注射压力，缩短注射时间 ③ 增加锁模力
表面无光泽	① 制品密度不足 ② 填充速度慢 ③ 模具温度低 ④ 排气不良	① 增加熔胶量，提高注射压力 ② 提高机筒温度，提高注射速度 ③ 提高模具温度 ④ 充分排气
缩孔和凹陷	① 制品密度不足，内部产生缩孔 ② 成型时带入空气 ③ 制品壁厚过厚 ④ 热收缩大	① 提高注射压力和物料供给量，延长注射时间 ② 充分干燥物料 ③ 制品厚度不要超过 7 ~ 10mm ④ 降低机筒温度及模具温度

(续)

不良现象	产生原因	解决方法
熔接痕	① 物料温度过低 ② 模具温度过低, 充模后冷却快 ③ 注射压力太小, 速度太慢 ④ 浇口位置开设不当	① 提高机筒温度和喷嘴温度 ② 提高模具温度 ③ 提高注射压力和注射速度 ④ 更改浇口位置, 使熔接痕出现在不受负荷或不显著的部位; 开设冷料井, 使熔接痕处的冷料排出
银丝和斑纹	① 干燥不足 ② 材料中有杂质 ③ 熔体温度过高 ④ 注射速度过快 ⑤ 模具温度太低或不均匀 ⑥ 脱模剂过多	① 加强干燥, 延长干燥时间或采用真空干燥 ② 检查材料中是否有杂质, 减少回料用量 ③ 降低机筒温度和(或)螺杆转速 ④ 降低注射速度和注射压力 ⑤ 提高模具温度, 降低喷嘴温度 ⑥ 减少脱模剂和润滑剂用量
翘曲	① 制品冷却不均匀 ② 制品壁厚不均匀 ③ 填充过度 ④ 注射速度过快 ⑤ 浇口位置不好	① 调整模具温度, 使其冷却均匀 ② 产品设计时尽量使壁厚均匀 ③ 降低注射压力和保压压力 ④ 降低注射速度 ⑤ 改变浇口位置或增加辅助浇口
内部裂纹	① 制品冷却过快 ② 残余应力	① 提高模具温度, 制品取出后浸入热水或放入烘箱中缓慢冷却 ② 降低注射速度, 提高模具温度
变色	① 熔体温度过高 ② 注射速度过快 ③ 浇口过小 ④ 模具排气不良	① 降低机筒温度、螺杆转速、背压 ② 降低注射速度和注射压力 ③ 扩大浇口尺寸 ④ 开设或增加排气孔、槽
焦烧	① 排气不良 ② 熔体温度过高	① 增加排气孔 ② 降低机筒温度, 降低注射速度, 加大浇口
脱模不良、顶出破裂	① 脱模斜度过小, 模具表面粗糙 ② 注射压力过高 ③ 脱模剂不当 ④ 脱模顶针位置不当或直径过小 ⑤ 模具温度过高	① 加大脱模斜度, 模具表面抛光 ② 降低机筒温度和注射压力 ③ 选用适合的脱模剂 ④ 增加顶针数量或加大顶针直径; 延长冷却时间 ⑤ 降低模具温度

4.2.2 聚碳酸酯的注射成型

聚碳酸酯英文名称 Polycarbonate, 简称 PC。它是一类分子链中含有通式为—[OROCO]—链节的高分子化合物及以它为基质而制得的各种材料的总称。随链节中 R 基团的不同, PC 可分为脂肪族、脂环族、芳香族和脂肪-芳香族等几大类

型。脂肪族聚碳酸酯熔点低、溶解度大、热稳定性差、力学强度不高,无法作为工程材料使用。脂环族、脂肪-芳香族聚碳酸酯,虽然熔点有所提高,溶解度也有所减小,但由于结晶趋势较大、性脆、力学强度仍然不足,其实用价值还是不大。从原材料成本、制品性能及成型加工条件等多方面来综合考虑,现在只有芳香族聚碳酸酯才具有工业价值,其中尤以双酚 A 型聚碳酸酯最为重要。

PC 的综合性能优异,尤其是具有突出的抗冲击性、尺寸稳定性和透明性(可见光透过率可达 90% 以上),优良的力学强度和电绝缘性,较宽的使用温度范围($-60 \sim 120^{\circ}\text{C}$),吸水性低等,使其广泛用于仪器仪表、照明用具、电子电气、机械等领域。它的缺点是对缺口敏感,耐环境应力开裂性差,成型带金属嵌件的制品较困难。

1. 工艺特性

1) 聚碳酸酯的热稳定性和力学强度随相对分子质量的增加而提高,熔体粘度也随相对分子质量的增加而明显增大。用于注射成型的聚碳酸酯相对分子质量一般为 20000 ~ 40000,熔体流动速率为 $5 \sim 7\text{g}/10\text{min}$ 。相对分子质量大,成型困难,反之则容易些。

2) 聚碳酸酯分子链的刚性较大,虽为结晶聚合物,但在通常的成型加工条件下很少结晶,一般被认为是非结晶型塑料。其玻璃化温度较高,为 $149 \sim 150^{\circ}\text{C}$,熔融温度为 $215 \sim 225^{\circ}\text{C}$,热稳定性好,成型温度范围宽,可控制在 $250 \sim 310^{\circ}\text{C}$ 。

3) PC 的熔体粘度比 PA、PS、PE 等大得多,流动性较差。熔体的流动特性接近于牛顿流体,熔体粘度受剪切速率影响较小,而对温度的变化十分敏感,因此在注射成型时,要增加熔体的流动性,不是用增大注射压力而是采用提高注射温度的办法来达到。

4) 成型收缩率较小,为 $0.5\% \sim 0.7\%$,玻璃纤维增强 PC 为 $0.2\% \sim 0.4\%$,尺寸稳定性好,刚性高,抗蠕变性能好,但在成型中产生的内应力不易自行消失,脱模后的制品应进行热处理。

5) 尽管 PC 吸湿性小,但在熔融状态下,即使有微量的水分存在,也会使大分子发生降解,放出二氧化碳等气体,使树脂变色、相对分子质量急剧下降、制品性能变差。因此在成型前,树脂必须进行充分干燥,将含水量控制在 0.02% 以下,此外在加工过程中对树脂还应采取保温措施,以防重新吸湿。

2. 对成型设备的要求

(1) 注射机类型 聚碳酸酯的熔体粘度较大,加工温度较高,大多选用螺杆式注射机,只有简单的小型制品才使用柱塞式注射机。无论采用何种成型设备,制品的注射量(包括流道、浇口等)应不大于螺杆式注射机公称注射量的 $70\% \sim 80\%$,或柱塞式注射机公称注射量的 $60\% \sim 70\%$ 。

(2) 螺杆 通常选用单头全螺纹、等螺距、带有止逆环的渐变压缩型螺杆,螺杆的几何压缩比为 $(2 \sim 3):1$,长径比 L/D 为 $(15 \sim 20):1$,最好为 $20:1$ 或者

更大。

(3) 喷嘴 由于聚碳酸酯熔体粘度较高，在成型过程中极少发生流延现象，故选用敞开延伸式喷嘴较为合适，其孔径为 3 ~ 6mm，长 12 ~ 25mm，并配有单独控制的加热装置，加热功率可按 3.5 ~ 4.5W/cm² 计算。这种延长型的开式喷嘴，在开模时可以带走喷嘴口前端的低温物料，从而提高制品质量。喷嘴要尽量短，并要抛光，以减少流体的压力损失。

喷嘴的结构形式影响熔体的流程，在选择喷嘴类型时必须注意。表 4-36 为几种结构形式的喷嘴与熔体在模具中流动长度的关系。

表 4-36 喷嘴形式与熔体流动长度的关系

喷 嘴 形 式	熔体流动长度/mm	
	制品壁厚 0.6mm	制品壁厚 1.2mm
敞开延伸式	44.0	81
针形自锁式	33.5	63
液压自锁式	33.0	79

(4) 温控仪表 由于聚碳酸酯的成型温度高达 300℃，因此要求温控仪表能在 400℃ 以下自由选择并稳定工作。

(5) 保温装置 经过干燥的聚碳酸酯很快就会再吸湿，所以注射机料斗要有保温装置，在 90 ~ 110℃ 保持鼓风干燥状态。保温装置可用 150 ~ 250W 的红外灯对物料进行热风循环，也可以用往物料中插入叶片式铸铝加热器以及料斗夹套加热等方式，后者加热功率为 0.25 ~ 0.30W/cm²。

3. 制品特点

1) 制品的壁厚与熔体在模具型腔内的流动性有关，聚碳酸酯熔体的流动长度与制品壁厚之比为 (80 ~ 100) : 1，因此制品的壁厚不宜太薄，一般不低于 1mm，大都是在 1.5 ~ 5.0mm 之间选择。

2) 由于聚碳酸酯对缺口比较敏感，故要求制品的壁厚应均匀一致，尽可能避免锐角、缺口的存在，转角处要用圆弧过渡，圆弧半径 *R* 不小于 1.5mm。

3) 由于热胀系数不同，PC 制品尽可能少用金属嵌件。对于确需使用的金属嵌件，其半径应不小于 1.6mm，周围塑料层的壁厚应大于或等于嵌件的直径。

4. 模具结构

(1) 浇口与流道 壁厚小于 3mm、料流长度小于 250mm 的制品允许采用直径为 0.8 ~ 3.0mm 的点浇口；壁厚较厚、易产生缩痕和缩孔的制品可选用主流道式直接浇口。浇口直径为制品最大壁厚的 60% ~ 70%，但至少应为 1.2mm。

主流道、分流道和浇口的断面最好是圆形，长度短、转折少，以减少流体的压力损失；模具要注意加热和防止局部过热。

(2) 脱模斜度 脱模斜度一般为 50' ~ 1°，型腔稍大于型芯，型芯部分约 30' ~

50′，型腔部分约 35′~1°。型芯直径与长度之比最大为 1：5。

(3) 排气 虽然聚碳酸酯熔体的粘度较大，流动性较差，但为了防止在成型过程中出现排气不良现象，仍需开设深度小于 0.03mm 的排气孔（槽）。

(4) 其他 为了得到透明性和光洁度较好的制品，要求模具型腔的表面粗糙度不高于 $Ra0.4\mu m$ ，最好在 $Ra0.2\mu m$ 以下。为有助于熔体的顺利充模，得到表面光洁度较好、内应力较小的制品，模具应有可在 120℃ 以下自由选择并稳定工作的控温装置。

5. 原材料处理

聚碳酸酯在高温下对水分比较敏感，微量水分的存在可以使聚碳酸酯发生破坏性的降解，粘度下降，放出二氧化碳等气体，塑料变色，性能变坏，所以聚碳酸酯物料在成型加工前必须经过干燥，使含水量降至 0.02% 以下，最好在 0.015% 以下。若干燥程度很差，塑料中水分多，熔体粘度急剧下降，熔体迅速淌出，喷嘴在劈啪响声中不断喷出泡沫状云球、白烟或气体。用这样的料成型的制品颜色很深，表面有大量银纹色线，内部带气泡，性能极脆，由于内应力大，很多制品在脱模时就开裂了。若干燥程度一般，喷嘴中缓慢注出的细条浑浊不清，表面不光亮，内部夹有少量小气泡，制成的制品在浇口附近或其他部位表面粗糙失光，抗冲击强度较低。

适用于聚碳酸酯树脂干燥的方法有多种，常用的有热风循环干燥、真空干燥、负压沸腾干燥等。干燥工艺因方法不同而各有差异，表 4-37 为几种干燥方法的工艺条件。

表 4-37 常用干燥方法与干燥工艺条件

干燥方法	热风循环干燥	真空干燥	沸腾床干燥
干燥工艺条件	干燥温度：120 ~ 130℃ 干燥时间：6h 以上 料层厚度：25mm	干燥温度：110 ~ 115℃ 干燥时间：10 ~ 20h 料层厚度：小于 40mm 压力：0.096MPa	干燥温度：120 ~ 130℃ 干燥时间：1 ~ 2h

聚碳酸酯易带静电而吸尘，干燥装置及空气应洁净。为防止干燥后的树脂重新吸湿，应将其置于 90 ~ 100℃ 的保温箱内，随用随取，不宜久存。成型时，料斗必须是密闭的，料斗中应设有加热装置，温度不低于 100℃，对无保温装置的料斗，一次加料量最好不超过 30min 的用量，并用盖盖严。

判断干燥效果的快速检验方法，是在注射机上采用对空注射。如果从喷嘴缓慢流出的物料是均匀透明、光亮无银丝和气泡的细条时，则为合格。

6. 注射成型工艺条件

(1) 机筒温度 成型温度的选择与树脂的相对分子质量及其分布、制品的形

状与尺寸、注射机的类型等有关。若温度过低，因粘度大，供料不足，制品表面收缩或起皱纹，无光泽，银丝紊乱；温度过高或高于 320℃ 时停留时间过长，会造成严重降解，制品带飞边，颜色变深，表面有银丝暗条、斑点和纹迹，内部有气泡，同时物理力学性能也显著下降。

对于大多数聚碳酸酯制品，机筒温度应控制在 250 ~ 310℃，使物料实际温度为 280 ~ 300℃，也就是将成型加工温度控制在既能使物料塑化良好，又不至于发生热分解，并能顺利完成注射过程的范围内，所以物料温度必须高于流动温度（240℃），低于分解温度（340℃）。对形状复杂或薄壁（2mm 以下）制品，机筒温度应偏高，在 285 ~ 305℃ 为好；厚壁（大于 10mm）制品，机筒温度可略低，以 250 ~ 280℃ 为宜，若温度超过 290℃，由于注射周期长，过热分解的倾向就会增大，影响制品的综合性能。为了减小制品的内应力，可以适当地提高物料温度、降低注射压力，因为成型温度比成型压力对调节熔体流动性更有效。

不同类型的注射机，机筒温度也不一样，螺杆式注射机为 260 ~ 285℃，柱塞式注射机为 270 ~ 310℃。所以尽量采用螺杆式注射机，这样可使塑料在较低的机筒温度下均匀塑化，从而避免因温度过高或在机筒中受热时间过长而引起的过热分解。

两类注射机上的喷嘴都应加热，喷嘴温度可以与机筒前段温度相等或稍低 5 ~ 10℃，一般控制在 260 ~ 310℃。温度过高，容易出现流延现象，过低会引起喷嘴堵塞或使制品中有低温物料而造成缺陷。物料温度是否恰当，一般采用对空注射法或制品直观分析法进行判断。

（2）模具温度 聚碳酸酯成型温度高，冷却速度快，很容易使制品表面产生缺陷，内部形成应力。为了避免这些问题，模具温度应尽可能高，通常情况下，PC 的模具温度控制在 80 ~ 120℃，普通制品控制在 80 ~ 100℃，形状复杂、壁薄、要求较高的制品则控制在 100 ~ 120℃，但不允许超过其玻璃化转变温度 T_g （130℃）。模温过低，难以充满型腔，制品收缩率大或带波纹、毛斑、暗条等缺陷，更严重的是残余应力大，往往一出模就开裂了；但模温过高（高于 120℃），制品冷却慢，成型周期长，表面光泽差，且易发生粘模，脱模困难，使制品翘曲变形。

（3）注射压力 注射压力对 PC 制品的物理力学性能，内应力、成型收缩率等有一定的影响，对制品的外观及脱模性有较大的影响，过低或过高的注射压力都会使制品出现某些缺陷。由于 PC 熔体粘度高、流动性较差，因此注射压力不能太低，一般控制在 80 ~ 120MPa。对薄壁，长流程，形状复杂，浇口较小的制品，为克服熔体流动的阻力，以便及时充满型腔，注射压力要适当提高至 120 ~ 150MPa。

（4）保压压力及保压时间 保压压力的大小和保压时间的长短对 PC 制品的内应力有较大的影响。保压压力过小，则补缩作用小，制品内部易出现真空泡或表面

出现凹痕；保压压力过大，浇口周围易产生较大的内应力。保压时间的选择应视制品的厚薄，浇口大小，模具温度等情况而定，一般小而薄的制品不需很长的保压时间，相反，大而厚的制品保压时间应较长。保压时间的长短可通过浇口封口时间的试验来确定。在实际加工中，为了减小内应力，获得各项性能良好的制品，一般采用较低的保压压力和较短的保压时间。

(5) 塑化压力 塑化压力约为注射压力的 10% ~ 15%。塑化压力过大会延长预塑时间，可能导致聚碳酸酯过热降解；过小则不利于物料排气、熔体致密及温度和色泽的均匀一致。

(6) 注射速度 注射速度对制品的性能影响不大，但从成型角度考虑，注射速度不宜太慢，否则进入型腔内的熔体易冷凝而导致充模不足，另外，制品表面也易出现波纹、料流痕等缺陷；注射速度过快，对稳定充模不利，制品易出现银丝纹、旋纹、烧伤等缺陷。生产中一般采用中速或慢速注射，最好采用多级注射，速度设定为慢-快-慢，这样可以大大提高制品质量。

(7) 螺杆转速 由于 PC 熔体粘度较大，为了有利于塑化、排气和注射机的维护保养，防止螺杆负荷过大，螺杆转速不可太高，一般控制在 30 ~ 60r/min 为宜。

(8) 成型周期 成型周期宜短，可提高生产效率。但成型周期越短，聚碳酸酯物料在机筒内停留的时间也就缩短，物料温度与机筒温度之间以及熔体各料层之间的温度差越大，不利于改善塑料的热均匀性，所以成型周期既要尽量短，还要合理，而且要保持恒定。

(9) 残料量 注射完毕时螺杆行程还应余留 5 ~ 20mm，以形成稳定的料层缓冲区域，以满足注射传压和补料的需要。

(10) 制品内应力检查 比较常用的方法有两种：偏振光检验法和极性溶剂浸渍法。偏振光检验法适用于各种透明塑料制品的检验，利用制品的透明性，把制品置于偏振光镜片之间，从镜片上观察制品表面彩色带面积的大小来确定内应力发生范围的大小，彩色带面积越大，内应力范围越大。

极性溶剂法是工厂普遍采用的一种检测手段。该方法是将 PC 制品浸入某些溶剂内，根据开裂的时间和开裂情况，判断内应力的分布情况，表 4-38 所列为 20℃ 下聚碳酸酯制品在几种溶剂中的极限应力值，其中四氯化碳为日常使用最多的一种溶剂。

表 4-38 几种溶剂与应力的关系

溶 剂 名 称	苯	四 氯 化 碳	乙 醚 + 丙 酮	环 己 烷	乙 醇	甲 醇
导致开裂的极限应力/MPa	2.0	7.0	7.0	10.0	18.0	19.0

普通聚碳酸酯、玻璃纤维增强聚碳酸酯及耐燃聚碳酸酯的注射成型工艺条件见表 4-39。

表 4-39 聚碳酸酯的注射成型工艺条件

工 艺 条 件	普通 PC	玻璃纤维增强 PC	耐燃 PC
粒料干燥条件	120℃，6h	120℃，6h	120℃，6h
机筒温度/℃			
输送段	240 ~ 280	260 ~ 280	250 ~ 290
压缩段	270 ~ 300	280 ~ 290	270 ~ 310
均化段	270 ~ 300	300 ~ 310	270 ~ 310
喷嘴温度/℃	270 ~ 300	290 ~ 300	270 ~ 310
模具温度/℃	70 ~ 110	90 ~ 100	80 ~ 110
注射压力/MPa	60 ~ 140	60 ~ 140	50 ~ 150
注射速度	快速（薄制品）	—	中速-高速
螺杆转速/(r/min)	30 ~ 120	60	40 ~ 100
塑化压力/MPa	0 ~ 10	5 ~ 10	1 ~ 10
成型周期/s			
注射	1 ~ 25	15	1 ~ 25
冷却	5 ~ 40	20	5 ~ 40
总周期	50 ~ 130	50 ~ 110	—

7. 注意事项

(1) 开机与停机 开机时，当机筒内所存物料为 PC 时，用新料在成型温度下将旧料推出即可（一般 2 ~ 3 次的对空注射过程）；若机筒内所存的料为 PVC、POM 等成型温度较低，热稳定性稍差的树脂时，应在低温下用 PE、PS 等热稳定性较好的树脂将机筒清洗干净，然后升高机筒温度至 PC 的加工温度，用 PC 再生料再次清洗机筒，排空其他树脂，方可用新料进行加工。

对需作临时停机或中止生产时，要求将机筒温度降低至 160℃ 以下，以免停机时间过长引起物料的降解变色。当加工任务已完成时，可用 PS、PE 等树脂清洗机筒，然后降温停机。

(2) 脱模剂 PC 是透明性材料，在成型过程中一般不推荐使用脱模剂，以免影响制品的透明度，造成斑纹或开裂。对脱模有困难，确需脱模剂帮助脱模的制品，可使用硬脂酸或硅油类物质作脱模剂，但用量一定要严格控制。

(3) 金属嵌件 由于金属与塑料在热胀系数上的差别较大，易使金属嵌件与塑料相接的界面形成很大的内应力，这在 PC 中表现较为突出，使制品在使用过程中容易出现开裂现象，因此除了尽可能减少金属嵌件使用数量以及对制品进行必要的后处理外，嵌件应避免锐角或缺口的存在，在成型加工中应将嵌件进行预热（一般要求达 200℃ 左右），以缩小金属件与熔体之间的温差，使嵌件在与树脂熔体接触时，至少有 120℃ 以上的温度。对有嵌件的制品，最好选用相对分子质量大的树脂品级。

(4) 再生料的使用 PC 具有较好的热稳定性，对于加工中出现的浇口、流道以及不合格制品，经破碎后可以重复使用。对于再生 PC，除了注意防止污染外，

在成型加工之前，还需经过严格的干燥处理。为了保证制品的质量和性能的稳定性，要求再生料的再生次数不要超过三次，使用量为 20% 左右。

(5) 制品的后处理 热处理是为消除 PC 制品内应力而采取的措施，热处理的介质为空气、甘油、液体石蜡等，其中因热空气清洁简便，使用最为普遍。PC 制品的热处理条件为：温度 125 ~ 135℃（低于树脂的玻璃化温度 10 ~ 20℃），处理时间 2h 左右，制品越厚，处理时间越长。

8. 注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决方法

聚碳酸酯注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决方法见表 4-40，玻璃纤维增强聚碳酸酯注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决方法见表 4-41。

表 4-40 聚碳酸酯注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决方法

不良现象	产生原因	解决办法
气泡	① 原料中水分及易挥发物含量太高 ② 充模时充填不足 ③ 熔体过热分解	① 充分干燥成型原料 ② 适当提高注射量或注射压力 ③ 检查机筒及热流道的设定温度是否太高，并适当降低
表面波纹	① 熔体温度太高 ② 注射压力太低或注射时间太短，制品收缩较大 ③ 浇口封闭过早 ④ 制品在型腔内冷却不足	① 适当降低机筒及模具温度，延长冷却时间 ② 适当提高注射压力及延长注射时间 ③ 适当放大浇口尺寸 ④ 改善模具的冷却系统，降低模具温度及延长冷却时间
浇口附近变白及波浪痕	① 熔体及模具温度太低 ② 熔体过量填充 ③ 充模速度太快 ④ 浇口阻力太大，熔体充模不畅	① 适当提高机筒及模具温度 ② 降低保压压力及缩短注射时间 ③ 适当减慢注射速度 ④ 适当放大浇口尺寸
表面麻点	① 成型温度太低 ② 注射压力太低，制品表面与模具型腔表面贴合不良 ③ 模具排气不良	① 适当提高机筒及模具温度 ② 适当提高注射压力及模具温度 ③ 合理设置排气孔
黑点	① 原料中混入异物杂质 ② 机筒及模具内有污物杂质 ③ 熔体过热分解产生黑色碳化物	① 保管好树脂，清除原料中的异物杂质 ② 清理机筒，充分置换不洁原料和模具中的污物 ③ 检查机筒及热流道的设定温度是否太高，并适当降低
充模不足	① 熔体温度太低 ② 模具温度太低 ③ 注射压力太低 ④ 注射速度太慢 ⑤ 浇口阻力太大 ⑥ 加料量不足	① 提高机筒和喷嘴温度 ② 提高模具温度 ③ 适当提高注射压力 ④ 适当加快注射速度 ⑤ 适当放大浇口尺寸 ⑥ 调整、加大加料量

(续)

不良现象	产生原因	解决办法
收缩、真空泡	① 保压不充分 ② 模具温度过低 ③ 注射压力过低 ④ 浇注系统不合理 ⑤ 成型温度偏低	① 延长保压时间 ② 提高模具温度 ③ 提高注射压力 ④ 加大主流道、分流道及浇口尺寸 ⑤ 提高成型温度
冷接缝	① 模具结构不合理 ② 模具温度过低 ③ 成型温度偏低 ④ 脱模剂太多	① 采用环形浇口和多点浇口 ② 提高模具温度 ③ 提高成型温度 ④ 少用脱模剂
应力开裂	① 物料相对分子质量过低 ② 原料中水分含量太高 ③ 模具温度过低 ④ 成型温度过低 ⑤ 强行脱模	① 选择相对分子质量适宜的物料 ② 彻底干燥物料 ③ 提高模具温度，对制品进行后处理 ④ 提高成型温度 ⑤ 加大脱模斜度，改进模具结构
脱模困难	① 熔体及模具温度太高 ② 注射压力太高，过量注射 ③ 模具表面有缺陷 ④ 脱模装置设计不合理 ⑤ 模内冷却不充分 ⑥ 脱模斜度太小	① 适当降低机筒和模具温度 ② 适当降低注射压力 ③ 修研模具表面 ④ 增加顶杆面积及数量 ⑤ 延长成型周期 ⑥ 加大脱模斜度
翘曲	① 模内冷却不充分 ② 模具温差过大 ③ 浇口位置和尺寸不合理	① 加大成型周期，降低模具温度 ② 减少模具温差，使之不大于5℃ ③ 调整浇口位置，修正浇口尺寸
溢边	① 注射压力太大 ② 锁模力不足 ③ 模具加工粗糙 ④ 成型温度过高	① 降低注射压力 ② 提高锁模力 ③ 修理或更换模具 ④ 降低成型温度
水解银丝 (指PC在机筒中发生水解而形成的银丝)	物料在成型前未充分干燥，或已充分干燥的物料在料斗中停留时间过长，又重新吸湿，使含水量超过规定要求，导致树脂降解，形成水解银丝（这类银丝通常是沿注射流向均匀分布，严重时密布在整个制品表面，使制品强度显著降低，质地变脆）	充分干燥物料，含水量必须控制在0.03%以下，若银丝是由于物料在料斗中吸湿所致，则应在料斗中设置或改进加热保温装置，并控制一次投料量，使停留时间最长不超过30~60min
分解银丝 (指成型过程中树脂过热分解产生二氧化碳等气体，使制品表面产生的银丝)	① 机筒温度过高 ② 机筒或喷嘴中有积料死角 ③ 熔体在机筒中滞留时间过长 ④ 树脂中混入异物 这类银丝在制品表面的分布没有一定的规律，有时呈现彗星状。分解银丝的出现往往伴随着制品颜色变深，甚至出现棕褐色斑痕，这在主流道上尤为明显，这点可作为判别分解银丝的主要依据	① 降低机筒温度 ② 清理滞料部位并修除死角 ③ 在保证制品质量的前提下尽量缩短成型周期；或换用规格较小的注射机进行加工 ④ 更换原料

(续)

不良现象	产生原因	解决办法
结构银丝 (指由于制品的结构设计不合理、壁厚严重不均匀或出现断面突变,使熔体在充模过程中急剧膨胀或收缩,导致型腔中的空气混入熔体中形成的银丝)	由断面突变、制品壁厚严重不均所引起,同时在制品表面出现凹陷和缩瘪等缺陷,有时甚至在制品内部产生不同程度的气泡。其特点是,当工艺条件固定时,银丝分布的形状和位置也是固定的,而且一般总是沿注射方向分布,发生的位置多数在断面突变的部位之后。这类银丝主要影响外观,而对制品的强度和冲击韧性影响不大	一般通过改变注射速度的方法来排除: ① 当制品截面变化不大时,采用慢速注射,使流料经过突变断面时平稳地充填型腔,不致混入空气,避免产生银丝。但降低注射速度又可能出现欠注,故需要通过调整模具温度和喷嘴温度等其他工艺条件协调解决 ② 当截面变化悬殊时,可用较高的注射速度进行注射,并适当提高注射压力,使气体从分型面强制排出 ③ 若改变注射速度或提高注射压力仍不能消除本缺陷,应考虑改进制品形体结构及改善模具排气系统
流道银丝 (流道银丝是指由于浇注系统设计不合理或局部堵塞而引起的银丝)	① 主流道锥角太大。如果主流道锥角过大,会使流料在注射初期离开锥壁,产生间隙,随着型腔逐渐充满,空气混夹在料流中进入型腔,形成银丝。这类银丝的主要特征是其分布完全沿注射方向排列 ② 浇口设计不合理。如果浇口截面积过小,流料通过浇口时会产生紊流或喷射,使熔体与空气掺混,从而在浇口附近产生银丝。这类银丝的主要特征是以浇口为中心沿注射方向呈放射状分布 ③ 分流道或浇口局部堵塞	① 先通过对空注射排除树脂水解和分解的可能,再检查主流道锥角的大小是否适当,若 $>10^{\circ}$,易产生流道银丝,太小则会引起脱模困难,流料不畅,一般 $4^{\circ}\sim 6^{\circ}$ 为宜;有时也可采用改变注射速度的方法消除,但根本的方法还是修整或更换浇口套,减小主流道锥角 ② 通过扩大浇口或改变浇口的截面形状使银丝消失,在修整浇口的同时,如果适当降低注射速度,则更易奏效 ③ 加大模具中的冷料井及提高喷嘴温度
脉冲银丝 (指预塑螺杆后退加料时,出现不均匀的跳动现象,犹似脉冲)	① 机筒后段温度太高,进料口附近粒料粘接在一起,造成落料不正常 ② 料温过低,树脂塑化不良,引起预塑电机负载过大,螺杆转速失常 ③ 螺杆背压太小 ④ 保温料斗中的粒料在高温下粘接成块,影响落料 ⑤ 在生产过程中有时突然出现脉冲现象,这往往是由于个别自控仪表失灵或机筒加热装置出现故障,造成机筒后段温度失常所致 这类银丝产生的位置和数量无一定规律,有时伴随发生欠注、缩瘪和内部气泡等缺陷,但主要应根据预塑过程中螺杆有无脉冲跳动现象和注射终了时料垫是否恒定来确定银丝的性质	① 适当降低机筒后段温度 ② 适当提高成型温度,加强塑化 ③ 背压不应小于注射压力的1/10 ④ 红外灯泡离粒料不能太近或缩短烘烤时间 ⑤ 在调整温度的同时,应检查仪表和电路有无异常

(续)

不良现象	产生原因	解决办法
封气银丝 (指流料在充模过程中气体不能排出而形成的银丝)	这类银丝的主要特征是伴随明显的熔接痕,而且银丝往往出现在熔接痕附近,而其他部位没有银丝	消除这类银丝的根本方法是改变浇口位置与形式,设置有效的排气槽或修改制品形体结构,但这需要对模具进行较大的修改。在实际生产或试模过程中,往往采取改变工艺条件的方法,如调整注射压力及注射速度,改变定模和动模的温差等

表 4-41 玻璃纤维增强聚碳酸酯注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决方法

不良现象	产生原因	解决办法
气泡	① 原料干燥不充分 ② 保压时间太短且保压压力太低 ③ 缓冲垫不够 ④ 浇口及流道截面太小 ⑤ 浇口位置设置不当	① 将原料在 120℃ 条件下干燥 8h 以上,并在料斗中保温 ② 适当延长保压时间,保压压力至少为 80MPa ③ 适当增大熔体余量 ④ 适当增大浇口及流道截面,或加大喷嘴孔径 ⑤ 设在厚壁处
焦烧	① 料温太高 ② 熔体在机筒中滞留时间太长 ③ 机筒或喷嘴处有滞料死角 ④ 模具排气不良,模具内的空气受到绝热压缩,形成高温高压气体将制品焦烧	① 适当降低机筒及喷嘴温度(不能超过 350℃) ② 加快注射周期或采用规格较小的注射机 ③ 清除滞料,消除死角 ④ 合理设置排气系统,一般排气沟槽的尺寸为深 0.05 ~ 0.10mm,宽 1 ~ 2mm
表面光泽不良	① 注射速度太慢 ② 模具温度太低 ③ 保压不足 ④ 熔体温度太低	① 适当加快注射速度 ② 将模温保持在 100℃ 以上 ③ 适当延长保压时间和加大保压压力 ④ 适当提高机筒及喷嘴温度
玻璃纤维分散不良	① 机筒温度太低 ② 螺杆背压不足 ③ 螺杆转速太低 ④ 螺杆压缩比及长径比太小	① 机筒温度至少在 320℃ 以上 ② 将螺杆背压提高到注射压力的 10% ~ 20% ③ 转速一般控制在 40 ~ 60r/min,当采用液压驱动时,应注意转速不能太高 ④ 压缩比一般为 2.5 : 1,长径比至少 17 : 1

4.2.3 聚甲醛的注射成型

聚甲醛学名聚氧亚甲基,英文名称 Acetal resin, Polyoxy - methylene, Polyacetal, 简称 POM, 是分子主链中含有—(CH₂O)—链节的高结晶型的线性高分子化合物。

POM 是一种坚韧有弹性的材料,外观有光泽,呈白色或浅象牙色,密度较大,为 1.41 ~ 1.43g/cm³,具有良好的综合性能和着色性,强度、刚度高,耐磨性好,吸水性小,尺寸稳定性好,耐疲劳性极好,即使在低温下仍有很好的抗蠕变特性和抗冲击性,并具有突出的自润滑性和耐药品性,是一种应用十分广泛的工程塑料。

但热稳定性差,易燃烧,在大气中暴晒易老化。POM既有均聚物材料也有共聚物材料。均聚物材料具有很好的延展强度、抗疲劳强度,但不易于加工;共聚物材料有很好的热稳定性、化学稳定性并且易于加工。

1. 工艺特性

(1) 结晶性 POM是结晶型塑料,结晶度一般为75%~80%。它具有明显的熔点,共聚甲醛为165℃,均聚甲醛为175℃。熔融范围窄,熔融和凝固快,料温稍低于熔融温度即发生结晶。熔融时,有明显的体积变化,因此注射成型时必须有足够的保压时间,以补偿固化时体积的收缩,否则就会出现缩孔。

(2) 流动性 POM在熔融状态下呈非牛顿性流体,流动性中等,熔体粘度受剪切速率的影响大于温度的影响,因此要提高熔体流动性,不能依赖增加加工温度,而要从提高注射速度和注射压力着手。

(3) 热稳定性 POM是热敏性塑料,热稳定性差,极易分解,分解温度为240℃。在210℃下,停留时间不能超过20min;即使在190℃下,停留时间最好也不要超过1h,因此加工时,在保证物料流动性的前提下,应尽量选用较低的成型温度和较短的受热时间。POM分解时有刺激性和腐蚀性气体产生,故模具钢材宜选用耐蚀性的材料制作;铜是POM降解的催化剂,与POM熔体接触的部位应避免使用铜或铜合金材料。

(4) 吸湿性 POM吸湿性小,一般为0.20%~0.25%,成型加工前可不经干燥处理。

(5) 收缩率 POM成型收缩率较大,为1.5%~3.5%,且收缩不易解决,在制订工艺条件和设计模具时应引起注意。制品壁厚要尽可能均匀一致。

(6) 其他 POM摩擦因数小(0.3~0.45),弹性好,表面硬度高,刚性大,又有自润滑性,脱模应力较小,故可以快速脱模。

2. 对成型设备的要求

POM的成型加工对注射机类型无特殊要求,柱塞式注射机或螺杆式注射机均可采用,但由于POM成型温度范围较窄,热稳定性较差,从有利于塑化、降低成型温度以及注射速率而言,通常采用螺杆式注射机。在选择注射机时应注意以下几点:

1) 每一次注射量不应超过注射机最大公称注射量的75%,最好在60%左右。

2) 螺杆采用标准型单头、全螺纹螺杆。长径比(L/D)为18:1左右,压缩比为(2~3):1,均化段长度为(4~5) D 。

3) 尽量减少机筒内部产生的过量摩擦热。物料流经的部位,不允许有任何造成物料滞留的问题存在,特别是机筒与喷嘴接合部、止逆装置或鱼雷头(又称分流梭)等处必须注意。

4) 喷嘴对料流的阻力要小,一般选用直通式喷嘴,并附有加热控温装置。喷嘴孔径不可太小,以免物料与模具接触时发生凝固,堵塞通道。

5) 为保证制品质量，特别是精密制品，注射机应有足够的锁模力。

3. 制品特点

POM 制品的壁厚不仅与熔体的流动长度有关，而且与熔体流动速率有关。不同的熔体流动速率，不同的制品壁厚有不同的熔体流动长度，因此 POM 制品的壁厚应根据树脂情况进行选择，不宜太薄，一般在 1.5 ~ 5.0mm 之间。表 4-42 为制品壁厚与熔体流动速率以及流动长度的关系。

表 4-42 制品壁厚与熔体流动速率（MFR）及其流动长度的关系

MFR/（g/min）	熔体流动长度/mm			工 艺 条 件
	壁厚 0.5mm	壁厚 1.0mm	壁厚 2.0mm	
2.70	145	225	310	模具温度 80℃ 注射压力 130MPa 注射温度 180℃ 注射速度 4.3m/min
0.90	110	170	230	
0.25	—	—	165	

为减少制品中的应力，有利于物料均匀收缩，要求制品壁厚均匀，这样可避免出现缺口、锐角，转角处（特别是内角）要用圆弧过渡（R 为 0.8 ~ 1mm）。

4. 模具结构

（1）流道和浇口 POM 制品的模具可以使用任何类型的浇口。如果使用隧道形浇口，则最好使用较短的类型。模具的主流道要短而粗，其直径比喷嘴直径大 1mm 左右，锥度可取 3° ~ 5°；分流道以圆形为好，但为了便于加工，可采用梯形分流道，其尺寸为上底长度等于下底长度的 3/4，深度等于下底长度的 2/3。分流道的分支和拐角要尽量少，并且要平衡或对称地分布，拐角处要设分流道冷料井。

（2）脱模斜度 POM 的成型收缩率较大，而收缩率的大小又与制品的壁厚有关，制品壁厚越厚收缩也就越大（见表 4-43）。收缩率不同脱模斜度也不一样，POM 的脱模斜度通常在 40' ~ 1°30' 之间选取。设计模具时，一般凹模按最小收缩率，凸模按最大收缩率来设计。注射成型后，如果制品尺寸不合适，对模具略作修改即可。

表 4-43 制品壁厚与成型收缩率的关系

制品壁厚/mm	1 ~ 3	4 ~ 6	7 ~ 8	> 8
成型收缩率（%）	1.0 ~ 1.5	1.5 ~ 2.0	2.0 ~ 2.6	> 2.6

（3）排气 为防止排气不良、熔接痕明显、物料灼伤变色等影响制品性能和表观质量，要求模具开设良好的排气孔或槽，排气孔、槽的深度不得超过 0.02mm，宽度在 3mm 左右。

（4）控温装置 应能在 120℃ 以下自由选择模具温度并使其稳定工作。POM 是

结晶型高聚物，其结晶度与模具温度密切相关，因此需要根据制品的不同要求，设置不同的控温装置。对于要求表面较硬、结晶度较高的制品以及充模有困难的薄壁制品或需作较大补缩的厚壁制品，模具需要加热控制，而其他制品一般是通冷却液来控制模具温度。

(5) 其他 模具内要尽量避免死角，以免物料过热分解。

5. 原材料处理

POM 吸湿性小，微量水分的存在对其物理力学性能影响较小，因此对原料包装严密，外观质量要求不高的制品，在成型之前可不作干燥处理。但是如果树脂包装不好，又储存在湿度相对较高的环境里，或者为了成型精密零件或大面积薄壁制品，在成型之前必须对树脂进行干燥处理。干燥工艺：干燥温度 80 ~ 90℃，干燥时间 4h，物料堆积厚度小于 30mm。

6. 注射成型工艺条件

(1) 机筒温度 共聚甲醛熔点为 165℃ 左右，均聚甲醛熔点为 175℃ 左右，因此注射机机筒温度必须高于此温度。但温度过高又会导致物料分解变色，所以共聚甲醛机筒温度一般为 170 ~ 190℃，均聚甲醛为 180 ~ 200℃。先从温度下限开始试验，如制品有缺陷，而改变其他工艺条件不能解决问题时，才逐渐升温，直到制得良好的制品为止。采用柱塞式注射机时的温度比采用螺杆式注射机的温度要稍高些，喷嘴温度为 170 ~ 180℃。另外，熔体在机筒中的停留时间对制品的性能也有影响，在允许的情况下，缩短停留时间有利于改善制品的力学性能。

(2) 模具温度 模具温度的高低会影响冷却速度的快慢，从而影响结晶度的大小，所以模具温度是影响制品强度的主要因素。POM 在注射成型时，模具温度均应控制在 80℃ 以上，对于大面积厚壁制品，可高达 120℃。加热模具的目的，首先是提高物料的流动性，避免过早凝固而不能充满型腔；其次是使制品内外冷却速度尽量接近，防止产生熔接痕、凹陷、缩孔及应力裂纹；最后是减小模具表面与熔融物料之间的温差，提高制品的结晶度、密度和力学强度。模具温度应尽量均匀，以免制品翘曲变形。当然在选择模具温度时还应考虑制品收缩率的变化，因为模具温度越高，制品收缩率也就越大。

(3) 注射压力 注射压力对 POM 制品的力学性能影响很小，但对熔体的流动性及制品的表面质量影响很大。注射压力的大小，主要由物料的熔体流动速率、浇口流道的尺寸、制品的厚度及流程、模具温度及注射机类型等而定，通常在 40 ~ 130MPa 之间选择。一般来说，采用柱塞式注射机或加工薄壁长流程、大面积的制品时，注射压力要高些；采用螺杆式注射机或加工厚壁短流程、小面积的制品时，注射压力要低些。物料的熔体流动速率小，浇口流道尺寸小，模具温度低，流程阻力大的情况下，注射压力应选得大些。

(4) 保压压力 由于 POM 结晶度高、体积收缩大，为防止制品出现空洞、凹痕等缺陷，必须要有足够的保压压力和保压时间进行补缩。一般来说，制品越厚，

保压压力越大，保压时间越长。

(5) 塑化压力 一般在 0.6MPa 左右。

(6) 注射速度 注射速度的快慢取决于制品的壁厚。薄壁制品应快速注射，注射速度为 40 ~ 80cm³/s，以免熔体过早凝固；厚壁制品则需慢速注射，注射速度为 20 ~ 40cm³/s，以免产生喷射，使制品内混入气体而影响外观。

(7) 螺杆转速 一般控制在 50 ~ 60r/min，并尽量减小背压。

(8) 成型周期 注射成型时，一般薄壁制品用高压，厚壁制品不用高压，高压时间不超过 5s。保压时间所占的比例较大，且随制品厚度而加长，一般约为 20 ~ 120s，有时可达 5min。冷却时间与制品的厚度及模具温度有关，时间的长短应以制品脱模时不变形为原则，一般为 30 ~ 120s，冷却时间过长，不仅降低生产效率，还会对复杂制品造成脱模困难。

(9) 成型收缩率 制品厚度在 2mm 以下时，成型收缩率随制品厚度的增加而变小，而超过 2mm 时，则随制品厚度的增大而变大。

(10) 制品的后处理 为了消除内应力，减少后收缩，保持尺寸稳定，并使制品不易翘曲、开裂，要对 POM 制品进行热处理。热处理是以空气或水、油作介质，水浴温度 100℃，空气浴和油浴温度 120 ~ 130℃，时间长短由制品的壁厚而定，一般来说，壁厚每增加 1mm，处理时间增加 10min 左右。

热处理效果可用极性溶剂法判断，即将热处理后的制品放入浓度为 30% 的盐酸溶液中浸渍 30min，若制品不出现裂纹，说明制品中残余的内应力较小，热处理效果好。

聚甲醛的注射成型工艺条件见表 4-44。

表 4-44 聚甲醛注射成型工艺条件

工 艺 条 件	制品厚度 6mm 以下		制品厚度 6mm 以上	
	柱 塞 式	螺 杆 式	柱 塞 式	螺 杆 式
机筒温度/℃				
输送段	160 ~ 175	155 ~ 165	160 ~ 170	155 ~ 160
压缩段	—	165 ~ 175	—	160 ~ 170
均化段	175 ~ 195	175 ~ 185	170 ~ 185	170 ~ 180
喷嘴温度/℃	170 ~ 180	170 ~ 180	170 ~ 180	170 ~ 180
模具温度/℃	80	80	80 ~ 120	80 ~ 120
注射压力/MPa	80 ~ 120	60 ~ 130	60 ~ 120	40 ~ 100
注射时间/s	10 ~ 60	10 ~ 60	45 ~ 300	45 ~ 300
保压时间/s	0 ~ 5	0 ~ 5	—	—
冷却时间/s	10 ~ 30	10 ~ 30	30 ~ 120	30 ~ 120
总周期/s	30 ~ 100	30 ~ 100	90 ~ 460	90 ~ 460
后处理方式	水浴	水浴	空气浴	空气浴
后处理温度/℃	100	100	120 ~ 130	120 ~ 130
后处理时间/h	0.25 ~ 1.0	0.25 ~ 1.0	>4	>4
成型收缩率 (%)	1.5 ~ 2.0	1.5 ~ 2.0	2.0 ~ 3.5	2.0 ~ 3.5

7. 注意事项

由于 POM 为热敏性塑料，超过一定温度（240℃）或在加工温度下长时间受热，均会发生降解，放出大量有害的甲醛气体，不仅影响制品质量，腐蚀模具，危害人体健康，严重时还会引起机筒内气体膨胀而发生爆炸。因此操作时除严格控制成型工艺条件外，还应注意以下几点。

1) 严格控制成型温度和物料在机筒内的停留时间，尽量采用低的机筒温度和喷嘴温度，并经常检查温度控制系统及各部分的温度。

2) 开车前升温时，先预热喷嘴，然后将机筒温度升至 150℃，等 15min 后再升至正常加工温度，停车前 15min，停止机筒加热，注出机筒内的物料。

3) 加工 POM 时，若机筒内存有加工温度超过 POM 的物料，要先用 PE 或清洗料将机筒清洗干净，待温度降至 POM 的加工温度时，再用 PE 清洗一次机筒，方可投料进行成型操作。

4) 在成型过程中，发现分解的预兆后，马上用对空注射的方法，将机筒内的物料排空，并用 PE 清洗机筒，待正常后再进行加工。

物料分解的预兆：有强烈的甲醛刺激性气味；熔体有棕黄色条纹或制品有毛斑；熔体内有气泡，并有“嘶嘶”声而且冒烟。

物料分解的原因：机筒温度过高或升温过快；高温停车时间过长；温度控制失灵；喷嘴因过冷而堵塞；注射系统内有死角。

5) 某些物料或添加剂（如 PVC、含卤阻燃剂等）对 POM 有促进降解作用，必须严格分离，不允许相互混杂。

6) 制品中若带有金属嵌件，必须将嵌件在 100 ~ 150℃ 下预热，这样可减少制品中嵌件周围的内应力，避免在外力作用下或环境温度急剧变化时产生裂纹或开裂。

8. POM 注射成型中出现的不良现象、产生原因及解决方法（见表 4-45）

表 4-45 POM 注射成型时的不良现象、产生原因及解决方法

不良现象	产生原因	解决方法
欠注	① 机筒或模具温度太低，流道冻结过早 ② 制品壁太薄 ③ 一模多腔时，浇口不平衡，各型腔充模不同步 ④ 供料不足 ⑤ 注射压力偏低 ⑥ 成型周期偏短 ⑦ 原料未充分干燥 ⑧ 浇注系统结构尺寸太小 ⑨ 模具排气不良	① 提高机筒及模具温度，扩大流道面积，增加注射速度 ② 适当增加壁厚 ③ 在一模成型多个制品时，浇口要平衡并合理设置流道 ④ 适当加大供料量 ⑤ 适当提高注射压力 ⑥ 适当延长成型周期 ⑦ 进行预干燥处理 ⑧ 扩大浇口及流道尺寸，换用较大孔径喷嘴 ⑨ 适当增设排气孔，改善模具的排气性能

(续)

不良现象	产生原因	解决方法
银丝和斑纹	① 原材料内的水分含量太高 ② 机筒或喷嘴局部过热, 熔体分解 ③ 机筒或喷嘴内有滞料死角, 滞留物料分解产生银丝及斑纹 ④ 注射压力和注射速度太低或太高都会产生银丝和斑纹, 一般情况下, 型腔压力不足比较容易产生这种缺陷 ⑤ 浇口及流道截面太小 ⑥ 喷嘴孔径太小	① 充分干燥原材料, 减少树脂中的水分含量 ② 适当降低机筒或喷嘴处的加热温度 ③ 修磨并消除滞料死角, 彻底清除滞留的残余物料 ④ 适当提高成型温度及模具温度, 增加熔体流动性, 并适当提高注射压力和延长成型周期。若在型腔压力较高的条件下产生银丝及斑纹时, 应适当降低注射速度和注射压力 ⑤ 适当放大浇口、流道尺寸 ⑥ 换用孔径较大的喷嘴
溢料飞边	① 注射压力太高 ② 熔体温度太高 ③ 锁模力不足	① 适当降低注射压力 ② 适当降低机筒及喷嘴温度 ③ 适当提高锁模力
熔接痕	① 熔体温度太低 ② 模具温度太低 ③ 注射速度太慢 ④ 浇口截面积太小	① 适当提高机筒及喷嘴温度 ② 适当提高模具温度 ③ 适当加快注射速度 ④ 适当放大浇口截面积
波流痕	① 注射压力太低 ② 浇注系统尺寸太小, 流动阻力太大 ③ 模具排气不良	① 适当提高注射压力 ② 适当放大浇口及流道截面积 ③ 增设排气孔
翘曲变形	① 注射压力太低 ② 成型周期偏短 ③ 保压时间偏短 ④ 模具装配不良, 分型面未对中 ⑤ 冷却不均匀或冷却时间太短 ⑥ 模具温度不均匀, 温度较高部位制品表面收缩较大 ⑦ 浇注系统设计不合理, 充模时熔体流动方向不平行, 各部位收缩率差异较大 ⑧ 制品结构设计不合理	① 适当提高注射压力 ② 适当延长成型周期 ③ 适当延长保压时间, 成型时, 保压时间比浇口封闭时间略长为好 ④ 重新装配模具 ⑤ 制品脱模后可在夹具中进一步冷却定型 ⑥ 尽量使模具温度均匀, 并适当降低模具温度, 延长冷却时间 ⑦ 在选定浇口位置时, 应使熔体在型腔内平行流动, 浇口形式最好采用多点式点浇口 ⑧ 在设计制品的形体结构时, 尽量减小壁厚差异, 避免引起较大的收缩差异; 在制品薄弱部位, 采用加强筋, 防止收缩变形太大
气泡及表面麻点	① 保压时间太短 (制品冷却收缩的部分不能由保压补料所充分弥补时, 就会在制品表面产生小孔或气泡) ② 喷嘴温度太低 ③ 浇口截面太小 ④ 浇口位置设置不当 ⑤ 缓冲量不足	① 适当提高注射压力和延长保压时间 ② 适当提高喷嘴温度 ③ 适当放大浇口截面 ④ 设置在厚壁部位 ⑤ 适当增加缓冲量

(续)

不良现象	产生原因	解决方法
凹痕 (缩瘪)	① 注射压力偏低 ② 成型周期偏短 ③ 保压时间太短 ④ 供料不足 ⑤ 熔体温度太高 ⑥ 注射速度太快 ⑦ 浇注系统流动阻力太大 ⑧ 浇口位置设置不当	① 提高注射压力 ② 适当延长成型周期 ③ 适当延长保压时间 ④ 适当增加供料量 ⑤ 适当降低成型温度 ⑥ 适当降低注射速度 ⑦ 适当放大浇口及流道截面 ⑧ 重新定位浇口
尺寸波动	① 机筒温度波动引起制品尺寸变化 ② 模温太高或太低都会导致尺寸波动 ③ 缓冲量变化不定引起尺寸波动 ④ 制品冷却不均匀, 引起尺寸不稳定 ⑤ 充模速度太慢 ⑥ 模具设计不当	① 稳定机筒温度 ② 准确控制模具温度 ③ 使缓冲量保持恒定 ④ 制品脱模后均匀冷却, 必要时退火处理 ⑤ 快速充模 ⑥ 对于多腔模具, 合理设计型腔排列形式和浇口尺寸, 确保充模同步
表面皱纹	① 产生表面皱纹的最主要原因是模具型腔压力不足 ② 浇注系统结构尺寸太小 ③ 模具温度太低	① 适当提高注射压力 ② 适当加大喷嘴孔径和主流道、分流道截面积, 防止压力损失 ③ 适当提高模具温度
表面波纹	① 波纹和皱纹较难区别, 所不同点在于波纹是因浇口的喷射现象引起的 ② 模具温度太低 ③ 浇口位置设置不当 ④ 注射机注射量不足也会引起制品产生表面波纹	① 适当扩大浇口截面并降低注射速度 ② 适当提高模具温度, 增加充模流动性, 使浇口喷射产生的波纹不留在制品表面上 ③ 选择在即使发生浇口喷射波纹对外观也没有很大影响的部位设置浇口 ④ 换用规格较大的注射机
边缘处产生弧形条纹及麻点	① 熔体温度太低 ② 注射压力太低 ③ 注射速度太慢	① 适当提高机筒和喷嘴温度 ② 适当提高注射压力和保压压力 ③ 适当提高注射速度
霜纹	① 机筒温度太高 ② 模具温度太低 ③ 注射速度太快 ④ 原料中水分含量太高	① 适当降低机筒温度 ② 适当提高模具温度 ③ 适当减慢注射速度 ④ 进行预干燥处理
表面污物淀积	① 原料中的添加物污染了模具或微量甲醛气体与模具接触后产生了水, 引起制品表面污物淀积 ② 成型工艺条件控制不当是产生淀积物的主要原因	① 保持模具清洁, 若型腔表面有大量沉积物粘附, 可用竹勺、黄铜勺等不易损伤模具的工具铲除, 也可采用专门的清洁剂去除 ② 合理控制模具温度、熔体温度、注射速度以及设置合理的排气系统 (注射速度不能太快, 否则型腔内的空气来不及排出会引起熔体绝热压缩, 促使淀积物的产生; 模具温度必须合理控制, 太低和太高都会引起甲醛游离出来形成淀积物; 熔体温度不能太高, 而且熔体在机筒中滞留时间不能太长, 否则会使 POM 降解或促使甲醛气体游离; 原料必须充分干燥, 因为水分会促使淀积物的产生)

(续)

不良现象	产生原因	解决方法
冷料瑕疵	① 冷料随同熔体进入型腔，导致浇口附近产生疵点 ② 制品壁厚不均匀 ③ 浇注系统设计不当	① 适当提高模具温度，扩大浇口截面，改变浇口位置并降低注射速度 ② 应平滑过渡 ③ 修改设计，使熔体充模顺畅
真空孔	① 注射压力太低 ② 保压不足 ③ 模具温度太高 ④ 注射速度太快或太慢 ⑤ 浇注系统设计不合理 ⑥ 成型温度太高 ⑦ 浇口位置设置不当	① 适当提高注射压力 ② 适当增加保压时间 ③ 适当降低模具温度 ④ 根据具体情况适当调整 ⑤ 适当加大浇口、分流道及主流道几何尺寸 ⑥ 适当降低成型温度 ⑦ 对于壁厚部位，应重新配置浇口
空洞及焦烧	① 模具排气不良，型腔中的残留空气被熔体包裹，受到绝热压缩，形成空洞，周围的树脂被焦烧 ② 注射速度太高 ③ 模具偏芯或偏厚	① 改变浇口位置和改善模具的排气性能 ② 适当降低注射速度 ③ 修整模具
变色及焦化	① 熔体过热分解或在机筒中的滞留时间过长 ② 加料过程中，树脂粒料带人机筒内的空气排不出来 ③ 模具排气不良 ④ 注射速度太高	① 降低机筒及喷嘴温度，检查机筒与喷嘴嵌合部位有无滞料死角，或换用小容量注射机 ② 加大背压，从料斗中排气 ③ 在模具的分型面上开设排气沟槽，并适当调整充模速率 ④ 适当降低注射速度
制品脆化 破损	① 喷嘴部位温度太低 ② 喷嘴和主流道间有冷料滞留 ③ 原料未充分干燥 ④ 由于模具温度太低，注射压力过高，以及壁厚不均匀等原因，导致制品内集中了大量残余应力，引起制品脆化 ⑤ 制品的转角处无过渡圆弧，尖角产生应力集中，导致制品脆化破损 ⑥ 熔体过热分解导致制品脆化 ⑦ 原料中混入异物杂质 ⑧ 注射压力偏低 ⑨ 成型周期偏短 ⑩ 模具排气不良	① 适当提高喷嘴温度，并清除喷嘴滴漏形成的早凝料 ② 清除冷料，排除喷嘴处的滴漏现象 ③ 进行预干燥处理，降低原料中的水分及易挥发物含量 ④ 调整模具温度、注射压力及保压时间，制品壁厚应尽量均匀，减少残余应力 ⑤ 在制品设计时，要减少尖角，采用圆弧过渡；在成型过程中，要防止产生飞边 ⑥ 降低过热部位的温度 ⑦ 清除原料中的异物杂质，拆卸和清洗机筒及喷嘴，并检查原料中再生料回用比例是否太高，适当减少其用量 ⑧ 适当提高注射压力 ⑨ 适当延长成型周期 ⑩ 适当增设接缝部位的排气孔

(续)

不良现象	产生原因	解决方法
粘型芯	① 注射压力太高 ② 保压时间太长 ③ 垫料太多 ④ 模具闭合时间太长 ⑤ 型芯温度太高 ⑥ 模具脱模斜度不足 ⑦ 浇口位置不当 ⑧ 注射机规格太小	① 适当降低注射压力 ② 适当缩短保压时间 ③ 适当减少垫料 ④ 适当缩短模具闭合时间 ⑤ 适当降低型芯温度 ⑥ 适当加大脱模斜度 ⑦ 浇口应设置在厚壁处 ⑧ 选用规格较大的注射机
粘型腔	① 注射压力太高 ② 型腔温度太高 ③ 螺杆转速太低 ④ 塑化压力不足 ⑤ 螺杆前进时间太长 ⑥ 垫料太多 ⑦ 模具闭合太快 ⑧ 模具脱模斜度不足	① 适当降低注射压力 ② 适当降低型腔温度 ③ 适当提高螺杆转速 ④ 适当提高塑化压力 ⑤ 适当缩短螺杆前进时间 ⑥ 适当减少垫料 ⑦ 适当延长模具闭合时间 ⑧ 适当加大脱模斜度

4.2.4 聚对苯二甲酸丁二醇酯的注射成型

聚对苯二甲酸丁二醇酯，英文名称 Polybutylene terephthalate，简称 PBT，属于聚酯系列，是由 1,4-丁二醇（1,4-Butylene glycol）与对苯二甲酸（PTA）或者对苯二甲酸酯（DMT）缩合而成，并经由混炼程序制成的乳白色半透明到不透明、结晶型热塑性聚酯树脂，它与 PET 一起被统称为热塑性聚酯或饱和聚酯。PBT 是一种新型的工程塑料，具有综合性能优良、成本低、成型加工容易等优点，主要用于机械、电子电气、仪器仪表、化工和汽车等行业；缺点是阻燃性差、韧性低，因此必须对 PBT 进行改性，如加入阻燃剂和玻璃纤维等，其中用玻璃纤维进行增强的品级占 PBT 的 70% 以上。

1. 工艺特性

（1）结晶性 PBT 是结晶型塑料，具有明显的熔点，熔点为 220 ~ 230℃，结晶度可达 40%。

（2）熔体特性 熔体粘度对剪切速率敏感，因此在注射成型时，提高注射压力可增加熔体流动性。

（3）流动性 PBT 在熔融状态下的流动性好，粘度低，仅次于尼龙，因此易于成型薄壁、形状复杂的制品，但要注意在成型时易出现流延现象。

（4）收缩率 PBT 有较大的收缩率和收缩率范围，且在不同方向的收缩率差别较其他塑料更明显。

（5）吸湿性 由于 PBT 中含有酯类基团，高温下水分的存在将使其水解，所

以在成型加工之前,必须进行干燥处理。

(6) 脱模特性 纯 PBT 的伸长率可达 200%, 因此带有较小凹陷的制品可以强制脱模, 但用玻璃纤维或填料填充后, 其伸长率大为下降, 在制品中如有凹陷就不能实施强制脱模。

(7) 其他 PBT 成型加工温度范围较窄, 冷却时结晶很快, 加之流动性好, 特别适于快速注射。

受结晶、工艺、模具等因素的影响, PBT 在成型过程中易呈现各向异性, 使制品出现翘曲、扭曲等问题, 因此需注意选择合理的工艺条件以及模具设计。

2. 对成型设备的要求

PBT 的注射成型可采用柱塞式或螺杆式注射机, 其中又以单螺杆注射机最为常用。对于小型 PBT 制品, 柱塞式注射机也可满足要求。采用单螺杆注射机时, 一般采用三段式渐变型螺杆, 长径比 L/D 为 $(15 \sim 20): 1$, 压缩比为 $(2 \sim 2.5): 1$ 。三段分布情况为: 均化段 20% ~ 30%、压缩段 20% ~ 30%、加料段 50% ~ 60%, 螺杆行程为 $0.8 \sim 1.0D$ (D 为螺杆直径)。为了避免塑化时 PBT 熔融物料溢出喷嘴, 应采用自锁式喷嘴, 其中以液压自锁式喷嘴为宜, 并配有加热控温装置。如采用直通式喷嘴, 则要求喷嘴孔径不要太大, 而且控温要精确灵敏。制品的用料量 (包括浇口、流道) 应控制在设备额定最大注射量的 30% ~ 80% (阻燃级树脂为 50% ~ 80%), 不可用大设备生产小制品, 以免物料在机筒内停滞过久而导致制品性能下降, 甚至引起阻燃剂分解和制品变色。在成型阻燃级 PBT 时, 应选用经防腐处理过的螺杆和机筒。

3. 制品特点

PBT 和玻璃纤维增强 PBT 都有很好的流动性, 因此制品壁厚不宜太厚, 通常为 $1 \sim 3\text{mm}$, 因为壁厚太厚的制品不仅延长成型周期, 而且还会增加制品的收缩率。为了防止制品因收缩不均而出现翘曲变形, 壁厚应尽可能均匀。

PBT 对缺口很敏感, 故制品中尽量避免出现缺口和锐角, 对所有转角处 (包括厚薄连接处) 都应采用圆弧过渡连接, 圆弧的半径 R 须大于 1.0mm 。

4. 模具结构

(1) 浇口与流道 点浇口和潜伏浇口的剪切作用大, 能降低 PBT 熔体的表观粘度, 有利于成型, 是经常采用的浇口形式, 浇口直径以偏大些为好。浇口最好正对型芯, 这样可以避免喷射, 并使熔体在型腔内流动时回补最小。否则制品容易产生表面缺陷, 并使性能劣化。

在可能的情况下流道以短粗为佳, 以圆流道效果最好。一般改性和未改性的 PBT 均可用普通流道, 但玻璃纤维增强 PBT 应用热流道成型才能有好的效果。

喷嘴孔一般要扩展成大于 1° 的锥形, 以防止脱模时拉断喷嘴凝料。

(2) 脱模斜度 未改性 PBT 的成型收缩率较大, 在 $1.7\% \sim 2.3\%$ 之间, 在设计模具时必须充分考虑脱模斜度, 最小脱模斜度应不低于 $40'$, 一般是在 $40' \sim 1^\circ 30'$

之间。

(3) 排气 PBT 的熔体粘度低, 流动性好, 在成型中易出现因排气不良而造成充模不佳、熔接痕明显、物料灼伤等问题, 因而在模具中需开设排气孔或槽。排气孔、槽的深度不可超过 0.025mm, 不然会造成溢边。

(4) 模具的冷却 模具的冷却很重要, 要很好地设计模具的冷却腔道以减小制品的弯曲。热量的散失一定要快而均匀, 建议模具冷却腔道的直径最小为 10mm。

(5) 其他 PBT 模具还需设置控温装置, 模具最高温度不能超过 100℃。成型阻燃级的 PBT 时, 模具表面要镀铬、镀镍或进行氮化之类的防腐处理。

5. 原材料处理

PBT 在吸湿状态下受热时, 酯键会发生水解, 从而使树脂降解, 尽管其吸水率一般只有 0.2% ~ 0.3%, 但高温下的允许含水率约为 0.03%, 所以树脂在成型前必须进行干燥。若用鼓风烘箱干燥, 当料层厚为 30mm 时, 推荐干燥条件为 130℃, 不少于 3h, 120℃ 时, 不少于 5h; 如果用吸湿干燥器干燥, 建议条件为 150℃, 2.5h。为了防止加料斗中已干燥合格的物料再吸收水分, 成型时宜用保温料斗, 在 80 ~ 100℃ 保温即可, 如无保温料斗, 推荐在料斗上方用红外灯烘烤, 以防止吸湿, 如无任何防潮措施, 干燥后在空气中停流不要超过 1.5h。

6. 注射成型工艺条件

(1) 机筒温度 PBT 的熔融温度为 220 ~ 275℃, 分解温度为 280℃, 最适宜的机筒温度为 230 ~ 270℃, 此温度范围内有良好的成型加工性能。温度低于 230℃, 物料不能充分熔融, 缺乏流动性; 高于 270℃, 容易使物料发生热老化现象, 从而使制品的韧性下降, 但色泽不会发生明显变化。阻燃级 PBT 的机筒温度应比普通 PBT 低 10 ~ 20℃, 玻璃纤维增强 PBT 控制在 230 ~ 260℃ (视玻璃纤维含量不同, 稍有变化, 玻璃纤维含量高时, 加工温度要适当提高, 但不宜超过 260℃)。喷嘴温度应低于机筒前段温度 5 ~ 10℃。

(2) 模具温度 PBT 易于结晶, 即使在常温下结晶也很快, 故模具温度不需要太高, 未增强 PBT 控制在 60℃ 左右, 增强 PBT 控制在 80℃ 左右, 最高模具温度不超过 100℃。模具各部位的温度差不超过 10℃, 如果成型尺寸精密的制品, 模具温度的波动幅度不应大于 4℃, 否则不仅影响注射充模, 而且还会影响制品的尺寸稳定性。

(3) 注射压力 PBT 熔体粘度低, 流动性好, 适宜采用中等程度的注射压力, 一般为 50 ~ 100MPa, 玻璃纤维增强 PBT 为 80 ~ 100MPa。注射压力随厚度的增大而增大, 但不能超过 100MPa, 否则易使制品出现溢边, 增加制品的脱模难度或损伤模具。

(4) 保压压力 保压压力为注射压力的 1/2 ~ 2/3。

(5) 塑化压力 塑化压力一般为注射压力的 10% ~ 15%。

(6) 螺杆转速 螺杆转速不宜超过 80r/min，一般在 25 ~ 60r/min 之间。

(7) 注射速度 PBT 的结晶速度相当快，要求注射速率要高，以免熔体表面冻结，使远离浇口处出现熔接线或开裂。

(8) 成型周期 一般情况下为 15 ~ 60s，依制品壁厚和形状大小而定。

PBT 注射成型工艺条件见表 4-46，增强 PBT 典型制品的注射成型工艺条件见表 4-47。

表 4-46 PBT 注射成型工艺条件

工 艺 条 件	国产 PBT	日本 TORAY 公司 PBT
粒料干燥条件	130℃，3 ~ 4h 或 120℃，4 ~ 5h	130℃，3 ~ 4h 或 120℃，4 ~ 5h
制品厚度/mm	—	3
机筒温度/℃		
输送段	210 ~ 230	240
压缩段	220 ~ 250	250
均化段	220 ~ 250	250
喷嘴温度/℃	220 ~ 240	250
模具温度/℃	30 ~ 80	40
注射压力/MPa	60 ~ 100	85
成型周期/s		30
注射	10	—
冷却	15	—
总周期	30	—
螺杆转速/(r/min)	—	40

表 4-47 增强 PBT 典型制品的注射工艺条件

工 艺 条 件	线圈绕线管	回扫变压器	汽 车 零 件	照相机零件	外 壳
一次成型数量/个	4	1	2	4	1
制品总质量/g	30	40	40	10	300
机筒温度/℃					
输送段	180	180	200	235	215
压缩段	210	210	230	—	235
均化段	235	230	255	250	255
喷嘴温度/℃	230	235	240	255	240
注射压力/MPa	80	95	140	170	100
保压压力/MPa	40	—	80	40	70
螺杆转速/(r/min)	70	60	100	200	50
模具温度/℃	50	65	60	70	55
注射时间/s	8	3	10	10	30
冷却时间/s	15	20	30	10	40

7. 注意事项

(1) 开机与停机 在生产之前，除了将机筒温度加热至规定温度以外，还应将机筒内的剩料排空，换入新料才能进入正常生产。

在成型过程中，当需作短时间（一般指 30min 以内）停机时，应将机筒温度降至 200℃ 左右方可停机。停机时间超过 30min 时，应先将机筒内的熔融料排出，并用 HDPE 或 PP 顶出残存料。总之，在加工温度下，不能让 PBT（特别是阻燃品级的 PBT）在机筒中长时间停留，也不能有过热现象发生，否则 PBT 会降解，影响产品质量，甚至还会分解出腐蚀性气体，损坏机器和模具，若分解严重时，应拆机清洗。

(2) 再生料的使用 对于干净整洁、无变色和降解物质存在的且再生次数在 5 次以内的 PBT 再生料，可用于要求不高（即不承受高机械载荷）的制品中。当对制品质量有一定要求时，再生料可与新料混合后使用，再生料与新料之比应视不同情况控制在 25% ~ 75% 之间，再生料在使用之前应按要求进行干燥处理，混合料也应如此。

(3) 脱模剂的使用 PBT 的脱模性较好，对金属的粘附力不大，一般情况下无需脱模剂即可顺利脱模。对于形状复杂、脱模有困难的制品，可选用有机硅类的脱模剂，但用量应很小，否则会影响制品的表面质量。

(4) 制品后处理 一般情况下，PBT 制品无需后处理，只有对制品的尺寸稳定性有较高要求时，才作适当的后处理。后处理方法是在 120℃ 下处理 1 ~ 2h，然后缓慢冷却至室温。

8. PBT 注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决的方法（见表 4-48）

表 4-48 PBT 注射成型中的不良现象、产生原因及其解决方法

不良现象	产生原因及其解决方法				说 明
	原材料方面	注射机及成型工艺方面	模具设计方面	制品设计方面	
缩瘪	(1) 制品整体有缩瘪倾向				制品的某些部分发生缩瘪现象的原因： ① 模具型腔中残留空气 ② 采用多腔模具时因种种原因易发生部分型腔不能充填的现象 ③ 容易发生在远离浇口且壁厚的地方 ④ 是树脂的收缩所引起的，因为收缩性大的结晶型塑料易发生缩瘪
	改用流动性较好的材料	① 提高注射温度 ② 提高注射压力 ③ 加大从注射到保压的变换时间 ④ 提高保压压力 ⑤ 提高模具温度 ⑥ 调整喷嘴逆流阀	① 改变浇口设计 ② 缩短浇口长度 ③ 加大浇口截面尺寸 ④ 缩短流道长度 ⑤ 加宽流道 ⑥ 加大冷料井 ⑦ 模具衬套口要和注射机喷嘴配合完全	L/d 要适当 (L 为树脂流动长度, D 为制品壁厚)	
	(2) 使用多腔模具时部分型腔不能充填				
		加大注射速度	① 尽量使各分流动道长度相等 ② 把充填不足的型腔的浇口适当加大		

(续)

不良现象	产生原因及其解决方法				说 明	
	原材料方面	注射机及成型工艺方面	模具设计方面	制品设计方面		
缩瘪	(3) 制品的形状完整但某一特定的部分充填不足（一般和型腔内空气排出不良有关）					
	改用不易分解的材料	① 降低最后一级注射速度 ② 降低注射温度	① 改变浇口的位置 ② 加排气槽，在型腔侧开小于 0.02mm 的小槽，并将槽的外侧适当加大	在顶出杆上开斜口等	制品的某些部分发生缩瘪现象的原因： ① 模具型腔中残留空气 ② 采用多腔模具时因种种原因易发生部分型腔不能充填的现象 ③ 容易发生在远离浇口且壁厚的地方 ④ 是树脂的收缩所引起的，因为收缩性大的结晶型塑料易发生缩瘪	
	(4) 制品壁厚部分发生缩瘪					
	改用收缩率小的材料	① 提高注射压力 ② 增大后期保压压力 ③ 降低模具温度 ④ 降低注射温度	① 加大浇口截面尺寸 ② 缩短浇口长度 ③ 改变浇口位置 ④ 加宽流道 ⑤ 保证机筒喷嘴和模具配合完好	① 减小筋、突出部分的厚度 ② 筋、突出部分拐角处用圆弧过渡 ③ 减少制品壁厚 ④ 在设计上考虑把筋等设计成非实心的 ⑤ 把表面设计成花纹以掩盖缩瘪		
	(5) 壁厚一定的部分发生波纹状的缩瘪					
		① 加大缓冲量 ② 调整逆流阀				
焦痕	① 改用热稳定性好的材料 ② 不使用回收料	① 降低注射温度 ② 降低最后一级注射速度 ③ 降低注射压力	① 加大浇口截面尺寸 ② 缩短浇口长度 ③ 加排气槽	主要是模具型腔中残留气体所引起的		
黑条	① 改用热稳定性好的材料 ② 改用润滑性好的材料 ③ 不使用回收料	① 降低注射温度 ② 减少物料在注射机机筒中的滞留时间 ③ 改用较小规格的注射机	① 加大浇口截面尺寸 ② 缩短浇口长度	在浇口附近顺料流方向出现的黑色流线的现象，其原因： ① 树脂分解 ② 添加剂（阻燃剂）分解 ③ 因机筒螺杆表面有划伤引起物料的滞留		

(续)

不良现象	产生原因及其解决方法				说 明
	原材料方面	注射机及成型工艺方面	模具设计方面	制品设计方面	
表面无光泽	改用热稳定性好的材料	① 降低注射温度 ② 提高模具温度 ③ 减少滞留时间 ④ 不用脱模剂	进一步抛光模具，降低表面粗糙度		成型物表面光泽度较差的现象，其原因： ① 材料的分解 ② 脱模剂过量 ③ 模具型腔表面粗糙度太高
银纹	① 充分干燥物料 ② 改用热稳定性好的材料	① 使用保温料斗 ② 降低注射温度 ③ 减少滞留时间	① 加大浇口截面尺寸 ② 缩短浇口长度 ③ 加排气槽		成型物表面沿料流方向出现银白色的流线现象，其原因： ① 原料中有水分 ② 原料分解

4.2.5 聚对苯二甲酸乙二醇酯的注射成型

聚对苯二甲酸乙二（醇）酯，又称聚酯，英文名称 Polyethylene terephthalate，简称 PET 或 PETP。它是对苯二甲酸与乙二醇的缩聚物，目前使用最多的是玻璃纤维增强型的 PET 材料（GFPET），主要用于注射成型瓶坯。PET 与 PBT 一起被统称为热塑性聚酯。

1. 工艺特性

PET 是典型的结晶聚合物，透明度高（为 86%），有明显的熔点，为 255 ~ 265℃，易吸水水解，成型前需干燥，热变形温度低，成型温度高且成型温度范围窄（260 ~ 300℃），故工艺性差，但熔体流动性好，往往在喷嘴中要加防流延装置。注射成型的制品力学强度不高，必须通过拉伸工序或改性才能改善性能。压力对 PET 粘度的影响比温度要大，因此主要从压力着手来改变熔体的流动性。成型收缩率比较大，一般为 1.8%，尺寸稳定性差、性脆、制品中易残留内应力，成型后需后处理。

2. 对成型设备的要求

螺杆式注射机或柱塞式注射机均可使用，前者使用较多，对于长纤维增强的 PET，因粒料中纤维呈束状分布，与树脂混合不够好，只能用螺杆式注射机成型。螺杆选用顶部带有止逆环的突变形螺杆，表面硬度大而且耐磨损，长径比 $L/D = (15 \sim 20) : 1$ ，压缩比约为 3 : 1。 L/D 太大，物料在机筒内停留时间过长，过度受热，易引起降解，影响制品性能。压缩比太小，剪切生热小，塑化不良，制品性能

差；压缩比太大会使玻璃纤维较多地断裂，力学性能下降。加工玻璃纤维增强 PET 时，机筒内壁磨损较严重，机筒要用耐磨材料制造或者衬以耐磨材料。

喷嘴以液压自锁式喷嘴为好，喷嘴孔的长度应尽可能短，内壁要光滑，孔径要尽可能大一些（控制在 3mm 左右）。增强 PET 的熔点高达 260℃，为防止喷嘴堵塞，应安装功率较大的加热器，但喷嘴温度也不可太高，否则造成流延。

3. 制品特点

制品外形应尽量设计得平滑而有规则，尽可能避免尖角，因 PET 对缺口非常敏感，成型时尖角处易出现应力集中，使承受载荷能力大大降低，在受力或冲击时易发生破裂，在平面与平面交接处应用圆弧过渡，且圆弧半径尽可能大，一般取制品厚度的 0.7~0.8 倍。

制品的壁厚一般应大于 2mm，太厚，不仅浪费原料，延长成型周期，而且使制品易出现缩孔、翘曲等缺陷；太薄，则不能充满型腔，且强度低。壁厚力求均匀，以防冷却和收缩不均而产生内应力。在比较大的平面处，应设加强筋以防制品弯曲变形，金属嵌件最好预热后再放入模具。

4. 模具结构

(1) 浇口和流道 熔融态的 PET 为假塑性流体，而且流动性好，所以可选用点浇口或潜伏式浇口，这两种浇口由于断面小，剪切作用大，有利于降低 PET 的表观粘度，便于成型。但浇口若太小，压力降增大，所以浇口以偏大些为好，尤其是玻璃纤维增强的 PET，浇口直径不应小于 1mm。浇口的数量应多一些，可采用多点浇口，以防由于玻璃纤维取向而使制品产生翘曲变形。在不发生喷射的前提下，浇口要开设在制品最厚处，可避免流动阻力大和冷却过快，保证能充满型腔。此外，浇口开设方位最好能正对着型腔壁或粗大的型芯，以提高制品质量，避免产生表面缺陷。

设计模具的流道时，要尽可能减小熔融塑料的压力降，避免采用较高的熔融温度。一般可采用普通流道，只是要求主流道的锥度大于 5°，以便清除凝料和便于脱模。流道要粗而短，以圆形流道为好。

模具中还应开设冷料井，避免因冷料进入型腔而影响制品质量。

(2) 脱模斜度 模具的脱模斜度应大于 1°，以便能顺利脱模。

(3) 排气 制品的熔接缝处应开设排气槽，以提高熔接强度，避免熔接缝表面轮廓不清，制品产生气孔等问题。排气槽深度一般不要超过 0.03mm，否则容易产生飞边。小型制品可直接利用分型面或导柱间隙排气。

(4) 收缩率 根据塑料在型腔中的流动情况，玻璃纤维增强 PET 的收缩率一般可在 0.4%~0.8% 范围内选取。如果公差要求比较高，可以用一副简单的样模进行实测。

(5) 其他 模具表面硬度要大，必须抛光。高温成型时，要求模具采用耐热钢材，模具的顶出杆、导柱、滑块等都要淬火处理。

准确控制模具温度是防止翘曲、变形的重要因素，因此建议采用热流道模具。

5. 原材料处理

由于 PET 大分子中含有酯基，具有一定的亲水性，物料在高温下对水比较敏感，当水分含量超过极限时，在加工过程中 PET 相对分子质量下降，制品带色、变脆。因此在加工前必须对物料进行干燥，使含水质量分数为 0.03% 以下。干燥温度为 140 ~ 180℃，干燥时间 3 ~ 4h。可用对空注射法检验材料是否完全干燥。

干燥好的物料可存放在 120℃ 的保温箱或料斗中，也可用红外灯照射保温，随用随取，最好采用连续干燥加料装置。无保温存放时不得超过 2h，否则应重新干燥。

6. 注射成型工艺条件

(1) 机筒温度 PET 成型温度范围窄，熔点 255 ~ 265℃，分解温度 290℃，所以机筒温度一般控制在 260 ~ 270℃，玻璃纤维增强的 PET 控制在 270 ~ 290℃，不得超过 300℃。温度过高，流延严重，制品溢边，颜色加深，力学强度下降，甚至引起降解；温度过低，则塑化不好，喷嘴容易堵塞，使制品出现缺料、凹陷、收缩不均和无光泽等缺陷。此外，为了避免树脂分解，物料在机筒内的停留时间应尽可能短。

喷嘴温度应控制在 260 ~ 280℃。太高，喷嘴易漏料，造成浪费；太低，会堵塞喷嘴，或带冷料入模，造成次品。

(2) 模具温度 模具温度由制品的厚度决定。厚度小于 2mm 的薄壁制品，可采用低模温 (50 ~ 70℃)，熔体受到急速冷却，制品表面为无定形结构，而内部为高结晶结构，制品外观一般，适宜于常温条件下使用。如果要在高温条件下使用，或对尺寸精度要求比较高，还需要进行后处理。当壁厚大于 2mm 时，可采用 140℃ 高模温，制得表面和内部均匀的高结晶态制品，制品外观好，力学强度高，适宜于外观、硬度、耐腐蚀要求高的制品。

(3) 注射压力 PET 熔体的流动性好，易于成型，可采用中等注射压力，一般为 40 ~ 100MPa。通常随玻璃纤维含量的增加，或随制品厚度的增大而增大，但不能超过 100MPa，否则将发生脱模困难，易损坏模具。

(4) 塑化压力 一般情况下塑化压力只需注射压力的 10% ~ 20%，但对玻璃纤维增强 PET，越低越好，一般不超过 0.3MPa，否则玻璃纤维断裂过多。

(5) 螺杆转速 加工玻璃纤维增强 PET，螺杆转速较低（最好小于 100r/min），以免损伤玻璃纤维而降低制品性能，还要防止因摩擦生热而使熔体温度过高。

(6) 注射速度 在不导致脆化的前提下可使用较高的注射速度，防止注射时过早凝固。但注射速度过高，剪切速率大，物料易碎。

(7) 成型周期 PET 成型周期比较短，一般为 20 ~ 100s。

(8) 滞留时间 物料在机筒内的滞留时间不要过长，以防止 PET 分解，相对

分子质量下降，尽量避免 300℃ 以上的温度。若停机少于 15min，只需作对空注射处理；若停机超过 15min，则要用 PE 的成型清洁，并把机筒温度降至 PE 的成型温度，直至再开机为止。

(9) 制品后处理 因制品中易残留有内应力，成型后最好要进行热处理，特别是低模温成型的制品和高温下使用或尺寸要求高的制品。热处理方法通常是在 130 ~ 140℃ 的鼓风烘箱内处理 1 ~ 2h，而且必须经过双向拉伸的工序，才能获得良好的力学性能。

玻璃纤维增强 PET 的注射成型工艺条件见表 4-49，表 4-50 为美国杜邦公司增强 PET（Rynite 530）的注射成型工艺。

表 4-49 玻璃纤维增强 PET 的注射成型工艺条件

工 艺 条 件	玻璃纤维（GF）含量		
	15%	30%	45%
干燥条件	153℃，3 ~ 4h	127 ~ 138℃，4 ~ 5h	153℃，3 ~ 4h
机筒温度/℃			
输送段	249 ~ 271	278 ~ 294	278 ~ 294
压缩段	260 ~ 277	289 ~ 300	289 ~ 300
均化段	271 ~ 288	289 ~ 300	289 ~ 300
喷嘴温度/℃	282 ~ 299	289 ~ 300	289 ~ 300
模具温度/℃	56 ~ 78	93 ~ 121	56 ~ 78
注射压力/MPa	—	70 ~ 100	—
塑化压力/MPa	<0. 34	<0. 34	<0. 34
螺杆转速/(r/min)	40 ~ 80	慢 - 中	40 ~ 80

表 4-50 美国杜邦公司增强 PET（Rynite 530）的注射成型工艺

工 艺 条 件	数 值	工 艺 条 件	数 值
机筒温度/℃		喷嘴温度/℃	260 ~ 300
输送段	265 ~ 293	模具温度/℃	85 ~ 120
压缩段	265 ~ 300	注射压力/MPa	56 ~ 80
均化段	260 ~ 300		

7. 注意事项

(1) 开机与停机 开始成型之前，用 HDPE 或回收 PET 料把机筒清洗干净，然后投入新料进行生产。如因设备故障、改换模具等原因需中断生产，不超过 1h 时，可先切断电源，让机筒温度保持在 240 ~ 250℃，排出机筒中的物料，并将螺杆停于机筒最前端；如超过 1h 或更换其他物料，则应用 HDPE 将 PET 顶出。若停留过久物料已经发黑，必须拆机清洗。

(2) 再生料的使用 回收料比例一般不要超过 25%，否则易在下料处“架桥”而影响塑化。再生料在使用之前应按要求进行干燥处理。

(3) 脱模剂的使用 PET 的脱模性较好, 对金属的粘附力不大, 一般情况下无需使用脱模剂即可顺利脱模。对于形状复杂、脱模有困难的制品, 可选用有机硅类的脱模剂, 但使用量应很小, 否则将会影响制品表面质量。

(4) 制品的透明性 如果模温控制不好或料温控制不当, 易产生“白雾”而不透明。模温低且均匀, 冷却速度快, 结晶少则制品透明。

8. PET 瓶坯注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决的方法 (见表 4-51)

表 4-51 PET 瓶坯注射成型中的不良现象、产生原因及其解决方法

不良现象	产生原因	解决方法
瓶坯底部发白	① 热流道温度不足 ② 料温不足	① 加强隔热措施 ② 调高发白处热嘴温度 ③ 适当提高料温 ④ 加快注射速度 ⑤ 降低保压压力 ⑥ 减慢冷却水流速
瓶坯不透明	① 原料干燥不足 ② 原料塑化不足 ③ 瓶坯壁厚过大或冷却不足 ④ 混入其他塑料 ⑤ 料温太低	① 必须保证原料在 165℃ 干燥至水分含量少于 0.02% ② 提高螺杆转速 ③ 加强冷却, 改薄壁厚 ④ 检查原材料, 必要时更换 ⑤ 升高料温
瓶坯由透明变不透明	脱膜温度太高	① 加大冷却水流量 ② 延长冷却时间 ③ 改变注射时间
瓶坯一侧有雾影	① 保压压力太高 ② 底模浇口孔偏心	① 降低保压压力 ② 修正模具
瓶坯有银纹或发黄	物料分解	① 降低干燥温度, 延长干燥时间 ② 调整注射速度 ③ 降低料温 ④ 降低热嘴温度
瓶坯有气泡	干燥不足	① 加强干燥 ② 增加料温 ③ 降低螺杆转速
瓶坯内有不规则环槽	水汽冷凝在型芯或型腔	① 加强车间干燥 ② 提高冷却水温 ③ 擦干模具
瓶坯在浇口部拉裂	① 热流道口与浇口不同心 ② 浇口倒扣 ③ 浇口区太热	① 修正模具 ② 修正浇口 ③ 延长冷却时间 ④ 增加注射速度或注射时间 ⑤ 加强浇口隔热

(续)

不良现象	产生原因	解决方法
瓶坯口未 满注或有熔 接纹	① 排气不良 ② 注射偏心	① 加大排气槽 ② 清洗唇模 ③ 减低注射速度 ④ 修正模具底模浇口孔
瓶坯一边 厚一边薄	① 模具制造不良 ② 浇口孔偏位 ③ 注射压力过高 ④ 型芯移位	① 修正模具 ② 修正模具浇口孔 ③ 调低压力 ④ 采用高强度高精度和型芯可调整结构的模具
瓶坯表面 凹陷	① 料温太高 ② 注射速度太快 ③ 保压时间太短 ④ 注射时间太短 ⑤ 冷却不足	① 降低料温 ② 降低注射速度 ③ 增加保压时间 ④ 增加注射时间 ⑤ 增加冷却水压
瓶坯浇口 拉丝	① 隔热不良 ② 冷却不足 ③ 螺杆止逆不良 ④ 保压压力太低	① 保证浇口部隔热良好 ② 加大冷却水流量 ③ 清理螺杆头 ④ 增加保压压力
瓶坯脱膜 后弯曲	① 浇口孔偏心 ② 冷却不均匀	① 修正模具 ② 降低保压 ③ 增加注射速度 ④ 延长冷却时间 ⑤ 清理冷却水道 ⑥ 加大冷却水压、水量

4.2.6 聚苯醚和改性聚苯醚的注射成型

聚苯醚化学名称为聚 2, 6-二甲基 - 1, 4-苯醚, 英文名称为 Polyphenylene oxide, 简称 PPO。日本为了有别于美国的 PPO, 称为 PPE (Polyphenylene ether)。PPO 为白色颗粒, 密度 1.07g/cm³, 综合性能良好, 具有优良的物理力学性能, 热变形温度高 (190℃), 耐热性好, 可在 120℃ 蒸汽中使用。PPO 无毒、透明, 具有化学稳定性好, 蠕变性小, 耐老化, 不易燃烧和耐水性好等优点, 因此应用广泛, 但有应力开裂倾向, 改性聚苯醚可消除应力开裂。

改性聚苯醚 (Modified polyphenylene oxide) 简称 MPPO, 或称 MPPE (Modified polyphenylene ether) 主要是由苯乙烯树脂与 PPO 共混或共聚而成。MPPO 保留了 PPO 的大部分优点, 虽然在耐热性方面有所降低, 但改善了成型加工性, 降低了成本。因此改性聚苯醚的发展十分迅速。

1. 工艺特性

(1) 热学性能 聚苯醚为非结晶型塑料, 无明显熔点, 具有较高的耐热性, 玻璃化转变温度高达 211℃, 熔融温度高于 260℃, 热变形温度高达 190℃

(1.86MPa), 马丁耐热为 160℃, 分解温度在 350℃ 以上, 脆化温度为 -170℃。改性聚苯醚的耐热性能比聚苯醚的稍低, 在 1.86MPa 载荷下的热变形温度为 130℃, 连续耐热温度为 93℃。聚苯醚的成型温度为 280 ~ 330℃, 改性聚苯醚的成型温度为 260 ~ 285℃。

(2) 熔体特性 聚苯醚粘度大, 熔融流动性差, 故必须采用很高的加工温度 (315℃), 这样使得加工困难, 能耗过大。聚苯醚的热变形温度高, 在熔融状态下熔体的流变行为接近牛顿型流体, 即粘度对温度比较敏感。改性聚苯醚的熔体粘度明显降低, 改善了加工性能。

(3) 稳定性 聚苯醚的分解温度约为 350℃, 但在 300℃ 以上时间稍长就会出现分解交联现象; 聚苯醚热氧老化性能差, 在空气中超过 200℃ 就开始氧化降解, 在氧存在下, 高于 105℃ 时会逐渐交联。改性聚苯醚虽然成型温度可低些, 热氧稳定性也好, 但成型温度或时间控制不当, 仍会使物料具有交联倾向, 因此须严格控制成型工艺。

(4) 成型收缩率 聚苯醚的成型收缩率低而且恒定, 仅为 0.6% ~ 0.8%, 改性聚苯醚的成型收缩率为 0.2% ~ 0.7%, 可获得尺寸精密的制品, 很少发生脱模问题。但由于成型收缩较小, 熔体冷却速率快, 应注意选择合适的模具和工艺, 以防制品中产生较大的内应力。

(5) 吸湿性 聚苯醚和改性聚苯醚的吸湿性都很小, 23℃ 吸水率 (24h) 聚苯醚为 0.06%, 改性聚苯醚为 0.07%。对于外观要求不高的制品, 可以不经预干燥即可注射成型, 但树脂经熔融造粒, 浸水冷却或是包装不严, 都可能使树脂吸附微量水分, 特别是粉状 PPO 树脂质轻, 表面积大, 更易吸收微量水分, 致使加工后的制品产生表面起泡等不光滑现象, 最好干燥后再加工, 对于精密度要求高的制品更是如此。

2. 对成型设备的要求

虽然柱塞式和螺杆式注射机都可用于成型聚苯醚, 但从塑化效果、熔体流动、注射阻力和受热时间等方面考虑, 还是采用螺杆式注射机更好。螺杆选用带止逆环的渐变压缩型, 长径比大于 15 : 1, 压缩比为 (1.7 ~ 4.0) : 1, 通常采用 (2.5 ~ 3.5) : 1。喷嘴宜选择可加热的通用延长型, 孔径至少大于 4mm。制品的耗料量 (包括浇口、流道等) 应控制在设备一次最大注射量的 50% ~ 70%。物料流经部位不允许有任何可供物料滞留的现象存在。为保证制品尺寸精度, 要求设备具有较高的锁模力, 即每平方厘米应为 45 ~ 75MPa。机筒的温控系统可在 400℃ 以下自由选择并稳定工作。

3. 制品特点

由于熔体的流动性较差, 且凝固速度快, 所以改性聚苯醚制品的壁厚不宜太薄, 最少不应低于 1.2mm, 通常根据制品的大小及复杂程度可在 1.5 ~ 6mm 之间选择。由于制品中易形成内应力, 同时制品的缺口强度较差, 对冲击敏感, 在制品设

计时须注意避免壁厚相差过大，并且不允许锐角和缺口的存在。

4. 模具结构

(1) 流道与浇口 为使熔体能迅速充满型腔，流道与浇口应短而粗。通常浇口的深度约为制品壁厚的 $3/4$ 左右，而平直部分的长度应不超过 2.5mm 。

(2) 脱模斜度 聚苯醚的成型收缩率较小，熔体流动方向与垂直方向上的差别不大，制品的脱模斜度可在 $0.5^\circ \sim 1^\circ$ 之间选择，以免脱模困难。对于深孔制品，脱模斜度应略大些，可在 $1^\circ \sim 2^\circ$ 间选取。当制品上有装饰纹或字母时，除了将装饰纹或字母尽可能设计在脱模方向上外，还应考虑增加脱模斜度。通常字母或装饰纹每深 0.025mm ，斜度就应增加 1° 。

(3) 顶出装置 除了要求有适当的顶出面积外，还要求顶出分布均匀，顶出过程平稳，以免制品在脱模过程中受力不均，或使制品的内应力增加。

5. 原材料处理

聚苯醚的吸水率较小为 0.06% ，改性聚苯醚的吸水率为 0.07% ，成型前不需干燥，但对于包装较差或对制品要求较高时，在成型前应进行干燥处理。干燥条件为聚苯醚在 110°C 左右干燥 2h ，料层厚度 50mm ；改性聚苯醚在 $120 \sim 140^\circ\text{C}$ 干燥 $2 \sim 4\text{h}$ ，料层厚度 $25 \sim 40\text{mm}$ 。在干燥时，应注意干燥的温度和时间，当时间超过 8h ，或温度超过 150°C 时都会影响物料性能。

6. 注射成型工艺条件

(1) 机筒温度 机筒温度按制品的不同特点和大小控制在 $280 \sim 330^\circ\text{C}$ 范围内，当一次注射量为机筒容量的 $20\% \sim 50\%$ 时，机筒温度高达 330°C 也不会降解，但不应超过 330°C ，否则会降低制品的性能。机筒温度不应低于 280°C ，否则容易产生较高的模内应力。改性聚苯醚由于熔体流动性要好得多，成型中无须很高的温度，一般在 280°C 以下即能满足大部分制品的成型要求。

(2) 模具温度 较高的模具温度有利于改善熔体的充模性，防止熔体过早冷凝，减少制品中的内应力，提高制品表面质量，并可适当降低机筒温度或注射压力。对聚苯醚而言，模具温度可选 $110 \sim 150^\circ\text{C}$ ，但不应超过 150°C ，否则容易起泡并延长成型周期。对改性聚苯醚而言，因苯乙烯的存在，其模具温度大都控制在 $65 \sim 85^\circ\text{C}$ 之间，只有少数品级可达 100°C 左右，以免造成制品翘曲变形、成型周期延长等问题。

(3) 注射压力 聚苯醚和改性聚苯醚的熔体粘度大，流动性差，成型时需要较高的注射压力以帮助克服流动时的阻力，除少数品级可望在 80MPa 下成型外，一般都在 100MPa 左右。由于注射压力的提高，不可避免地增加了制品中的内应力，并给制品的脱模带来不便，故要求在成型中对注射压力应酌情而定。

(4) 保压压力 保压压力通常取注射压力的 $1/2 \sim 2/3$ 已足够，为了减少制品中的内应力，一般取较低值，但不宜小于 50MPa 。

(5) 成型周期 由于聚苯醚具有熔体冷却速度快，热变形温度高，不易变形

等特点，成型中一般无须很长的成型周期。成型周期通常与制品的壁厚有关，壁厚越厚，成型周期也就越长（见表 4-52）。在制品脱模不发生变形的前提下，成型周期应越短越好。

表 4-52 聚苯醚注射成型工艺条件

工 艺 条 件	数 值	工 艺 条 件	数 值
机筒温度/℃		注射压力/MPa	80 ~ 140
输送段	288 ~ 315	成型周期/s	
压缩段	315 ~ 330	厚度 3mm 以下	20 ~ 30
均化段	315 ~ 330	厚度 3 ~ 6mm	30 ~ 60
喷嘴温度/℃	310 ~ 320	厚度 6mm 以上	> 60
模具温度/℃	100 ~ 150		

聚苯醚的注射成型工艺条件见表 4-52。上海市合成树脂研究所不同牌号改性聚苯醚的注射成型工艺条件见表 4-53。美国通用电气公司不同牌号改性聚苯醚（Noryl）注射成型工艺条件见表 4-54。

表 4-53 上海市合成树脂研究所改性聚苯醚注射成型工艺条件

工 艺 条 件	M-85 M-185	M-115	M-140 M-130 M-120	MW-60-GF20 M-120-GF20 (20% 玻璃纤维增强)
干燥条件	70 ~ 80℃，2 ~ 3h	90 ~ 100℃，2 ~ 3h	90 ~ 110℃，2 ~ 3h	90 ~ 110℃，2 ~ 3h
机筒温度/℃				
输送段	230	240	240	250
压缩段	240	250	250	260
均化段	250	260	260	270 ~ 280
喷嘴温度/℃	250	260	260	270 ~ 280
模具温度/℃	50 ~ 70	50 ~ 70	50 ~ 70	50 ~ 70
注射压力/MPa	50 ~ 70	50 ~ 70	50 ~ 70	50 ~ 70

表 4-54 美国通用电气公司 Noryl 注射成型工艺条件

工 艺 条 件	SEIJ731	S - E1007	GFN ₂ SEI-GFN ₂ J	GFN ₃ SEI-GFN ₃ J
机筒温度/℃				
输送段	260	240	275	290
压缩段	280	265	290	300
均化段	280	270	290	300
喷嘴温度/℃	280	230	290	300
模具温度/℃	90	80	100	100
注射压力/MPa	126	126	140	140
注射速度	一般	一般	一般	一般
螺杆转速/(r/min)	73	73	73	73
成型周期/s	33	30	30	30

7. 注意事项

(1) 清洗机筒 当机筒内存留有其他物料时, 应根据残留料对温度的敏感性分别采用不同的清洗法。当机筒内为 PA、PC、PP 等物料时, 可用 PPO 或 MPPO 直接清洗, 如为 PVC、POM 或其他易受热分解的热敏性物料时, 则必须用 PS 或 PE 先将这些物料替换出来, 然后在 PPO 或 MPPO 的加工温度下, 用 PPO 或 MPPO 清洗机筒后方可进行加工。

在正常加工中, 物料出现变色、降解、交联的倾向时应及时降低温度, 并将机筒内物料立即排空, 然后用 PS、PE 等物料清洗机筒, 待工艺调整后再投入新料进行加工, 当然如若采取拆洗法则更好。

(2) 停机 当成型过程必须中断时, 应根据停机时间的长短, 采取不同的措施。当停机时间在 15min 以内时, 可以保持正常的加工温度; 如停机时间超过 15min 时, 机筒温度必须降至 200℃ 以下; 如停机时间达 2h, 机筒温度必须降低至 100℃ 以下; 如果停机时间超过 2h, 则必须用 PS 清洗机筒。

(3) 脱模剂的使用 PPO 和 MPPO 的脱模性良好, 很少发生粘模现象, 一般不用脱模剂, 如果制品脱模确有困难, 则可选用少量硬脂酸锌以帮助脱模。

(4) 再生料的利用 聚苯醚的废料能反复加工, 一般重复三次其物理、力学性能没有明显的降低。再生料的加入量不宜过多, 一般不超过总量的 25%, 在使用之前必须按规定进行干燥处理。

(5) 制品后处理 聚苯醚制品中易残留内应力, 特别是带有金属嵌件的制品, 内应力更大。为防止制品在使用过程中发生应力开裂, 对所得制品应进行后处理, 处理方法是在其热变形温度以下 10℃ 进行, 处理时间视制品的壁厚在 1 ~ 4h 内选择, 然后缓慢冷却至室温。

8. 聚苯醚注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决的方法 (见表 4-55)

表 4-55 聚苯醚注射成型的不良现象、产生原因及其解决方法

不良现象	产生原因	解决方法
浇口脱层	① 熔体温度太低 ② 浇口太小 ③ 浇口位置设置不合理 ④ 注射速度太快 ⑤ 模具温度太低	① 适当提高机筒温度 ② 适当放大浇口截面 ③ 将浇口移至适当位置 ④ 适当减慢注射速度 ⑤ 适当提高模具温度
脉冲波动	① 熔体温度过低 ② 注射速度太快 ③ 浇口太小	① 提高机筒温度 ② 降低注射速度 ③ 放大浇口
分层脱皮	① 原料内混入杂质或其他树脂 ② 模具温度过低	① 清洗机筒, 更换原料 ② 提高模具温度
熔接痕	① 熔体温度太低 ② 注射速度太慢 ③ 模具温度太低	① 提高料温 ② 加快注射速度 ③ 提高模具温度

(续)

不良现象	产生原因	解决方法
焦烧	① 熔体温度太高 ② 摩擦（剪切热）引起焦烧 ③ 模具排气不良	① 适当降低机筒及喷嘴温度 ② 加大浇口尺寸，并适当减慢充模速率 ③ 提高模具的排气性能，增加排气孔
塌坑（缩瘪）	① 注射压力太低 ② 模具温度太低或太高 ③ 熔体温度太高	① 提高注射压力 ② 调节模具温度 ③ 降低机筒温度
银丝纹	① 熔体温度太高 ② 在浇口部位摩擦焦烧产生银丝 ③ 原料中易挥发物含量太高 ④ 原料中水分含量太高	① 适当降低机筒温度 ② 放大浇口截面尺寸 ③ 增加排气孔，提高模具的排气性能 ④ 对原料进行预干燥处理
充模不足	① 熔体温度太低 ② 模具温度太低 ③ 注射压力太低 ④ 流道或浇口太小 ⑤ 注射速度太快 ⑥ 注射时间太短 ⑦ 喷嘴堵塞 ⑧ 制品质量超过注射机的最大注射量	① 提高机筒温度 ② 提高模具温度 ③ 提高注射压力 ④ 放大流道及浇口 ⑤ 减慢注射速度 ⑥ 延长注射时间 ⑦ 清洗喷嘴 ⑧ 采用两次加料法或在多型腔模具情况下堵塞一个型腔，也可换用较大规格的注射机
气泡、空洞	① 注射压力太低 ② 模具内空气及易挥发物排出不良 ③ 模具温度太低 ④ 熔体温度过高 ⑤ 制品壁厚差异悬殊	① 提高注射压力或放大浇口 ② 设置排气孔，改善模具的排气性能 ③ 提高模具温度 ④ 降低机筒温度 ⑤ 薄壁和厚壁间应平滑过渡
溢边	① 物料温度太高 ② 锁模力过低	① 降低机筒温度 ② 提高锁模力
条纹、黑斑	① 如果条纹和黑斑形式一样，是由于设备被污染 ② 如果条纹和黑斑形式不一样，是由于物料被污染	① 清洗机筒 ② 换用纯净的原料

4.2.7 聚苯硫醚的注射成型

聚苯硫醚全称为聚亚苯基硫醚，英文名称 Polyphenylene sulfide，简称 PPS，它是一种结晶型聚合物，分为交联型和直链型，日本还将交联型的交联程度细分为交联型和半交联型。PPS 的熔点为 285℃，热变形温度在 260℃ 以上，热分解温度为 430℃，连续使用温度高达 200 ~ 240℃，是耐热性极佳的特种工程塑料。PPS 的熔体流动速率大，成型加工性能好，即使在苛刻的环境下，也具有接近金属的力学强度及稳定的刚性，在高温下具有很好的尺寸稳定性与耐化学药品性。PPS 树脂本身具有很好的阻燃性，无需添加任何阻燃剂即可达到 UL94 V-0 和 SE-0（无滴落）

级,且燃烧过程中发烟量很低。PPS 经玻璃纤维或碳纤维增强后,力学强度和刚性成倍增加,并且具有极好的耐蠕变性和抗疲劳性;经复合改性后,还可获得摩擦磨损性能卓越的自润滑材料。PPS 一般以增强方式向市场提供,纯的 PPS 树脂一般不用于注射成型。

1. 工艺特性

(1) 结晶性 PPS 是结晶型树脂,结晶度的大小对制品的成型收缩率和其他性能(如耐热水性、耐候性、冲击强度、长期热变形温度、表面硬度等)有着直接的影响,因此在成型时应按照制品的性能准确地控制模具温度,以控制其结晶度(可使尺寸再现性好,凹陷及翘曲现象消失,冲击强度增大),获得比较完美的制品。

(2) 热稳定性 PPS 热稳定性好,玻璃化转变温度为 85°C ,热变形温度在 260°C 以上,熔点为 285°C ,注射成型温度为 $290 \sim 340^{\circ}\text{C}$ 。在 $400 \sim 500^{\circ}\text{C}$ 热空气中仍稳定,交联后可耐 600°C 高温,可在 350°C 以上长期使用。

(3) 成型收缩率 PPS 成型收缩率小,吸水率低,线胀系数小,故即使在高温、高湿条件下也显示出优异的尺寸稳定性。

(4) 流动性 PPS 树脂的熔体粘度小,流动性好,易成型加工。

2. 对成型设备的要求

一般来说,用于工程塑料的 PPS 添加有玻璃纤维或无机填料,因此大多选用螺杆式注射机进行加工。设备的加热能力应能达到 $350 \sim 400^{\circ}\text{C}$,但要选用专门为玻璃纤维增强工程塑料设计的螺杆和机筒,即主要是选用特制的耐腐蚀、耐磨损的螺杆和机筒(因为玻璃纤维增强 PPS 与机筒、螺杆的磨损大),例如螺杆表面镀硬铬、喷涂或堆焊耐磨或耐磨耐蚀兼有的硬质合金。至于喷嘴,最好使用防流延的敞开式喷嘴,喷嘴的加热圈要保证能够单独控制(以便灵活调整)。螺杆为带止逆环通用型,长径比为 $(18 \sim 24):1$ 。注射量应是机筒容量的 $30\% \sim 80\%$,当在较高的熔融温度下加工时,注射量要为机筒容量的 $60\% \sim 80\%$,以减少滞留时间,避免材料降解。

3. 制品特点

制品的壁厚一般在 0.8mm 以上。由于 PPS 是结晶型树脂,制品的角及壁厚变化部位易产生应力集中,在这些部位易发生开裂、尺寸变化、强度(冲击强度)下降,因此设计时要注意对这些部位采用圆弧过渡,并尽量使壁厚均匀。在适当的部位设置加强筋,可增加制品的强度、刚性,消除残余应力,提高树脂流动性。加强筋厚度为制品壁厚的一半。增加加强筋数目要比增加加强筋的高度、厚度更加有效。

4. 模具结构

(1) 浇口与流道 可采用针点式浇口和通道式浇口,针点式浇口最小直径为 0.6mm ,大多数情况下为 $0.8 \sim 1.2\text{mm}$ 。流道形状宜选用圆形或梯形,同时开设冷料井。对于玻璃纤维增强 PPS,取向会引起制品尺寸变化以及因熔接痕所造成的强度降低,故必须在设计模具时考虑浇口的形状及位置。浇口和流道的表面粗糙度要求较低,否则易造成脱模困难。

(2) 脱模斜度 标准脱模斜度为 $1^{\circ} \sim 2^{\circ}$ ，若尺寸精度要求很高，可采用 $0.25^{\circ} \sim 0.5^{\circ}$ 。

(3) 排气 如果 PPS 制品内有气泡将使其性能明显地下降，而且由于排气不良所导致的焦烧现象，易使制品部分变色和表面粗糙，因此为了得到良好的制品，必须设置排气槽，排气槽的深度为 $0.015 \sim 0.02 \text{ mm}$ ，宽度为 2 mm 。

(4) 成型收缩率 PPS 成型时的结晶度随模具温度而变化，因此成型收缩率也随模具温度而变化。其流动方向的收缩率与垂直流动方向的收缩率也有差异，通常流动方向的收缩率为 $0.1\% \sim 0.3\%$ ，垂直流动方向的收缩率为 $0.4\% \sim 0.8\%$ 。同时还应考虑退火对制品尺寸变化的影响。

(4) 模具温度控制 由于模具被加热至 130°C ，通常采用电热棒式加热器，也可以采用固定的和移动的模板式加热器。为防止模具散热损失，在模具两外侧加装石棉板隔热。

(5) 模具材料 由于增强 PPS 是由玻璃纤维及其他助剂填充制得，因此模具必须具有耐磨性，同时由于 PPS 在注射成型时会产生少量的腐蚀性气体，所以必须选用具有耐磨及耐腐蚀的模具材料。为延长模具使用寿命，需要对其进行表面处理。若选用不锈钢制造模具，则可以提高使用寿命。

5. 原材料处理

尽管 PPS 具有较低的吸水率（仅为 $0.05\% \sim 0.07\%$ ），但为了减少喷嘴漏料和出现银丝及气泡，应将粒料充分干燥。对于线性 PPS，采用鼓风干燥机在 $120 \sim 140^{\circ}\text{C}$ 条件下干燥 $3 \sim 4 \text{ h}$ ，料层厚度为 30 mm ，最好不要超过 50 mm ；对彩色的 PPS 工程塑料，为确保稳定的色彩，应在 105°C 以下干燥 $3 \sim 5 \text{ h}$ ，为保证制品外观，干燥时间还可以再长一些；对增强的交联型 PPS，可在 $149 \sim 177^{\circ}\text{C}$ 条件下干燥 $2 \sim 3 \text{ h}$ 。延长干燥时间，对材料性能影响不大，但干燥温度不能超过 260°C 。采用真空烘箱和其他除湿式烘箱干燥时，温度和时间可适当降低和减少。

6. 注射成型工艺条件

(1) 机筒温度 机筒温度一般为 $290 \sim 340^{\circ}\text{C}$ ，随材料品种和制品结构的不同而有所变化。对于线型 PPS，适合的加工温度为 $300 \sim 310^{\circ}\text{C}$ ；对于交联型 PPS，适合的加工温度为 $315 \sim 343^{\circ}\text{C}$ ；对大多数制品，适宜的加工温度为 $315 \sim 327^{\circ}\text{C}$ 。增强 PPS 比纯 PPS 的料温高，薄壁制品比厚壁制品的料温高。成型大制品时，生产周期变长，熔体在机筒内的滞留时间也随着延长，而在高温中滞留过久，会出现制品的颜色呈浅黑色，且熔体的流动性降低等现象，但对制品性能没有太大的影响。通常对于大制品的成型，宜采用较低的机筒温度，而小制品的成型则采用较高的机筒温度。

(2) 模具温度 模具温度影响制品的结晶度，应根据制品要求的特性确定其结晶度，从而确定模具温度，一般不得低于 130°C ，至少也要在 120°C 以上。随着模具温度的提高，PPS 从无定形结构变成高度结晶的材料，材料的热变形温度提高，拉伸强度升高，而弯曲强度、冲击强度降低；制品的颜色随模具温度的升高而

变暗，但表面光滑度提高；制品的收缩率也随模具温度的提高而增大。推荐的模具温度为 120 ~ 160℃。

(3) 注射压力 在加工温度下，PPS 的流动性很好，注射压力一般保持在 30 ~ 100MPa 即可。但最好采用高压快速注射，因为 PPS 的熔点高，在注入型腔时，若不以高压快速方式充满型腔，PPS 极易在流动过程中因接触冷的模具而迅速冷却凝固，无法充满模腔或造成表面异常粗糙，组织疏松。高压注射能保证制品的密实性，特别是对薄壁复杂的制品，更应采用高压注射（100 ~ 130MPa）。另外，注射压力的大小还受注射机、制品本身结构的复杂程度、模具结构和温度等因素的影响，因而应通过试压后确定。

(4) 保压压力 为降低制品的内应力，特别是交联型 PPS，应在保证制品注满的前提下，尽量降低保压压力，以降低制品应力开裂发生的几率。

(5) 塑化压力 为了准确计量，塑化压力应保持在 1.0MPa 左右，对于干燥不好和稳定性较差的物料，应采取 2.0 ~ 3.0MPa 的塑化压力。

(6) 注射速度 注射速率不同，制品的表面光泽度也就不一样。注射速率越快，表面光泽度越好，但容易发生翘曲、焦烧现象，对此必须加以注意，一般使用中等注射速率。在同等加工温度条件下，高速注射可以提高材料的拉伸强度。

(7) 螺杆转速 螺杆转速保持在 40 ~ 100r/min 比较合适。高转速易使 PPS 生热，产生分解，而且对纤维增强材料易使纤维断裂，降低材料的力学性能。

(8) 注射周期 根据制品的大小和复杂程度，注射周期一般为几十秒。成型 PPS 厚壁制品时，通常为提高结晶度，必须延长冷却时间，一般为 60 ~ 90s；成型薄壁制品时，即使采用多腔模具，每一生产周期 10 ~ 30s 就已足够。实际操作中根据所用材料的牌号和制品的要求进行调整。

(9) 嵌件预热 为提高 PPS 与嵌件的结合力，应先将嵌件预热，一般预热温度与模具温度基本相同，也为 120 ~ 160℃。

表 4-56 为交联型增强 PPS 和线型增强 PPS 的典型注射工艺。

表 4-56 交联型增强 PPS 和线型增强 PPS 的典型注射工艺

工 艺 条 件	交联型增强 PPS	线型增强 PPS
预干燥	140℃ × 3h	140℃ × 3h
机筒温度/℃		
1 段（靠近料斗）	290 ~ 300	290 ~ 300
2 段	300 ~ 310	300
3 段	310 ~ 320	310
4 段（靠近喷嘴）	310 ~ 320	310
喷嘴温度/℃	320 ~ 330	310 ~ 320
模具温度/℃	135	150
注射压力/MPa	70 ~ 120	39 ~ 69
塑化压力/MPa	< 5	< 5
螺杆转速/(r/min)	慢 - 中速（40 ~ 70）	慢 - 中速（40 ~ 70）

7. 注意事项

(1) 材料在机筒中的滞留时间 线型 PPS 即使在机筒内长时间滞留，其粘度也不会发生很大的变化，但交联型 PPS 在机筒中的滞留时间最好不要超过 15min，以防材料在机筒中发生分解。

(2) 停机 当成型过程必须中断时，要将机筒温度降到 280℃ 以下，在重新进料或驱动螺杆之前，再加热机筒温度至 300℃ 以上，必要时要对机筒内的树脂进行清洗。成型完成后，首先用玻璃纤维增强 PC 清洗机筒，再用 PE 树脂清洗机筒，其次可选择对玻璃纤维增强 PC 或 PE 进行再次清洗，也可用专用的机筒清洗剂进行清洗。

(3) 回料的使用 PPS 具有很好的稳定性，可以多次重复使用。经试验证实 PPS 经过六次反复注射后，其力学性能仍然很好，同时依旧保持良好的阻燃防火性能。为保证制品的质量，回料用量一般不得超过 25%。在将浇口、流道料进行粉碎回用时，应注意防止混入异杂物，需经过清洁和烘干处理。

(4) 制品后处理 为了消除 PPS 制品的内部残余应力，提高尺寸稳定性及与嵌件的结合力，应将制品进行退火处理。退火条件依制品的厚度而定，一般为 200 ~ 240℃，2 ~ 4h。对低模温成型的制品，退火温度相应降低。

(5) 超声波焊接 PPS 制品能在高温下使用，但在高温下使用却没有有效的粘剂，因此 PPS 制品多采用超声波焊接。用超声波焊接 PPS 制品时，如发频器压力及振幅过低，会造成焊接不良，如过高则会产生裂纹，特别要注意熔接痕及应力集中部位。在制品上应设计有能量引导位、分散接点、粒状接点，以获得最佳的熔接效果。

超声波焊接工艺：压力 3 ~ 10MPa，振幅 20 ~ 60μm，焊接时间 0.5 ~ 2.0s。低模温成型的制品比高模温成型的制品焊接性能好。

(6) 其他 只要遵守操作守则，增强 PPS 成型不会发生危险，但在达到一定温度后会发生分解反应。若操作工房没有正常的通风条件，分解产生的气体将不利于工作人员的健康。为防止热分解，消除有毒气体，防止机筒内压力增大，熔化温度必须控制在 360℃ 以内。

操作人员必须戴上护目镜（尤其在清洗机筒时），在放置模具时戴上手套。若成型操作中中断，退回注射系统有助于防止熔体结块。

8. 聚苯硫醚注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决的方法（见表 4-57）

表 4-57 聚苯硫醚注射成型的不良现象、产生原因及其解决方法

不良现象	产生原因	解决方法
填充不良	① 注射压力不足	① 提高注射压力
	② 注射速度慢	② 加快注射速度
	③ 树脂温度低	③ 提高机筒温度
	④ 浇口过小	④ 扩大浇口尺寸或缩短浇口、流道长度
	⑤ 排气不良	⑤ 在未充填部位加排气孔（长 2 ~ 4mm，深 0.015 ~ 0.02mm）

(续)

不良现象	产生原因	解决方法
凹陷及气孔	① 成型品密度不足 ② 树脂产生气体过多 ③ 物料及模具温度太高 ④ 壁过厚，热收缩过大	① 增加注射量，提高注射压力，延长注射时间 ② 充分干燥物料（140 ~ 170℃，2 ~ 4h） ③ 降低机筒及模具温度 ④ 减小制品壁厚，并使壁厚均匀
表面状态不良无光泽	① 成型品密度不足 ② 模具温度低 ③ 充填速度慢 ④ 排气不好	① 增加注射量，提高注射压力，延长注射时间 ② 提高模具温度 ③ 提高注射速度 ④ 充分排气

4.2.8 聚砜类塑料的注射成型

聚砜类树脂是指含有砜基和芳核的一类耐高温、高强度的热塑性工程塑料。按结构形式，可将聚砜分为三类：第一类为聚砜（Polysulfone），简称 PSF 或 PSU，由 4，4'-二氯二苯砜和双酚 A 为原料缩聚而得；第二类为聚醚砜（Polyethersulfone），简称 PES，由除双酚 A 外的双酚和二氯二苯砜或由 A-B 型单体 4-氯-4'-羟基二苯砜制得；第三类为聚芳砜（Polyarylsulfone），简称 PAS，它的主链上不带醚键。目前广泛应用的主要是前两类聚砜树脂。

双酚 A 聚砜具有较好的综合性能，热变形温度为 170℃，长期使用温度为 150℃，且易于加工成型。

聚醚砜也具有优良的耐热性，热变形温度为 210℃，长期使用温度为 180 ~ 200℃，且可用普通注射机加工成型。

聚芳砜具有特殊的耐热性，热变形温度为 270℃，长期使用温度为 240 ~ 260℃，但是由于其分子结构中含有联苯链节，故流动性差，加工困难。

双酚 A 聚砜可制作高强度、耐高温和尺寸稳定的机械零件；聚醚砜可制作高强度的机械零件和耐摩擦零件；聚芳砜适用于耐高低温的电气绝缘件和耐高温高压的机械零件。

1. 工艺特性

(1) 结晶性 聚砜属于非结晶型聚合物，无明显熔点。其玻璃化温度 (T_g) 为 190℃，成型温度在 280℃ 以上，所得的制品呈透明性。

(2) 熔体特性 聚砜的成型特点与 PC 相似，熔体的流动特性接近于牛顿型流体，聚合物的熔体粘度对温度比较敏感，当熔体温度超过 330℃ 时，每提高 30℃，熔体粘度下降达 50%。

(3) 流动性 尽管聚砜的熔体粘度对温度敏感，但其粘度仍然很高，成型过程中流动性较差；另外，熔体的冷却速度较快，分子链又呈刚性，因此成型中所产

生的内应力难以消除,导致制品产生变形、开裂等问题。

(4) 吸水性 聚砒的分子结构中无亲水基团,吸水性较小,24h 的吸水率为 0.2% (质量分数,下同) 左右,平衡吸水率为 0.6%,但在成型过程中,微量水分的存在,会因高温及负荷作用导致熔体水解,因此在成型加工之前,原材料必须进行干燥。

(5) 充模特性 过高的注射速度会使聚砒熔体出现熔体破裂,限制了充模速率,造成充模困难。

(6) 成型收缩率 成型收缩率较小为 0.4% ~0.8%。

2. 对成型设备的要求

虽然柱塞式注射机可以加工聚砒,但与螺杆式注射机相比,不及后者理想,因为后者的塑化温度要比前者低,塑化效果好,同时注射时的压力损耗也较小,所以大都选用螺杆式注射机。一般小制品也可用柱塞式注射机。

所选用的螺杆形式为单头、全螺纹、等距、低压缩比、压缩渐变型螺杆,长径比为 (14 ~20): 1。

喷嘴应选用配有加热控温装置的延伸式喷嘴,喷嘴孔径大于 5mm,由于熔体粘度大,不会产生流延。

为满足聚砒成型加工的要求,机筒温度的控制装置应具有在较高温度区域内能自由选择调节,并能稳定工作的性能,温度要求在 400℃ 左右。

由于聚砒的熔体粘度较高,为减轻螺杆转动负荷,要求设备具备低挡调速装置,可在 15 ~45r/min 之间进行无级调速。

3. 制品特点

聚砒熔体流动性较差,熔体流动长度与壁厚之比仅为 80 左右,为使成型顺利进行,需选用合适的制品壁厚,不宜太薄,以免制品充填不足。通常聚砒制品的壁厚不低于 1.5mm,大多为 2 ~5mm。

聚砒制品对缺口较为敏感,直角和锐角的存在易形成应力集中,使制品的强度下降,因此要求对这些部位采用圆弧过渡 (R 为 0.5 ~1.0)。

4. 模具结构

(1) 浇口与流道 浇口应视制品而定,直接式、圆片式、扁平式、扇形等形式的浇口均可采用,但尺寸应尽可能大些,如侧向浇口的截面厚度宜取制品厚度的 $1/2 \sim 2/3$ 。浇口的平直部分应尽可能短些,长度可控制在 0.5 ~1.0mm 之间。进料口的位置须设在制品的厚壁处。

为了有利于熔体流动,减少热量散失,要求模具的主流道短而粗,直径至少为制品厚度的 $1/2$ 以上,并具有 $3^\circ \sim 5^\circ$ 的斜度,分流道截面最好采用圆形或梯形,避免弯道的存在。

(2) 脱模斜度 聚砒的成型收缩率比较稳定,为 0.4% ~0.8%,熔体流动方向与垂流方向上的收缩基本一致。为有利于制品脱模,减少脱模过程中产生应

力，脱模斜度取 50 : 1。

(3) 排气 聚砜制品特别是薄壁制品，在成型中需要较高的注射压力和较快的注射速率，为使型腔内的空气得以及时排出，要设置良好的排气孔或槽，排气孔或槽的深度应控制在 0.08mm 以下，以免造成溢边。

(4) 模具温度的设置 模具温度的设置应有利于改善 PSF 熔体充模时的流动性，一般是用电加热的办法进行控制的，控温范围可达 140℃ 以上（至少在 120℃ 以上），在设置时须考虑加热功率。

(5) 其他 为防止因温度控制不当而造成的冷料头堵塞浇口或进入模具型腔，影响制品表现，在主流道末端须设置足够的冷料井，以便及时捕集冷料头。为得到表面光洁明亮的制品，要求模具型腔的表面粗糙度应在 $Ra0.8\mu m$ 以下。

5. 原材料处理

注射成型用的聚砜大多为透明略带琥珀色的颗粒料，虽然吸湿性很小，水分不会渗透到物料的内部，但如果贮存不当，在相对湿度较高的环境下露置过久，会使颗粒表面吸附水分，而这些微量水分的存在会给制品的外观及性能带来一定的影响，制品上出现银丝、气泡等现象（见表 4-58），制品的冲击强度下降，制品在高温载荷作用下出现应力开裂。因此聚砜在成型前要进行干燥处理，将其含水质量分数控制在 0.05% 以下，干燥工艺参数见表 4-59。

表 4-58 含水量与熔体、制品外观的关系

含水质量分数 (%)	0.010	0.050	0.125	0.175
对空注射料的表现 制品外观	透明、无泡 平整无银丝	透明、无泡 平整无银丝	透明、无泡 平整无银丝	发泡严重，有银丝 平整无泡、有银丝

表 4-59 聚砜的干燥工艺

干燥方法	干燥温度/℃	干燥时间/h	料层厚度/mm
热风循环干燥	120 ~ 140	4 ~ 6	20
负压沸腾干燥	130	0.5 ~ 1	—

经过干燥处理的树脂颗粒，为防止重新吸湿，可在 90 ~ 110℃ 的温度下保温保存，随用随取。

6. 注射成型工艺条件

(1) 机筒温度 提高温度有利于降低熔体的粘度，但过高的温度不仅使许多性能（如冲击强度）下降，而且使塑料变色分解。通常 PSF 熔体在 400℃ 左右分解，但在实际操作中，机筒温度达 320℃ 以上就出现分解。当温度越过 360℃ 时，分解明显。影响 PSF 机筒温度设定的因素很多，但主要因素是熔体粘度与制品壁厚。当壁厚在 5mm 以下时，机筒温度可达到 300℃ 以上，有些级别的 PSF 可达到

320℃以上，特殊级别的 PSF 可达到 350℃以上。当制品壁厚在 5mm 以上时，温度应控制在 280 ~ 300℃之间。

(2) 模具温度 由于 PSF 的 T_g 高达 190℃，因此可采用较高的模具温度，但最高不超过 160℃。模具温度的选择常以制品的厚薄而异，制品壁厚在 2 ~ 5mm 时，模具温度可控制在 110 ~ 120℃之间；当壁厚超过 5mm 或在 2mm 以下时，模具温度可高达 140 ~ 150℃。

(3) 注射压力 尽管 PSF 熔体粘度对剪切速率敏感，但由于熔体的流动性较差，必须采用较高的注射压力。较高的注射压力可使制品的密度增加，成型收缩率降低，但对模具提出了较高的要求。一般选择 100MPa 以上，有时也可达 140MPa。

(4) 注射速率 通常，提高注射速率有利于熔体的充模，但对 PSF 来说，由于冷却速率较快，如果注射速率控制不当，也会引起熔体破裂现象。因此除制品壁厚在 2mm 左右时，因物料充模有困难需较高的充模速率外，一般采用中-低速为宜。

(5) 螺杆转速 由于 PSF 的熔体粘度较高，因此要求螺杆转速略低为好，一般在 15 ~ 45 r/min 为宜。

(6) 成型周期 PSF 在正常的加工温度下热稳定性较好，在 320℃下可以在机筒内滞留较长的时间，因此，成型周期的设置仅从生产效率角度考虑。

聚砜类塑料的注射成型工艺条件见表 4-60。

表 4-60 聚砜类塑料的注射成型工艺条件

工 艺 条 件	聚 砜	聚 醚 砜	聚 芳 砜
树脂干燥	沸腾烘箱: 130℃, 1h 或 鼓 风 烘 箱: 120 ~ 140℃, 10h 以上	150 ~ 160℃, 3h	150℃, 10 ~ 16h; 或 205℃, 6h; 或 260℃, 3h
机筒温度/℃			
输送段	280 ~ 300	300 ~ 330	320 ~ 370
压缩段	300 ~ 330	—	345 ~ 385
均化段	290 ~ 310	330 ~ 360	385 ~ 420
喷嘴温度/℃	270 ~ 300	330 ~ 360	380 ~ 410
模具温度/℃	100 ~ 120	140 ~ 160	230 ~ 260
注射压力/MPa	117 ~ 135	70 ~ 150	140 ~ 280
保压压力/MPa	30 ~ 100	50 ~ 100	—
塑化压力/MPa	5 ~ 20	5 ~ 10	—
螺杆转速/(r/min)	50 ~ 100	50 ~ 60	—
注射速度	—	中速 - 高速	—
成型周期/s	50 ~ 140	30 ~ 80	30 ~ 50

7. 注意事项

(1) 机筒清洗 聚砜的成型温度较高，如果机筒内存留有其他物料特别是热敏性塑料时，在成型中这些物料将会过热分解，为此，要求在成型之前必须将机筒清洗干净。

当机筒内所存物料的加工温度与聚砜的加工温度相近，热稳定性又较好时，如 PC 等，可用直接清洗法，将聚砜直接加入机筒内，一边清洗，一边将机筒温度升至所需加工温度。在清洗前应将螺杆转速和背压调低些，以免设备负荷过大。

当机筒内所存物料为热敏性树脂时（如 PVC、POM 等），如无拆卸机筒的可能，那就在此类物料的加工温度下，先用清洗剂或其他树脂（PS、PE、PP 等）将这些热敏性树脂清洗干净，然后升温至 240℃ 以上用 PC 清洗机筒，最后升温至 270℃ 以上用聚砜将 PC 清洗出来。温度达到预定要求后，可用对空注射的方法检验确无杂料存在即可正常加工。

(2) 金属嵌件预热 在制品中尽量少用金属嵌件，若的确需要使用嵌件时，必须在成型前对嵌件进行预热，以防嵌件周围产生应力集中。通常嵌件的预热温度为 200℃ 左右。

(3) 脱模剂的使用 为保证制品的透明性，在成型时应尽量少用或不用脱模剂，必要时须用氟塑料系列耐高温脱模剂。

(4) 制品的后处理 为减少聚砜制品的残留应力，可对制品进行热处理。热处理条件为 150℃，5h 或者 160℃，3h。

8. 聚砜类塑料注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决的方法（见表 4-61）

表 4-61 聚砜类塑料注射成型中常见的不良现象、产生原因及解决的方法

不良现象	产生原因	解决方法
凹痕	① 模具温度过高 ② 注射和保压时间太短 ③ 注射压力太小 ④ 熔体温度过高	① 适当降低模具温度 ② 适当延长注射及保压时间 ③ 适当提高注射压力 ④ 适当降低机筒温度
表面杂质	① 机筒温度过高，物料分解 ② 间断生产，物料在机筒中停留时间过长，造成分解，继续生产时未清除干净 ③ 物料在干燥过程中，混进杂质，或盛放原料的器具不干净	① 适当降低机筒温度 ② 及时清洗机筒 ③ 净化原料和盛放原料的器具
银丝气泡	① 物料未充分干燥，水分含量过大 ② 料温过高，塑料分解 ③ 模具排气不良 ④ 注射速度过快	① 进行预干燥处理 ② 适当降低机筒温度 ③ 增加排气孔或排气沟槽，改善模具的排气性能 ④ 适当减慢注射速度

(续)

不良现象	产生原因	解决方法
表面划伤 或崩落	① 模具型腔的表面粗糙度大 ② 机械加工碰伤 ③ 在转换工序的运输过程中碰伤	① 降低模具型腔的表面粗糙度 ② 注意保护制品表面 ③ 使用合理的运输工具及堆放器具

4.2.9 聚醚醚酮的注射成型

聚醚醚酮，英文名称 Polyetheretherketone，简称 PEEK，是在主链结构中含有一个酮键和两个醚键的重复单元所构成的高聚物，属新型特种工程塑料。PEEK 具有耐高温、耐化学药品腐蚀等物理化学性能，是一类结晶高分子材料，熔点 334℃，软化点 168℃，分解温度 560℃，拉伸强度 132 ~ 148MPa，长期使用温度在 240℃ 以上，玻璃纤维增强的品级高达 300℃，被称为超耐热性热塑性树脂，可用作耐高温结构材料和电绝缘材料，可与玻璃纤维或碳纤维复合制备增强材料。

1. 工艺特性

虽然 PEEK 的熔点高达 334℃，比一般热塑性塑料要高得多，但其熔体粘度却和 PC、PVC 类似。当温度 400℃，剪切速率 1000s⁻¹ 时，熔体粘度在 150 ~ 450Pa · s 之间，可用一般热塑性塑料成型设备和加工方法加工，因此具有理想的成型性能，即使是形状复杂的大型制品也可以用适当的成型设备直接成型。PEEK 的分解温度达 560℃，在 360 ~ 400℃ 温度范围内加工熔体是很稳定的，且熔体流动性对剪切速度的依赖性较大，升高注射压力对成型有利，注射成型品不需要后处理。

2. 对成型设备的要求

聚醚醚酮的注射成型，用普通的注射机就可满足要求，但成型大型、薄壁及复杂制品，则应选用高长径比（>20）和短压缩段的螺杆。当然，对模具设计及成型工艺条件也需作相应的调整。

（1）螺杆类型 通用型和尼龙型螺杆均适用于 PEEK 加工，如图 4-2 所示。推荐的最佳长径比为（18 ~ 24）：1，一般要求加料区较长，以防未熔融的塑料颗粒在压缩区内发生压实作用。螺杆压缩比在 2：1 ~ 3：1 之间。螺杆顶端装有止回阀以确保完整并持续的注射压力和保压压力。止回环内径与螺杆尖端外径之间的间隙为 3mm，让熔体在螺杆上不受限制地向前移动。

（2）喷嘴类型 PEEK 宜用敞口式

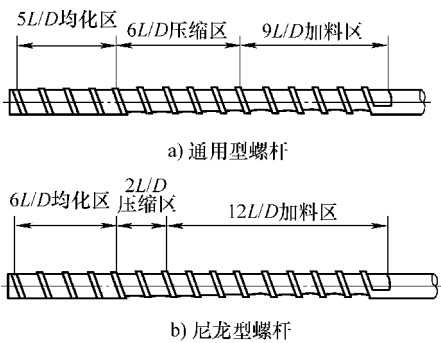


图 4-2 推荐用于 PEEK 聚合物加工的螺杆形式

喷嘴，并不推荐用启闭式喷嘴，因为后者有熔体流动死角并降低注射压力。敞口喷嘴上要装有功率足够大的加热器，并控制在 360℃ 以上，以防熔体在喷嘴处固化。如加工过程中喷嘴发生流延现象，可采用螺杆回缩使熔体减压。

3. 制品特点

设计 PEEK 制品时，纯 PEEK 制品壁厚不宜小于 1mm，增强 PEEK 制品壁厚不应低于 1.5mm。PEEK 薄壁制品注射成型成败的关键取决于熔体温度、制品形状以及注射压力等因素。

4. 模具结构

(1) 浇口与流道 除潜伏式（或隧道式）浇口以外，大多数浇口皆适合于 PEEK 制品。浇口尺寸尽可能大些，避免截面细而长，浇口直径或厚度为 1~2mm。

主流道直径至少为 4mm，且越短越好，这样的主流道有助于熔体注满壁薄、流程长的复杂制品。分流道以圆形或梯形为佳，且截面厚度较大，熔体的流长越短越好，尽量避免改变流动方向。

(2) 脱模斜度 为便于制品脱模，主流道斜度至少为 2°，并与 Z 型、逆斜型、环型冷料井和主流道拉料杆相结合。

5. 原材料处理

PEEK 的吸湿率约为 0.5%，为保证制品质量，成型前，原材料必须进行干燥处理，将含水量降至 0.1% 以下。干燥条件：在 150℃ 干燥 3h 或 160℃ 干燥 2h，原料厚度不超过 25mm。

6. 注射成型工艺条件

(1) 机筒温度 PEEK 的成型加工温度范围为 370~410℃，注射机机筒上的电加热器必须能加热到 400℃ 以上，为正确而顺利地加料，机筒加料区入口处要通水冷却，将温度维持在 70~100℃ 之间，喷嘴温度控制在 360℃ 以上。

(2) 模具温度 PEEK 是结晶型高分子聚合物，结晶速度最大时的结晶温度是 250℃，这是在注射成型时确定最佳模具温度的一个很重要的参数指标。对瞬间结晶的 PEEK 的注射成型来讲，模具温度一般在 160~200℃（碳纤维增强 PEEK 为 220℃），在此温度下，熔体具有良好的充模特性以及制品形成较高的结晶度。如果模具温度定在 150℃ 以下，一方面不利于 PEEK 熔体迅速充满模具，另一方面成型制品就会因为模具过冷而形成一个透明状的非晶层，这是由于成型品的表面急冷，表面没有达到结晶过程所需的温度和时间所引起的现象。这种制品如果不在 200℃ 以上进行结晶化处理，则其耐化学药品性和耐磨性较差。

(3) 机筒容量 PEEK 加工温度很高，所以塑料停滞在机筒内的时间越短越好。实际上，机筒容量是包括主、分流道在内的总注射量的 2~5 倍。如果必须在大容量注射机上加工小部件，则机筒温度必须比建议的温度降低 10~20℃。

(4) 注射压力 PEEK 制品所要求的注射压力因情况而异，但注射压力很少超过 120MPa。纯 PEEK 的注射压力为 50~80MPa；玻璃纤维或碳纤维增强的 PEEK，

注射压力为 65 ~ 125MPa。壁薄、流程长的制品要比壁厚、流程短的制品要求更高的注射压力。

(5) 保压压力 保压压力为 40 ~ 100MPa。

(6) 塑化压力 为保证熔体的均匀性和注射量的一致性，塑化压力为 2 ~ 5MPa。

(7) 螺杆转速 纯 PEEK 最适合的螺杆速度在 50 ~ 100r/min 之间，低于 50r/min 时成型周期加长，高于 100r/min 可能引起局部剪切过热。加工玻璃纤维增强 PEEK 时，为防止纤维过度切断，推荐的螺杆转速为 50 ~ 60r/min。

每台注射机的最佳工艺条件由众多可变工艺因素而定，表 4-62 为推荐的 PEEK 注射成型工艺。

表 4-62 PEEK 注射成型工艺

工 艺 条 件	PEEK 等级		
	450G	450GL30	450CA30
机筒温度/℃			
后段	355	360	365
中段	365	365	380
前段	370	370	390
喷嘴温度/℃	375	375	395
模具温度/℃	160 ~ 180	180 ~ 200	220
注射压力/MPa	50 ~ 80	70 ~ 140	70 ~ 140
螺杆转速/(r/min)	50 ~ 100	50 ~ 60	50 ~ 60
压缩比	3	2 ~ 3	2
成型收缩率 (%)	1.1	0.2 ~ 1.4	0.05 ~ 1.4

注：450G 为未增强颗粒，通用级，用于挤出及注射成型；450GL30 为纤维增强颗粒，通用级，30% 玻璃纤维增强，用于注射及挤出；450CA30 标准粘度，30% 碳纤维增强，注射级。

7. 注意事项

(1) 机筒清洗 PEEK 应在干净的设备中加工，最好是将机筒和螺杆拆下清洗，否则可用在 380℃ 温度下稳定的塑料如聚醚砜 PES、聚醚酰亚胺 PEI、低熔体流动速率的 PP 或 HDPE 清洗。

(2) 回料利用 PEEK 回料只要不混入油污、杂质、其他塑料就可以反复使用。回料使用比例对纯聚合物为 30%（质量分数，下同），对增强或填充复合物为 15 %。

(3) 制品后处理 PEEK 是结晶型塑料，只有在成型时使其充分结晶化，才能得到具有优良性能的制品。当模具温度为 150 ~ 160℃ 时，制品是不透明和高结晶型的，但表层可能是透明和低结晶型的；而在 180℃ 的模具温度下，则能得到具有较高结晶型的制品。如果在成型过程中不能采用较高的模具温度，则应对制品进行后处理，以提高其结晶度并抑制在高温下或在消除内应力时发生的尺寸变化。后处理程序和工艺条件如下：

制品在 150℃ 至少保温 3h，然后每小时升温 10℃ 达到平衡温度 200℃（为提高和稳定结晶度）~250℃（为消除应力和稳定尺寸）。保温时间视制品厚度而定，通常在 4h 以上，然后让制品每小时降温 10℃，一直降至 140℃ 时，关掉烘箱电源，让制品自然冷却至室温。

(4) 其他 由于 PEEK 的熔体稳定性好，为充满难以充满的模具型腔，可能要超过规定机筒温度 50℃ 左右才能达到要求，在此情况下要尽可能缩短熔体在机筒内的停滞时间。

4.2.10 聚酰亚胺的注射成型

聚酰亚胺，英文名称 Polyimide，简称 PI。聚酰亚胺作为特种工程材料，已广泛应用在航空、航天、微电子、纳米、液晶、分离膜、激光等领域。近年来，各国都开始将聚酰亚胺的研究、开发和利用列入 21 世纪最有希望的工程塑料之一。

聚酰亚胺树脂可分为热固性和热塑性两大类。热固性聚酰亚胺通常不溶不熔，加工性能很差，一般都是在聚酰胺酸阶段制备预成型体（如涂膜、浸渍纤维等），然后进行固化（酰亚胺化），使其应用受到很大限制。热塑性聚酰亚胺一般是指可熔的线形聚酰亚胺，改善了加工性能，可以采用常规塑料成型工艺制备各种零部件，应用价值比较高，但其热变形温度低于 300℃，使用温度不超过 250℃。应注意的是，很多线形聚酰亚胺即使加热到分解，也没有流动性能，甚至不会出现明显的软化，这是由聚酰亚胺分子结构的特点决定的。这类线形聚酰亚胺往往归热固性聚酰亚胺。

目前，可用于注射成型的商品化的热塑性聚酰亚胺主要有以下几种。

1. 双醚酞型聚酰亚胺

双醚酞型聚酰亚胺是可溶性聚酰亚胺的一种，由醚酞与芳香二胺合成，它具有良好的综合性能，可在 -250 ~ 230℃ 内长期使用，电绝缘性、耐磨性、耐辐照性能较好。注射成型工艺条件为：机筒温度 350 ~ 370℃；注射压力 > 100MPa；模具温度 160 ~ 200℃。

2. 顺酞型聚酰亚胺

顺酞型可溶性聚酰亚胺是可溶可熔性树脂，成型加工性能好，具有优良的耐热性，制品可在 230℃ 连续使用一年以上，268℃ 连续使用 3 个月。耐化学稳定性好，耐水性优良。注射成型可使用长径比为 20 : 1 的螺杆式注射机，机筒温度控制在 246 ~ 316℃。

3. Aurum 热塑性聚酰亚胺

日本三井东压公司于 20 世纪 80 年代末开发出一种热塑性聚酰亚胺，商品名为 Aurum，是目前已商品化的、 T_g （250℃）最高的可注射成型的热塑性聚酰亚胺，其熔体流动性和注射成型工艺条件见表 4-63 和表 4-64。

表 4-63 Aurum 的熔体流动性能

等 级	类 型	熔体粘度/MPa·s	熔体流动速率/(g/10min)
400	高流动性	3000 ~ 4000	12.0 ~ 18.0
450	标准型	6000	4.5 ~ 7.5
500	低流动性	10000	2.5 ~ 4.5

注：熔体粘度和熔体流动速率均在 400℃ 条件下测得。

表 4-64 Aurum 注射成型工艺条件

注射机型号		ARBURG-A220H (φ18)		MEIKI M70A II SDM (φ28)	
树脂类型		未填充级 (450)		增强级 (450/CF30)	
成型品	名称	IC 插座	线圈架	φ62 齿轮	φ79 嵌芯齿轮
	质量/g	13	2 (0.5×4 片)	13	210 (树脂 25)
机筒温度/℃					
后段		380	380	380	390
中段		390	390	390	400
前段		400	400	410	420
喷嘴温度/℃		400	410	420	420
模具温度/℃		180	180	210	210
注射压力/MPa		107	140	150	170
注射速率		中速	高速	中速	中速
注射（保压）时间/s		5 (5)	5 (5)	4 (4)	4 (4)
冷却时间/s		13	13	50	30
螺杆转速/(r/min)		200	200	140	140

4. GCPI™热塑性聚酰亚胺

GCPI™热塑性聚酰亚胺是常州市广成新型塑料有限公司研制开发的一种高性能工程塑料，不仅具有优异的耐热、耐腐蚀、耐辐射等性能，还具有很好的力学性能和可加工性能，可采用挤出、注射、模压、喷涂、发泡等方法成型。其中纯注射料 GCPI™-J1CG 的注射成型工艺条件见表 4-65。

表 4-65 GCPI™-J1CG 注射成型工艺条件

工 艺 条 件	数 值	工 艺 条 件	数 值
树脂干燥	150℃，4h	注射压力/MPa	70 ~ 100
机筒温度/℃		注射速度	中速
后段	330 ~ 340	注射时间/s	3 ~ 10
前段	335 ~ 345	冷却时间/s	10 ~ 60
模具温度/℃	常温		

5. 改性聚酰亚胺

(1) 聚醚酰亚胺 (PEI) 聚醚酰亚胺是可溶性聚酰亚胺的一种，外观为琥珀色透明（或半透明）树脂，具有优良的综合性能，它既保留了聚酰亚胺的各种优异性能，又具有一般热塑性塑料的加工性能，而且价格低廉，适于制备薄壁制品和结构复杂的制品。

具有代表性的聚醚酰亚胺是美国通用电气公司 (GE) 的产品，商品牌号为 Ultem，可用注射、挤出以及挤出吹塑等方法成型，未增强树脂的注射成型工艺参数见表 4-66。由于 Ultem 中含有双酚 A 残基，耐溶剂性较差， T_g 仅为 217°C ，使用温度仅为 $150 \sim 180^{\circ}\text{C}$ ，是作为工程塑料使用的聚酰亚胺中使用温度最低的品种。但是与传统聚酰亚胺相比，突出的加工性能和低廉的价格使其具有较大的市场竞争力。

表 4-66 Ultem1000 注射成型工艺参数

工 艺 条 件	数 值	工 艺 条 件	数 值
树脂干燥	150°C ，4 ~ 6h	注射压力/MPa	70 ~ 130
允许最大湿度 (%)	0.02	保压压力/MPa	50 ~ 100
机筒温度/ $^{\circ}\text{C}$		塑化压力/MPa	0.4 ~ 3.0
后段	310 ~ 325	螺杆转速/(r/min)	40 ~ 70
中段	315 ~ 395	注射量 (%)	40 ~ 60
前段	320 ~ 405	长径比	(16 ~ 24) : 1
喷嘴温度/ $^{\circ}\text{C}$	325 ~ 400	压缩比	(1.5 ~ 3.0) : 1
熔体温度/ $^{\circ}\text{C}$	350 ~ 400	成型收缩率 (%)	0.5 ~ 0.7
模具温度/ $^{\circ}\text{C}$	135 ~ 165		

(2) 聚酰胺酰亚胺 (PAI) 聚酰胺酰亚胺是最早开发的聚酰亚胺改性品种，具有优良的柔韧性、耐磨性、耐碱性和加工性，且成本较低，长期使用温度为 220°C 。美国 Amoco 公司于 1964 年制得聚酰胺酰亚胺树脂，商品名为 Torlon。可注射、模压、挤出成型，三种成型方法各有优缺点，注射成型适用于制备结构精细，数量较多的小型制品，制品厚度不大于 15.9mm。Torlon 的注射成型工艺参数见表 4-67。

表 4-67 Torlon 注射成型工艺参数

工 艺 条 件	数 值
树脂干燥	120°C ，24h 或 177°C ，小于 16h
机筒温度/ $^{\circ}\text{C}$	
后段	304
中段	327
前段	343
喷嘴温度/ $^{\circ}\text{C}$	370
模具温度/ $^{\circ}\text{C}$	163 ~ 190

(续)

工 艺 条 件	数 值
初始注射压力/MPa	41 ~ 55
初始注射时间/s	3 ~ 9
保压压力/MPa	21 ~ 34
塑化压力/MPa	7. 0
注射速度	高速
螺杆转速/(r/min)	50 ~ 100

在目前已经商业化的热塑性聚酰亚胺中，Ultem 最容易加工，在 360 ~ 380℃ 就可以注射成型；其他商品如 Aurum 则需要更高的温度。开发新型热塑性聚酰亚胺的主要目标是既要提高其熔体流动性和热稳定性，从而提高加工性能，又要保持聚酰亚胺的各种优异性能，使其具有使用温度更高，加工成型更容易，原料来源广泛，成本更低等特点。

第5章 热固性塑料的注射成型

热固性塑料是指树脂在加工过程中发生化学变化，分子结构从加工前的线型结构转变为网状结构，经过成型后再重新加热也不能熔融流动的一类聚合物。

传统的热固性塑料主要采用压缩模塑（压塑）法和传递模塑法成型。1910 ~ 1960 年，热固性塑料制品一直用压塑工艺加工。压塑成型工艺操作复杂，成型周期长，生产效率低，模具易损坏，易出废品，质量不稳定，是强体力的手工操作，成本高。20 世纪 60 年代后，美国针对压塑工艺所存在的问题，首创了热固性塑料注射工艺，1963 年即投入生产，在此基础上发展的热固性无流道注射工艺及无流道注压工艺的应用，更促进了热固性塑料注射成型的发展。

5.1 热固性塑料注射成型设备

5.1.1 热固性塑料注射机

热固性塑料注射机是生产热固性塑料制品的专用成型设备，其成型原理是将热固性注射料加入机筒内，通过对机筒的外加热和螺杆旋转时的摩擦热对物料进行加热，在温度为 90℃ 左右的机筒内先进行预热塑化，使树脂发生物理变化和缓慢的化学变化而呈稠胶状，产生流动性，然后用螺杆或柱塞在 120 ~ 240MPa 的高压下，将稠胶状的熔融料通过喷嘴注入模具的型腔，在高温（模具温度 170 ~ 180℃）高压下进行化学反应，经过一段时间的保压后，固化成型，打开模具取出制品。热固性塑料注射成型伴随着物理变化和化学变化，并且是不可逆的。

热固性塑料注射机是在热塑性塑料注射机的基础上发展起来的，在结构上有很多相同之处，它们的主要差别在注射系统和合模系统上。

1. 注射系统

热固性塑料注射机的注射系统主要由喷嘴、螺杆、机筒等组成，如图 5-1 所示。

（1）喷嘴 由于物料在机筒中的粘度较大，喷嘴采用通用敞开式喷嘴，孔径不小于 3mm，一般为 4 ~ 8mm，不需加热。喷嘴内表面要光滑并且便于拆卸，以防止物料因阻滞而引起固化，也便于发现硬化物时能及时打开进行清理。

（2）机筒 为了便于清理，常将机筒的前端做成两段——前机筒和后机筒（主机筒），并采用可拆性连接。机筒内表面的粗糙度比螺杆略高，以避免物料在机筒内残留。由于热固性塑料在注射时多数混有填料，尤其是在加工成型含有玻璃纤维增强填料的物料时，应将机筒的加料口加大一些，以提高物料的进料速度。

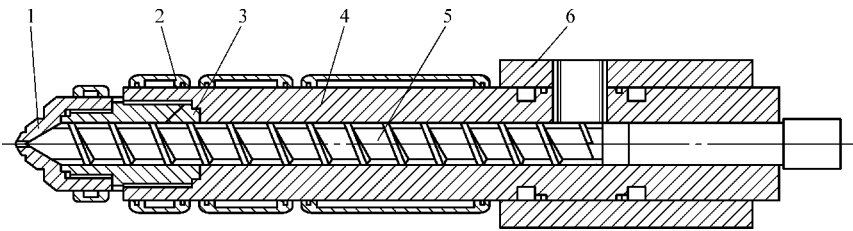


图 5-1 热固性塑料注射机的塑化部件

1—喷嘴 2—加热套 3—前机筒 4—后机筒 5—螺杆 6—料斗座

机筒的加热一般采用热水或热油加热，分 2~3 段进行控制，并形成独立的温控闭环系统。水加热系统加热稳定，温差波动小（仅 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ），不易使物料在机筒内固化，并且当塑料在固化过程中放热使塑料温度升高时能迅速降温，使机筒内的物料保持可塑状态，如果需要停机时，可直接通入冷却水迅速冷却，以防止机筒内塑料因受热时间过长而固化。

（3）螺杆 热固性塑料注射机的螺杆主要用于对物料进行塑化和混炼，并将塑化好的物料注入模具型腔。注射螺杆的传动宜采用液压马达驱动，以防止因物料发生固化而扭坏螺杆。为了减少对物料的剪切作用，防止摩擦热过大而引起物料过早固化，缩短物料在机筒内的停留时间，螺杆的长径比和压缩比都比较小，长径比通常为 12~16，压缩比通常为 0.8~1.4。与热塑性塑料注射螺杆相比，热固性塑料注射螺杆的螺槽较深，这样可以减少对塑料的剪切作用，防止产生过多的摩擦热和物料过早固化。根据压缩比的大小，热固性塑料注射机的螺杆有三种形式，如图 5-2 所示。

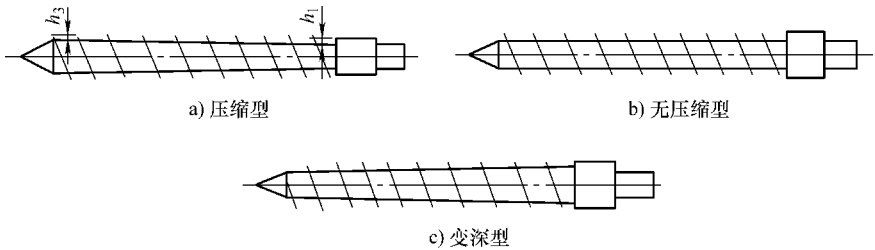


图 5-2 热固性塑料注射螺杆类型

图 5-2a 压缩型螺杆的压缩比为 1.05~1.2，主要用于注射成型不易发生交联反应的热固性塑料；图 5-2b 无压缩型螺杆的压缩比为 1~1.05，这种类型的螺杆剪切塑化能力和输送物料的能力较好，主要用于注射成型一般的热固性塑料；图 5-2c 变深型螺杆的压缩比在 0.8~1 之间，此类螺杆的摩擦剪切作用随螺槽深度的增大而变小，它的剪切塑化能力较差，但输送能力较好，主要用于注射成型易发生交联反应的热固性塑料或用玻璃纤维增强的物料。

螺杆头部一般呈 60° 左右的锥形，并保证与喷嘴的内表面相吻合，且能使螺杆

在注射行程的末端到达喷嘴的进口部位，这样可使每次注射之后不会在机筒前端留下多余物料，不至于因固化而堵塞喷嘴。螺杆与机筒之间的配合间隙要小（约为 $13\sim37\mu\text{m}$ ），以减少注射过程中的逆流，防止熔体在机筒内停留时间过长而固化。螺杆内设有冷却水通道，可通冷却水，防止螺杆表面过热。不宜使用带止逆环的螺杆头和自锁式喷嘴，以避免螺杆头与喷嘴之间的物料固化。

2. 合模系统

由于热固性塑料在固化过程中有气体产生，因此注射机的合模装置必须有排气动作，一般通过增压液压缸的卸压和加压来实现。当卸压时，可使模具打开，瞬间又加压而使模具闭合，从而达到排气的目的。

热固性塑料注射机的传动装置一般为全液压式。热固性塑料注射机与热塑性塑料注射机的差别见表 5-1。

表 5-1 热固性塑料注射机与热塑性塑料注射机的差别

热固性塑料注射机	热塑性塑料注射机
螺杆压缩比小，一般为 1.05 ~ 1.15	螺杆压缩比大，一般为 2 ~ 3.5
螺杆长径比小，一般为 12 ~ 16	螺杆长径比较大，一般为 15 ~ 20
喷嘴为敞开式，不需加热	喷嘴为直通式或自锁式，有加热装置来调节控制温度，喷嘴孔径小
螺杆头部为锥形，料垫小，防止因固化而堵塞喷嘴	螺杆头部一般为圆形，料垫厚，作补料和传压用
机筒一般用水或油加热，温度较低	机筒一般用电加热，温度较高
合模装置必须有排气动作	合模装置不一定有排气动作
模具需加热，温度在 170℃ 以上，料温低于模温	模具一般不需加热，大多需冷却，料温高于模温
为防止熔体滞留固化，机筒与螺杆的配合间隙较小	机筒和螺杆的间隙较大
锁模力要求大	锁模力较小

5.1.2 热固性塑料注射成型模具

热固性塑料注射模与热塑性塑料注射模类似，也包括浇注系统、型腔、型芯、导向推出机构等，在注射机上采用同样的方法安装，典型的热固性塑料注射模结构如图 5-3 所示。由于热固性塑料熔体的流动行为与热塑性塑料熔体有很大区别，相应的模具也有所不同，主要表现在以下几个方面：

1) 型腔需要加热并保持在 $160\sim190^\circ\text{C}$ ，使进入型腔的热固性塑料能在要求的时间内达到交联固化温度，迅速固化定型，以缩短成型时间，提高效率。必要时应能分别控制动模和定模的温度，减小型腔与型芯的温

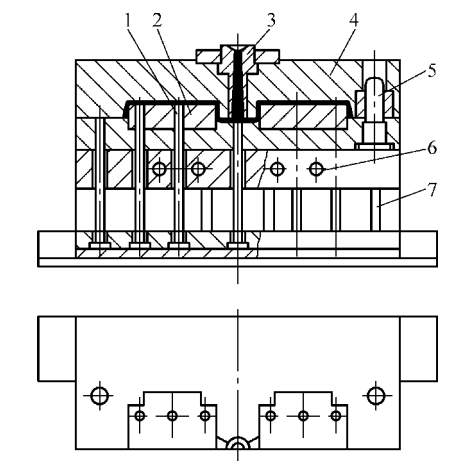


图 5-3 热固性塑料注射模

1—推杆 2—型芯 3—主流道衬套 4—型腔模
5—导柱 6—加热元件 7—复位杆

差。为了避免散热过多，还应在注射模和注射机之间加设石棉垫板等绝热材料。

2) 浇注系统应设置冷却介质通道进行循环冷却，以保持热固性塑料的低温熔融状态，防止受型腔加热的影响产生过热而交联固化，堵死流道。

以上两点恰与热塑性塑料注射模的结构相反：热塑性塑料注射模的型腔需设置冷却介质通道进行循环冷却，以促使物料迅速冷凝固化定型，而其浇注系统则需要加热，以保持塑料的高温熔融状态，防止冷凝固化。

3) 热塑性塑料注射模常利用分型面和推杆等的配合间隙排气，而热固性塑料成型时排出的气体多，仅利用配合间隙排气往往不能满足要求，在模具上要开设专门的排气槽。为了使物料不会溢出，排气孔一般深 $0.03 \sim 0.06\text{mm}$ ，宽 $3 \sim 5\text{mm}$ ，并开设在型腔最后充满的部位。

4) 热固性塑料由于熔融温度比固化温度低，在一定的成型条件下熔体的流动性较好，可以流入细小的缝隙中成为飞边，因此要提高模具分型面合模后的接触精度，避免采用推件板式结构，尽量少用镶拼成型零件。

5) 因热固性塑料中填料的冲刷作用，要求模具成型零件具有较好的耐磨性，较高的表面硬度 ($\geq 55\text{HRC}$) 和较低的表面粗糙度值。

6) 由于热固性塑料注射模是在高温高压下工作，应严格控制模具零件的尺寸精度，保证配合良好，特别是活动型芯、推杆等一类零件。

5.2 热固性注射料

5.2.1 热固性注射料的种类

随着热固性塑料注射工艺的发展，无流道成型技术的开发，模具技术的进一步提高，热固性塑料注射机不断革新完善，机筒、模具控温技术越来越精确，适用于注射成型工艺的热固性注射料品种不断增多，主要品种有：酚醛类，不饱和聚酯类，醇酸树脂类，氨基树脂类，邻苯二甲酸二烯丙酯类 (DAP)，聚酰亚胺类，环氧树脂类，芳烷醚类，其中以酚醛注射料品种规格最多，用量最大。目前国外已具有粉状、片状、块状、小棒状、带状、束状等各种形状的注射料，我国则以粉粒状的酚醛注射料为主。

5.2.2 热固性注射料的组成

热固性注射料是以合成树脂为基础，加入填料、固化剂及其他各种添加剂，如润滑剂、固化促进剂、增塑剂、颜料等组成。

1. 合成树脂

占热固性注射料总质量 $35\% \sim 55\%$ 的合成树脂，决定了注射料物理性能、化学性能等基本性能。它是一种加热软化、熔融发粘的无定形物质，对其他配合物起

粘合作用，这类树脂主要是指酚醛树脂、环氧树脂、DAP、不饱和聚酯树脂、氨基树脂、聚氨酯树脂等。

2. 填料

热固性注射料是靠添加填料达到改性和增加强度的目的，填料是注射料中的重要部分，约占注射料总质量的40%~50%。热固性注射料内加入相当比例填料的另一个目的是降低成本。

(1) 木粉填料 一般将通过100目的针松、白杨等木料粉作为木粉填料。在加工木粉的过程中，不能混入泥沙，否则会严重影响注射料的电性能和力学性能。用木粉作填料的注射料相对密度小、流动性好、容易成型，制品的力学性能良好、外观光滑美观、成本较低。

以木粉为填料的注射料在国内外是消耗比例最大的注射料，力学强度要求一般的制品，如仪表、低压电绝缘件、餐具及普通结构体等基本都用此种注射料。

(2) 玻璃纤维填料 玻璃纤维增强的热固性塑料制品具有一系列优点，例如制品的尺寸稳定性、电气绝缘性、耐热性、力学强度和成型性都很好。国外玻璃纤维增强的注射料品种齐全，有酚醛树脂、环氧树脂、DAP、不饱和聚酯树脂、聚酰胺树脂、氨基树脂等，我国则以玻璃纤维增强的酚醛注射料居多。今后的发展方向是改善玻璃纤维增强注射料的流动性，使其更好地满足注射成型工艺的要求。

(3) 石棉填料 用石棉作填料的注射料耐热性很好，并增加了制品的力学强度和稳定性。石棉填充的注射料不易吸湿，但容易粘模。

(4) 矿物填料 滑石粉、云母粉和石英粉等无机质作填料的注射料，具有较好的尺寸稳定性、电气绝缘性、耐热性、介电性，而且吸湿性和比体积小。但在酚醛注射料中作填料则达不到上述性能。用矿物作填料的注射料可以用作高级绝缘材料和高频绝缘材料的填料，缺点是对模具的磨损大、制品性能脆、力学强度较差。

3. 其他添加剂

(1) 固化剂 固化剂在树脂固化过程中起催化作用，本身也参与交联反应。

(2) 增塑剂 增塑剂的作用是增加注射料的柔韧性和流动性，使注射料具有较好的成型加工特性。增塑剂一般为液态的高沸点酯类，在注射料加热加压时，增塑剂慢慢地渗透到树脂中，增大分子链间的距离，减少链间作用力，使刚性分子链变为柔性，增加注射料的流动性，促使成型顺利进行。增塑剂必须与树脂相结合，还要有一定的耐热性。

(3) 着色剂 热固性注射料通常需要配制成各种颜色，不管是加入有机着色剂还是无机着色剂，要求在成型加工或使用过程中，其颜色都能保持稳定不变。

(4) 润滑剂 在热固性注射料中加入适当比例的润滑剂，可减少预热和注射过程中注射料与机筒、螺杆、集流腔、型腔之间的摩擦阻力，从而可提高流动性，降低注射压力。同时，润滑剂还可使制品表面光滑、防止成型加工中粘模。常用的润滑剂有硬脂酸锌、硬脂酸钡、加洛巴蜡（巴西棕榈蜡）等。

(5) 固化促进剂 固化促进剂能够促使热固性注射料在型腔中热压条件下快速固化，使成型周期缩短，提高劳动生产率，氧化镁是常用的固化促进剂。

主要热固性注射料的种类、特点及加入填料后的特性见表 5-2。

表 5-2 主要热固性注射料的种类、特点及加入填料后的特性

热固性注射料种类	特 点	填 料	特 性					
			成型性	力学强度	耐热性	电气绝缘性	尺寸稳定性	其 他
酚醛类	各种性能大致良好，成型性好，价格便宜，同填充剂配合性好，但着色困难	木粉	优	一般	一般	一般	一般	分解温度 270 ~ 300℃
		无机质	优	一般	良	一般	良	耐电压性好
		石棉	良	优	优	一般	一般	—
		玻璃纤维	优	优	优	优	优	抗蠕变性及刚性良好
		微细布质	一般	优	一般	差	一般	耐冲击性好
环氧类	电气特性（防潮性）好，粘接性良好，耐药剂性好，流动性良好，但受热后出现软化现象	无机质	良	优	优	优	良	分解温度 300 ~ 350℃ 耐电弧性良好
		玻璃纤维	良	优	优	优	良	
DAP 类	电气特性（高频性）好，尺寸稳定性好，耐热性优越，耐药剂性好，可任意着色	玻璃纤维	优	优	优	优	优	抗蠕变性良好
		无机质	一般	优	优	优	优	
不饱和聚酯类	耐电弧特性，耐漏电痕迹性良好；可与玻璃纤维配合制造高强度产品；价格比较便宜；着色性好	玻璃纤维	良	优	优	优	优	分解温度 250 ~ 280℃
		无机质	良	良	优	优	优	
三聚氰胺	耐电弧，耐漏电痕迹性好；着色性好，外观好；刚性好，但较脆	纸浆	良	差	差	差	一般	—
		石棉	良	差	一般	一般	良	

5.2.3 热固性注射料的成型工艺特性

为了获得生产优质塑料制品的成型工艺依据，必须对热固性注射料的成型工艺特性进行了解，即热固性注射料必须具有下列成型条件。

1. 热固性注射料必须具有良好的流动性

热固性注射料在一定温度和注射压力的作用下，能够充满型腔各部分的性能称为流动性，一般用拉西格流动性（以毫米计）来度量。热固性注射料的拉西格流动性一般大于 200mm，如果流动性太差则注射困难，注射成型时注射料不易充满型腔，即使增加压力，仍有可能发生充模不足的现象；流动性太好，在注射压力作用下会造成制品出现飞边，还会出现粘模现象，给制品脱模和清理模具带来困难，而

且还会在制品上出现凹痕、质地疏松等问题,严重影响制品的电性能和力学性能。注射料的最佳流动能力是在最小的注射压力下达达到最大的注射效果(在正确控温条件下)。

影响热固性注射料流动性的因素如下:

1) 基体树脂为相对分子质量在 1000 以内的线型聚合物或具有少量支链型的聚合物,此种注射料流动性最好。

2) 用木粉作填料的注射料的流动性最好,无机填料的流动性较差,玻璃纤维和纺织物作填料的流动性最差。

3) 添加润滑剂或适当提高注射料中的水分或挥发物含量,可提高流动性,若大量加入固化剂会降低流动性。

4) 模具的流道及型腔的表面粗糙度越低,流动阻力越小,注射料流速越快;流道呈流线形,且长度较短的能提高流动性;旧模具因注射料高速摩擦,表面粗糙度越来越低,注射料的流动性比新模具好。

5) 注射压力越高,注射料的流动能力越大。

注射料流动性能的测试方法主要是采用螺旋线流长测试法。其测试条件比较接近注射条件,所以测试结果比较准确,它不仅可以用来测试不同牌号或同种牌号不同批量注射料的流动性,而且还可以用于研究模具浇口的大小、深度,熔体充填时的流速以及对制品物理性能的估计。

2. 注射料塑化温度范围要大

热固性注射料的塑化温度范围越大越好,一般为 70 ~ 90℃,注射料不仅要求塑化均匀,而且要有一定的流动性。在 70 ~ 95℃ 范围内注射料的粘性基本不变,但趋向减低;在 95 ~ 120℃ 温度范围内粘性最低,此时的注射料具有最佳的熔融流动性,使注射成型工艺实施过程稳定可靠。

3. 注射料热稳定性要好

一般情况下,塑化的熔融注射料在注射机的机筒中存放的时间越长越好,以消除注射系统偶尔发生故障时所需时间少于熔融注射料在机筒中存放时间的现象,这样,机筒中的注射料不仅不固化,而且还可以继续注射,不必清除机筒废料。因此在保证机筒控温精度的情况下,塑化的熔融注射料在机筒中要能存放 15 ~ 30min。通常热稳定性较好的注射料在配方中都添加稳定剂,因为稳定剂在低温下可阻止交联反应,进入高温状态便失去这种作用。

4. 高温下能快速固化

注射料从塑化状态转变为固化状态的速度称为固化速度。一般的热固性注射料若固化速度太慢,则成型周期长,生产效率低,并且制品易变形,尺寸不稳定,还会产生其他缺陷;固化速度太快,会出现型腔内各细小部位来不及充填即固化,成为废品。但快速固化料的高速充模避免了上述现象,从而提高了生产率。

5. 注射料的成型收缩率要小

在所有的热固性塑料成型工艺中,注射工艺的制品收缩率最大,因为塑化料所受单位面积的压力最小。一般情况下,模具尺寸要比实际制品尺寸大,因为在制品从注射模型腔内取出后,冷却到室温的过程中,由于热胀冷缩及分子重排,会发生尺寸收缩现象。

注射料的收缩率分为实际收缩率和计算收缩率两种,实际收缩率是指制品在固化成型温度下与在室温下的尺寸之差除以固化成型温度下的尺寸的百分比,计算收缩率是指室温下的模具尺寸与制品尺寸之差除以模具尺寸的百分比。具体计算公式如下:

$$Q_{\text{实}} = \frac{a - b}{a} \times 100\%$$

$$Q_{\text{计}} = \frac{c - b}{c} \times 100\%$$

式中 $Q_{\text{实}}$ ——实际收缩率(%) ;

$Q_{\text{计}}$ ——计算收缩率(%) ;

a ——制品在成型温度下的尺寸(mm) ;

b ——制品在室温中的尺寸(mm) ;

c ——模具在室温中的尺寸(mm)。

热固性塑料发生收缩的原因如下:

- 1) 热胀冷缩造成制品尺寸变化。
- 2) 脱模后,在成型过程中产生的内应力消除时,因定向面解除了内应力而使制品各部收缩。
- 3) 注射压力解除后,型腔弹性恢复到原状,型腔内的制品受型腔收缩而收缩。
- 4) 固化反应时,注射料内的水分和挥发物挥发,料的密度增加,造成制品体积收缩,一般含水量多的注射料收缩率较大。

收缩率太大的制品容易产生裂纹或翘曲变形,为防止产生这种现象,应增加填料的添加量。但增加过多会使流动性变差,充模困难,反而易出废品。影响热固性注射料收缩率的因素还有塑化温度、固化温度、注射压力、保压时间等参数。

6. 注射料的热刚性要好

热刚性是指物料在热模型腔内的刚性程度,热刚性好,在快速固化的高温型腔中能快速脱模,不易变形,尺寸稳定。

7. 颗粒度及均匀性要一致

颗粒度太小,易对环境、人体、设备造成粉尘污染,还会吸附在料斗壁上造成架桥现象,出现计量误差进而出现废品;颗粒度太大,制品表面无光泽,会出现桂花状凹痕,外观质量不合要求而成为废品。

5.3 热固性塑料注射成型工艺

5.3.1 热固性塑料注射成型工艺流程

热固性塑料的注射成型工艺流程如图 5-4 所示。

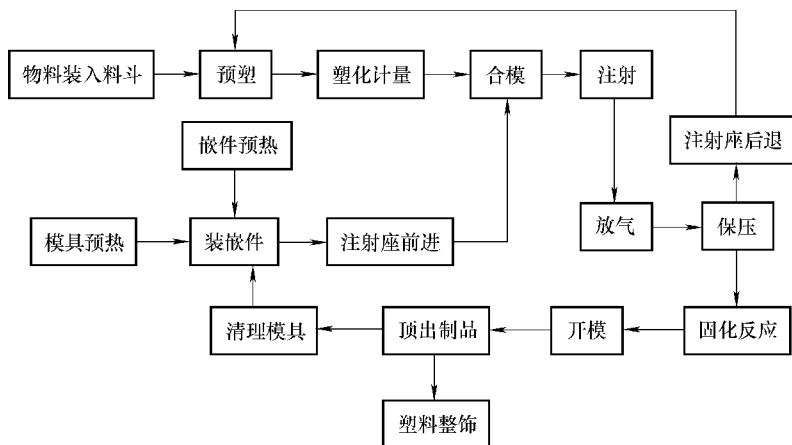


图 5-4 热固性塑料的注射成型工艺流程

由图 5-4 可知，热固性塑料的注射成型可按以下 6 个步骤进行：

(1) 供料 料斗中的热固性注射料靠自重落入机筒中的螺槽内。一般热固性注射料为粉末状，容易在料斗中产生“架桥”现象，因此最好使用颗粒状物料。

(2) 预塑化 落入螺槽内的注射料在螺杆旋转的同时向前推移，在推移过程中，物料在机筒外加热和螺杆旋转产生的摩擦热共同作用下，软化、熔融，达到预塑化目的。

(3) 计量 螺杆不断把已熔融的物料向喷嘴推移，同时在熔融物料反作用力的作用下，螺杆向后退缩，当集聚到一次注射量时，螺杆后退触及限位开关而停止旋转，被推到机筒前端的熔融料暂停前进，等待注射。

(4) 注射及保压 预塑完成后，模具闭合，螺杆在压力作用下前进，熔体从喷嘴射出，经模具的主浇口、主流道、分流道、分浇口等注入模具型腔，直到全部充满型腔为止。

熔融的预塑料在高压下，高速流经截面很小的喷嘴、流道时会产生很大的摩擦热，使熔体的温度从 70 ~ 90℃ 迅速升至 130℃ 左右，达到临界固化状态，也是流动性的最佳转化点。此时，注射料的物理变化和化学反应同时进行，以物理变化为主，注射压力可高达 120 ~ 240 MPa，注射速度为 3 ~ 4.5 m/s。

注射完毕立即进入保压状态，保压有两个目的：一是补缩，二是保证制品结构

密实。保压结束后延迟一段时间待物料完全固化，制品定型。

在注射过程中，注射速度应尽量快些，以便能从喷嘴、流道处获得更多的摩擦热，注射时间一般设为3~10s。

(5) 固化成型 130℃左右的熔体高速进入型腔后，由于模具温度较高，为170~180℃，化学反应迅速进行，使热固性树脂分子间相互缩合、交联成体型结构。经一段时间的保温、保压后即固化定型。固化时间与制品厚度有关，一般为1~3min，快速固化料为0.5~2min。

(6) 取出制品 固化定型后，即可打开模具取出制品。利用固化反应和取制品的时间，螺杆旋转，开始预塑，为下一模注射作准备。

5.3.2 热固性塑料注射成型工艺条件分析

热固性塑料注射成型工艺包括温度（机筒温度、模具温度）、压力（注射压力及背压）、成型周期（注射时间、保压时间和固化时间）三方面的内容，下面分别加以分析。

1. 温度

(1) 机筒温度 机筒温度的选择和控制在保证热固性塑料注射成型正常进行的重要条件之一。通常在能够完成对物料预塑的情况下，机筒的加热温度应该设定偏低一些，以防物料过早交联。如果机筒加热温度过低，物料流动性较差，螺杆与机筒壁间产生较大的剪切应力，一方面增大了螺杆旋转负荷，另一方面会使与螺杆接触的物料因温度过高而发生交联。此时，必须清理机筒与螺杆，重新调整温度。如果机筒温度过高，则物料会提前发生交联反应而固化，从而失去流动性，无法成型，此时也必须清理机筒重新调整温度。

机筒温度不是均衡分布，而是从注射机加料口开始到喷嘴处成梯度上升，这样可使热固性塑料的流动性及固化速度处于最佳状态，以减少螺杆旋转时受到的摩擦阻力。一般情况下，加料口温度为30~70℃，机筒前端75~95℃，喷嘴处85~110℃。机筒加热方式有三种：水（或油）加热、电加热和油电加热。机筒温度是否合适，可采用对空注射的方法来判断：若从喷嘴射出的料，注射速度快，粗细比喷嘴孔径略大，色泽灰暗，表面粗糙或有螺旋状细条，有微孔，略呈空心，冷后较脆易折断，刚射出的料很粘可捏成一团，说明机筒温度合适。

(2) 模具温度 热固性塑料的固化成型主要依赖于模具的高温及物料中的固化促进剂等。模具温度较低时，制品的固化时间较长，生产效率低，而且制品的物理力学性能下降，表面光泽性差，粘模，脱模时制品易开裂；模具温度较高时，制品的固化反应速度较快，固化成型时间缩短，而且制品的各项性能较好。但是模具温度也不能过高，否则制品的固化反应速度过快，内部的挥发物不易排出，制品质地疏松，表面易产生焦斑、缺料、起泡、裂纹等缺陷，且制品中残存的内应力较大，尺寸稳定性差，冲击强度下降。模具温度一般控制在160~170℃之间，动模温度应比

定模温度高 10 ~ 15℃，控温精度应保证在 ± 3℃ 以内。一般应根据塑料品种和制品形状来调整模具温度。表 5-3 为几种热固性塑料注射成型时的模具温度，供参考。

表 5-3 几种热固性塑料注射成型时的模具温度

塑料名称	酚醛塑料	脲甲醛塑料	三聚氰胺甲醛塑料	环氧塑料
模具温度/℃	177 ~ 200	146 ~ 154	154 ~ 170	177 ~ 188

2. 压力

(1) 注射压力 注射压力和注射速度对塑料的充模起着决定性的作用。注射压力的大小取决于塑料的流动性，机筒和模具的温度，喷嘴与模具的结构，制品的形状及精度要求等因素。由于热固性塑料中所含的填料量较大，约占 40%，粘度较大，注射压力选择应高些，一般控制在 80 ~ 100MPa。对粘度较大、制品厚薄不均、精度要求高的制品，注射压力可选择 140 ~ 180MPa。压力高，流速大，摩擦热多，可适当缩短固化保压时间，而且制品收缩率小，力学强度和电性能都较好。但注射压力过高，制品的内应力增加，飞边增多，脱模困难，影响模具的使用寿命。

(2) 塑化压力（背压） 螺杆背压大小与物料的性质有关，流动性好且挥发物含量符合要求时，背压可适当小些。反之，可选较大的背压。当流动性虽好，但挥发物含量较高时也要选较高的背压。而对于固化速度快的塑料，则应选择较低的背压，但背压过低，会使预塑计量不准确，影响制品质量。背压过高，摩擦热增大，料温上升，流动性好，易引起喷嘴流延；过大时会降低熔体在机筒中的流动性或过早固化。在满足制品质量的前提下背压稍低些较好，通常为 0.5 ~ 1.5 MPa。

3. 成型周期

(1) 注射时间 由于预塑化的注射料粘度低、流动性好，可把注射时间尽可能定得短些，即采用较快的注射速度。这样在注射时熔融料可从喷嘴、流道、浇口等处获得更多的摩擦热，有利于物料固化。但注射时间过短，即注射速度太快时，则摩擦热过大，制品易发生局部过早固化或焦烧等现象；同时，型腔内的低挥发物来不及排出，会在制品的深凹槽、凸筋、凸台、四角等部位出现缺料、气孔、气痕、熔接痕等缺陷，影响制品质量。而注射时间太长，即注射速度太慢时，厚壁制品的表面会出现流痕，薄壁制品则因熔融料在流动途中发生局部固化而影响制品质量。通常情况下，注射时间为 3 ~ 12s。其中，小型注射机（注射量在 500g 以下）注射时间为 3 ~ 5s，大型注射机（注射量为 1000 ~ 2000g）则为 8 ~ 12s，而注射速度一般为 5 ~ 7m/s。

(2) 保压时间 保压时间长则浇口处物料在加压状态下固化封口，制品的密度大、收缩率低。目前，注射固化速度已显著提高，而模具浇口多采用针孔型或潜伏型，因此保压时间的影响趋于减小。

(3) 固化时间（热压时间） 固化时间与模具温度、制品的壁厚有关，一般

为 10~40s。对模具温度高,形状简单,壁薄的制品,固化时间可短些,反之要长一些。延长固化时间,制品的冲击强度、弯曲强度提高,成型收缩率下降,但吸水性提高,电性能下降。

4. 其他工艺条件

(1) 螺杆转速 为了避免热固性塑料在机筒内长时间停留和螺杆对物料产生过大的剪切作用,应注意控制螺杆的转速。一般来讲,对于粘度低的热固性注射料,由于螺杆后退时间长,可适当提高螺杆转速;而粘度高的注射料,因预塑时摩擦力大、混炼效果差,此时应适当降低螺杆转速,以保证物料在机筒中充分混炼塑化。螺杆转速一般宜控制在 50r/min 以内,螺杆转速的选择还与机筒温度密切相关,呈反比关系。

(2) 预热时间 物料在机筒内的预热时间不宜太长,否则会发生固化而提高熔体粘度,甚至失去流动性;预热时间太短则流动性差。

(3) 注射量 正确调节注射量,可在一定程度上解决制品的溢边、缩孔和凹痕等缺陷。

(4) 锁模力 选择合理的锁模力,可减少或防止模具分型面上产生溢边,但锁模力不宜太大,以防模具变形和能耗增加。

5.4 常用热固性塑料的注射成型

5.4.1 酚醛塑料的注射成型

酚醛树脂由酚、醛类化合物经缩合反应而成。由于缩合时所用原料配比不同,催化剂 pH 值不同,所得树脂的物理化学性质有明显差异。当苯酚和甲醛的摩尔比大于 1,催化剂 pH < 7 时,所生成的树脂呈热塑性性质,只有添加固化剂六次甲基四胺后,才能通过加热、反应生成热固性酚醛塑料;当苯酚和甲醛的摩尔比小于 1,催化剂 pH > 7 时,所生成的树脂呈热固性,即直接通过加热就可发生化学交联反应。由此可见,两者的最终产物都是热固性酚醛树脂,而差别在于工艺控制方法不同,故前者称为两步法酚醛树脂,简称 PF2 树脂,后者称为一步法酚醛树脂,简称 PF1 树脂。

1. 原材料要求

用于注射成型的酚醛模塑料必须满足以下两个基本条件。

1) 在机筒、喷嘴内受热时,应具有很好的流动性和热稳定性,以利于充模并避免堵塞流道。具体地说,技术上对原料的要求为:在 80~95℃ 温度下保持流动时间 > 10min;在 75~85℃ 温度下保持流动时间 > 60min。

2) 物料充模并达到临界温度以后,能快速固化,以缩短成型周期,提高生产效率。

提高树脂流动性的主要措施有两个,一是添加改性剂,如增塑剂:DBP 等,稀释剂:苯酚、甲醇、丙酮、糠醛等,含结晶水化合物:CaCl₂·2H₂O、Ba(OH)₂·8H₂O

等，润滑剂：低分子聚乙烯蜡等；二是对粒料进行表面处理，在表面施加涂层，涂层为脂肪酸金属盐、芳香酸烷基酯等。

提高树脂固化速度的主要措施是合成高邻位酚醛树脂，或在甲阶树脂中加入有机羧酸盐或硼酸盐以加速固化。

提高树脂热稳定性的措施是添加热稳定剂，如对叔丁基苯酚等。

根据以上要求，我国可供注射用的酚醛模塑料主要是 PF1（可溶可熔酚醛树脂，即一步法酚醛树脂）和 PF2（线型酚醛树脂，即二步法酚醛树脂）。按用途和特性分为 5 种：A—通用；E—电气；C—耐热；S—特种；D—抗冲，若按产品规格划分共有 21 个等级。例如 PF₂A₄-161J 表示用木粉作填料，树脂含量为 50% ~ 55%，为二步法酚醛树脂，属通用类，改进了吸水性能，适用于注射成型。部分酚醛模塑料的主要类别及用途见表 5-4。

表 5-4 部分酚醛模塑料的主要类别及用途

类别	牌 号	用 途
通用 (A)	PF ₂ A ₁ -131 PF ₂ A ₁ -132 PF ₂ A ₁ -133 PF ₂ A ₁ -136 PF ₂ A ₁ -137 PF ₂ A ₁ -138	通用，用于制造日常生活用品
	PF ₂ A ₂ -131 PF ₂ A ₂ -133 PF ₂ A ₂ -141 PF ₂ A ₂ -151	通用，改进了电性能，用于制造低压电器绝缘结构件
	PF ₂ A ₃ -1501 PF ₂ A ₃ -165	通用，电性能高于 PF ₂ A ₂ ，用于制造电信、仪表和交通电器的绝缘结构件
	PF ₂ A ₄ -161	类似于 PF ₂ A ₂ ，改进了吸水性能，用于制造湿热地区使用的低压电器和仪表的绝缘结构件
	PF ₂ A ₅ -5802	类似于 PF ₂ A ₂ ，改进了耐酸性能，用于制造低压电器和蓄电池的绝缘结构件
	PF ₂ A ₆ -1503 PF ₂ A ₆ -9603	通用，改进了冲击强度，用于制造低压电器和仪表的绝缘构件
	PF ₁ A ₁ -1501	无氨，用于制造电信和仪表的绝缘结构件
	PF ₂ C ₃ -431 PF ₂ C ₃ -631	耐热，用于制造低压电器绝缘件
	PF ₂ C ₄ -631	耐热，无石棉，用于制造低压电器绝缘件
	PF ₂ E ₂ -3301 PF ₂ E ₃ -7301 PF ₂ E ₄ -2304 PF ₂ E ₅ -2301	低介质损耗，改进了吸水性能，用于制造无线电绝缘零件 低介质损耗，冲击强度高于 PF ₂ E ₂ ，用于制造无线电绝缘零件 低介质损耗，介电强度高于 PF ₂ E ₃ ，用于制造无线电绝缘零件 低介质损耗，冲击强度高于 PF ₂ E ₃ ，用于制造无线电绝缘零件

2. 工艺条件

为使生产正常运行，必须设定合理的工艺参数和严格的操作规范。物料进入机筒经过螺杆预塑和积料过程，温度由起始 40 ~ 60℃ 升高到 80 ~ 85℃，此时物料主要发生物理变化——粘度不断降低。注射时，由于物料在喷嘴处流速高，因剪切摩擦热使料温升高，注射出的熔体温度一般控制在 120 ~ 130℃，这时的熔体呈现最好的流动状态，并接近于硬化的临界塑性状态。酚醛模塑料注射成型工艺条件见表 5-5。

表 5-5 酚醛模塑料注射成型工艺条件

工 艺 条 件	数 值	工 艺 条 件	数 值
机筒温度/℃		螺杆转速/(r/min)	< 50
进料段	40 ~ 60	注射时间/s	2 ~ 10
前段	80 ~ 85	保压时间/s	5 ~ 20
喷嘴温度/℃	85 ~ 100	硬化时间/s	15 ~ 100
模具温度 ^① /℃	170 ~ 190	成型周期/s	40 ~ 120
注射压力/MPa	80 ~ 160	卸压放气时间/s	0. 2
背压/MPa	不宜过高		

① 动模温度应比定模高 10 ~ 15℃。

根据模塑料品种、制品形状、尺寸和壁厚的不同，上述工艺参数要进行相应的调整。

3. 其他酚醛注射料

(1) A5-151 酚醛模塑料（热固性注射级） 该产品外观为黑色，是以酚醛树脂为基材，木粉和矿物为填料制成，具有良好的电气性能和耐热性（技术指标见表 5-6）。它适合于制作线圈架、微型开关、继电器等电气绝缘结构件，并且适用于注射成型和传递模压成型，注射成型工艺条件见表 5-7。

表 5-6 A5-151 技术指标

性 能	指 标	性 能	指 标
密度/(g/cm ³)	≤1. 58	介电强度 (90℃)/(MV/m)	≥4. 0
弯曲强度/ MPa	≥80	介质损耗因数 (tanδ) (1 MHz)	≤0. 05
简支梁冲击强度 (缺口)/(kJ/m ²)	≥1. 7	成型收缩率 (%)	0. 5 ~ 0. 8
热变形温度 (1. 8MPa)/℃	≥200	吸水性/mg	≤30
绝缘电阻 (浸水 24h)/Ω	≥10 ¹¹	阻燃性/0. 45mm	V-0

表 5-7 A5-151 注射成型工艺条件

机筒温度/℃		模具温度/℃		注射压 力/MPa	背压/MPa	保压时间/(s/mm)
前 段	后 段	定 模	动 模			
90 ~ 100	70 ~ 80	165 ~ 175	170 ~ 180	80 ~ 160	1 ~ 3	10 ~ 20

(2) 注射型耐热酚醛模塑料 EA-5555J

1) EA-5555J 的主要性能指标。EA-5555J 的主要性能指标见表 5-8。从表中可

知其热变形温度达 190℃ 以上，阻燃等级为 94V-0/1.6mm，综合性能指标均达到德国 Bakelite 公司同类产品 PF2836 的水平。

表 5-8 EA-5555J 的主要性能指标

测 试 项 目	耐热型酚醛模塑料	
	EA-5555J	德国 PF2836
外观	不规则颗粒状	不规则颗粒状
密度/(g/cm ³)	1.58	1.54
吸水性/mg	19.3	20.6
成型收缩率(%)	0.78	0.82
弯曲强度/MPa	86.7	88.4
缺口冲击强度/(kJ/m ²)	2.2	2.1
无缺口冲击强度/(kJ/m ²)	6.1	5.58
热变形温度/℃	192	189
介电强度 (90℃ 油浴)/(kV/mm)	5.3	5.2
体积电阻/Ω·m	6.4×10 ¹⁰	3.3×10 ⁸
阻燃性/1.6mm	94V-0	94V-0

2) EA-5555J 的注射成型工艺。EA-5555J 与德国 Bakelite 公司的同类产品 PF2836 的注射工艺比较见表 5-9。为了防止 EA-5555J 在料斗中落料不畅，甚至“架桥”，使注射成型不能稳定和连续地进行，首先应将原料挤出造粒，使颗粒均匀化。

表 5-9 EA-5555J 与 PF2836 的注射工艺比较

项 目	EA-5555J	PF2836	项 目	EA-5555J	PF2836
机筒温度/℃			注射压力/MPa	100	100
前段	88	90	预塑背压/MPa	2	1.5
后段	70	75	螺杆转速/(r/min)	50	80
模具温度/℃			注射时间/s	5	5
动模	175	175	固化时间/s	40	40
定模	170	170			

3) EA-5555J 的应用。EA-5555J 注射型酚醛模塑料的耐热性能好，热变形温度达 190℃ 以上，阻燃等级为 94V-0/1.6mm，获得了国际安全认证权威机构美国 UL 公司的黄卡认证。上海赛博电器、浙江正泰集团、湖南华峰电子集团等将其用于耐热性能要求较高的低压电器绝缘材料。该产品性价比高，应用范围广，随着国内低压电器产品不断升级，将有着广阔的市场前景。

5.4.2 环氧塑料的注射成型

1. 环氧塑料（EP）的组成

以环氧树脂为基材，添加固化剂、稀释剂、增韧剂、填充剂等所制得的塑料为环氧塑料。

(1) 环氧树脂 环氧树脂是分子结构中含有反应性环氧基团的聚合物。这种聚合物是线型大分子，呈热塑性，但在分子链中有很多活性基团，在各种固化剂的作用下能交联成体型结构。

(2) 固化剂 胺醇、酚、多元胺、多元酸、多元酸酐、高相对分子质量树脂、含金属元素的固化剂等。

(3) 增韧剂 邻苯二甲酸二丁酯或二辛酯、热塑性聚酰胺树脂、聚硫橡胶、丁腈橡胶等。

(4) 稀释剂 活性稀释剂有环氧丙烷丙烯醚、环氧丙烷丁基醚、环氧丙烷等，非活性稀释剂有丙酮、环己酮、甲苯、二甲苯、苯乙烯等。

(5) 填料 轻质填料如石棉、短玻璃纤维、石英粉等，添加量一般不超过 30%，云母、铝粉的添加量可在 150% 左右；而重质填料如铁粉、铜粉的添加量可达 200% ~ 300%。

2. 环氧注射料的要求

- 1) 储存期要长，性能要稳定。
- 2) 在料斗中进料容易。
- 3) 保持塑化状态的时间要长。
- 4) 流动性良好，对注射机的机筒、螺杆及模具型腔磨损要小，注射时不产生飞边，制品不产生气孔。
- 5) 高温下固化时间短。
- 6) 脱模性好。
- 7) 高温下力学强度高，热刚性好，不因脱模而发生变形。
- 8) 注射料本身及注射时放出的气体对人体无害。

环氧注射料的综合性能见表 5-10。

表 5-10 环氧注射料的综合性能

项 目	指 标	项 目	指 标
密度/(g/cm ³)	1.8	介电常数 (1kHz, 20℃)	5.0
弯曲强度/MPa	88 ~ 98	体积电阻/ $\Omega \cdot \text{cm}$	10^{14}
冲击强度/(kJ/m ²)	6.8 ~ 8.8	吸水率/mg	10
热变形温度/℃	120	耐电弧性/s	180
介质损耗因数 (1kHz, 20℃)	0.03		

3. 环氧注射料的工艺特性

- 1) 流动性好，硬化收缩小，成型收缩率为 0.50%，但热刚性差，不易脱模。
- 2) 成型温度一般控制在 140 ~ 170℃，硬化速度快，硬化时一般不需排气。

环氧注射料是一种成型性能良好的注射料，由于注射机价格昂贵，目前仅用在量大面广的产品中，如开关外壳、绕线管和连接管以及注射量为 250g 的标座等产品。

4. 玻璃纤维增强环氧塑料的注射成型工艺条件（见表 5-11）

表 5-11 玻璃纤维增强环氧塑料的注射成型工艺条件

工 艺 条 件	数 值	工 艺 条 件	数 值
模具温度/℃	190 ~ 220	注射压力/MPa	78 ~ 157
喷嘴温度/℃	80 ~ 90	背压/MPa	<7.8
机筒温度/℃	50 ~ 60		

5.4.3 氨基塑料的注射成型

1. 氨基塑料的组成

氨基塑料主要是以脲甲醛树脂（UF）、三聚氰胺甲醛树脂（MF）及三聚氰胺酚醛树脂为基材，根据用途不同，加入各种填料及其他添加剂制成的塑料。

氨基塑料中的填料约占 20% ~ 40%，是以 α 纤维素为主的白色浆状物质，主要用于浅色脲甲醛和三聚氰胺甲醛塑料中，这种填料可使制品硬度高，成型收缩率小，不影响密度，但抗冲击强度不及木粉填料。氨基塑料中的填料除 α 纤维素外，还有木粉、玻璃纤维、石棉及其他无机填料等。

2. 氨基塑料的特性及用途

与酚醛注射料相比，脲甲醛注射料成本较低、无臭无味、抗霉性和耐电弧性好、表面硬度高、耐磨、耐矿物油；树脂本身无色透明，可以自由地染成各种鲜艳的色彩，且不易退色；并且具有难燃性、不易炭化、耐漏电。缺点是易受潮气或水汽的影响而发生时效变形或裂纹，因此其力学性能、电性能和各种物理性能均不如酚醛注射料。

三聚氰胺甲醛注射料无毒，耐光，坚硬，耐水、耐溶剂性好，难燃，耐污染性强，不易老化。

三聚氰胺酚醛注射料改善了脲甲醛注射料耐水性、耐热性差，热变形温度低的缺点，同时也克服了酚醛注射料的着色性、耐电弧性、耐漏电性差的缺点。

氨基塑料的综合性能见表 5-12。

表 5-12 氨基塑料的综合性能

项 目	塑 料 种 类		
	脲 甲 醛	三聚氰胺甲醛	三聚氰胺酚醛
密度/(g/cm ³)	1.47 ~ 1.52	1.47 ~ 1.52	1.5 ~ 1.7
成型收缩率 (%)	0.8 ~ 1.2	1.2 ~ 1.4	0.9 ~ 1.4
拉伸强度/MPa	39 ~ 88	49 ~ 88	41 ~ 50
断裂伸长率 (%)	0.5 ~ 1.0	0.6 ~ 0.9	0.4 ~ 0.8
弹性模量/GPa	4.90 ~ 10.30	8.23 ~ 9.61	5.49 ~ 11.77
压缩强度/MPa	172 ~ 300	273 ~ 300	170 ~ 216
弯曲强度/MPa	68.4 ~ 96.1	68.6 ~ 110	54.9 ~ 68.4

(续)

项 目	塑 料 种 类		
	脲 甲 醛	三聚氰胺甲醛	三聚氰胺酚醛
冲击强度 (带缺口)/(kJ/m ²)	0.49 ~ 0.88	0.49 ~ 0.69	0.59 ~ 0.78
线胀系数/(10 ⁻⁵ /℃)	2.2 ~ 3.6	4	1.0 ~ 4.0
热变形温度/℃	127 ~ 143	177 ~ 185	140 ~ 154
体积电阻/Ω·cm	10 ¹² ~ 10 ¹³	10 ¹²	—
击穿电压/(kV/mm)	12 ~ 16	10.8 ~ 12.0	—
介电常数 (10 ⁶ Hz)	6.6 ~ 8.0	7.2 ~ 8.4	5.2 ~ 6.0
耐电弧性/s	80 ~ 150	110 ~ 140	130 ~ 180
吸水率 (%)	0.4 ~ 0.8	0.1 ~ 0.6	0.3 ~ 0.6

氨基塑料的主要用途见表 5-13。

表 5-13 氨基塑料的主要用途

塑 料 种 类	主 要 用 途
脲甲醛	电气照明设备零件、电话机、小台钟外壳、开关插座、布线器材、开关、纽扣、小盒子等
三聚氰胺甲醛	餐具类、照明与布线器材、插座、装饰品、熔丝座、灭弧器材、绝缘防爆电器零件
三聚氰胺酚醛	标座、接线柱、微动开关、继电器座、各种开关、断路器、灭弧罩、灯座、防爆电器零件

3. 氨基塑料的工艺特性

- 1) 流动性好，硬化速度快，故预热及成型温度要适当，加热时间要短，加料、合模及加压速度要快，但注射速度过高会在制品中残留内应力，引起龟裂。
- 2) 成型收缩率大，为 0.8% ~ 1.4%。
- 3) 含水分挥发物多，易吸湿、结块，成型时应预热干燥，并防止再吸湿，但过于干燥则流动性下降。成型时有水分及分解物产生，有酸性，模具应镀铬，以防腐蝕。因料细、比体积大、料中充气多，成型时应排气。
- 4) 成型温度对制品质量影响较大，温度过高物料易发生分解、变色；温度过低时物料流动性差，制品光泽性差。成型温度一般控制在 160 ~ 180℃。
- 5) 熔融料受热温度要分布均匀，以免局部固化或固化不足。
4. 氨基塑料注射成型工艺条件（见表 5-14）

表 5-14 氨基塑料注射成型工艺条件

工 艺 条 件	脲 甲 醛	三聚氰胺甲醛	三聚氰胺酚醛
机筒温度/℃	70 ~ 80	80 ~ 90	80 ~ 90
喷嘴温度/℃	110 ~ 130	110 ~ 130	110 ~ 130
模具温度/℃	140 ~ 160	160 ~ 180	160 ~ 180
注射时间/s	2 ~ 6	4 ~ 8	4 ~ 8
固化时间/s	5 ~ 8	5 ~ 8	5 ~ 8
注射压力/MPa	78 ~ 147	78 ~ 147	78 ~ 147
保压时间/s	2 ~ 10	2 ~ 10	2 ~ 10

当模具温度过高时制品会起泡和变色，若模具温度过低则热压时间长且制品光泽性差。氨基塑料采用注射工艺较模压法能降低加工成本 20%。

5.4.4 不饱和聚酯塑料的注射成型

不饱和聚酯树脂（UP）是由不饱和二元酸、饱和二元酸与多元醇缩聚而成的线型聚合物。不饱和聚酯是一种性能较脆的热固性塑料，通常用各种不同的填料增强后才能保证足够的力学强度。实际生产中一般是在不饱和聚酯树脂中加入增稠剂、低收缩添加剂、填充剂、脱模剂等组成混合物，与玻璃纤维充分混合后制得注射用模塑料。

1. 模塑料的原料组成及配方

根据模塑料的形状，模塑料可以分为干预混料（SMC）和湿预混料（BMC）。把反应性的固态不饱和聚酯预聚物（软化温度在 50 ~ 120℃）、固态固化剂、玻璃纤维、催化剂、色料等制成模塑料，有片状和粒状，称为干预混料（SMC）。粒状料用于注射工艺，能用普通热固性塑料注射机进行成型加工，储存稳定期可达一年以上。把液态不饱和聚酯树脂和玻璃纤维、催化剂、润滑剂、色料等放在捏合机中混炼成外形像生面粉团状的模塑料，称为湿预混料（BMC），也叫聚酯料团。湿预混料常用苯乙烯单体或 DAP 单体作交联剂，可用于注射或模压成型。

BMC 和 SMC 所用增强材料的形式和制造工艺各不相同，SMC 是干法制造玻璃纤维增强聚酯的新型模压材料，更适合于模压成型大件制品。BMC 和 SMC 塑料的综合性能见表 5-15，常用模塑料的配方范围见表 5-16。

表 5-15 BMC 和 SMC 塑料的综合性能

项 目	参 数	
	BMC	SMC
密度/(g/cm ³)	1.65 ~ 2.0	1.65 ~ 2.60
成型收缩率 (%)	0.1 ~ 0.7	0.1 ~ 0.4
拉伸强度/MPa	20.6 ~ 68.6	54.9 ~ 137
压缩强度/MPa	137 ~ 206	103 ~ 206
弯曲强度/MPa	49 ~ 137	20.6 ~ 24.6
冲击强度（带缺口）/(kJ/m ²)	3.1 ~ 3.3	14.7 ~ 46.0
线胀系数/(10 ⁻⁵ ℃ ⁻¹)	2.0 ~ 3.3	2.0
热变形温度/℃	204	188 ~ 260
体积电阻/Ω·cm	10 ¹² ~ 10 ¹⁵	10 ¹⁴ ~ 10 ¹⁶
介电强度/(kV/mm)	11.0 ~ 15.6	14.0 ~ 16.0
耐电弧性/s	120 ~ 240	120 ~ 202
吸水率（24h）(%)	0.06 ~ 1.28	0.10 ~ 0.15
介电常数（10 ⁶ Hz）	5.20 ~ 6.40	4.20 ~ 5.08

表 5-16 注射用模塑料的配方范围

组 分	树脂（聚酯树脂/ TP 添加剂）	玻璃纤维（6mm， 13mm，25mm，50mm）	脱模剂 （ZnSt）	填料（碳酸钙， 高岭土）	引发剂（过氧化 二苯甲酰）
配比（100 份树脂）/份	(70/30) ~ (50/50)	10 ~ 30	2	50 ~ 250	2%

2. 模塑料原料的成型工艺

（1）BMC 的成型工艺 BMC 的成型工艺如图 5-5 所示。BMC 使用的玻璃纤维有短切单纱、短切粗纱（俗称开刀丝）和浸有可溶性树脂的短切单纱，通常称作高规整性的多股纤维束（HSI）。HSI 在混合过程中不会解捻，可以较好地保持纤维的力学强度。采用短切的形式是为了便于与树脂的其他辅料混合，形成块状料团（预混料）。纤维的长度对制品力学性能影响很大，玻璃纤维长度一般取 6 ~ 12mm，长的可达 25mm，过短制品的强度低，过长则使混合困难，制品可能因为混料不均导致力学性能下降。

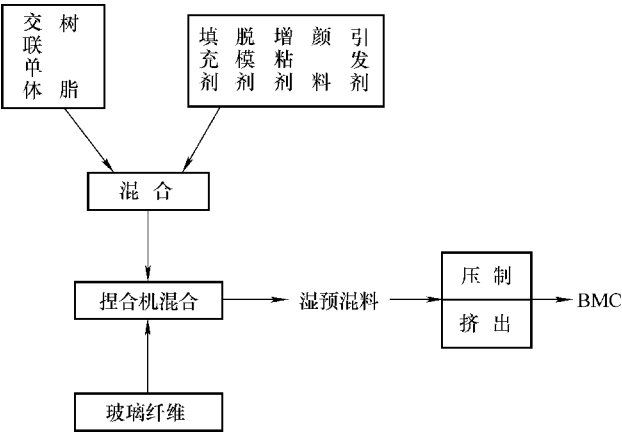


图 5-5 BMC 的成型工艺

（2）SMC 的成型工艺 SMC 的成型工艺如图 5-6 所示。SMC 是成整片状的模压料，所以通常用短切的玻璃毡作增强材料，毡片中玻璃纤维由可溶性粘合剂粘在一起。与 BMC 相比，SMC 的生产过程连续，周期短，成本低，其工艺说明如下。

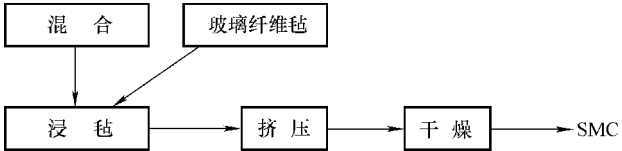


图 5-6 SMC 的成型工艺

1) 混合。与 BMC 相同。

2) 浸毡。因为增强材料为整张的玻璃纤维毡，所以不是在捏合机中捏合，而是在专用的连续浸毡设备中进行。该设备类似于压延机，两张玻璃纤维毡制成宽 40~50mm、厚 3~4mm 的长条，绕在卷筒上，两卷筒灌入树脂糊，树脂由内向外渗透。为了避免糊料流失及粘附设备，在毡的外表衬以聚氯乙烯薄膜。

3) 挤压。靠浸毡设备中的挤压辊挤压，起到促进浸透的作用。

4) 干燥。通过浸毡设备中的低温烘箱烘干，以加速树脂增稠。

3. 模塑料的注射成型

(1) 注射机 BMC 注射成型可采用柱塞式注射机，也可采用螺杆式注射机。考虑到 BMC 注射机与普通热固性塑料注射机的相似性，下面仅简单介绍一些特殊设计之处。

1) 加料系统。BMC 注射成型时，在 BMC 注射机上装有特殊形式的料斗和供料装置。机筒设有侧入口以便与自动加料装置相连接。供料装置装有液压活塞可把模塑料压入塑化机筒内，在螺杆旋转作用下进行输送和塑化。

2) 注射系统。BMC 注射机通常采用零收缩的直通式螺杆，或采用反压缩比的膨胀式螺杆，螺杆长径比相对较小，一般为 14~16，螺杆直径比同吨位普通热固性塑料注射机的螺杆要粗 20%~30%，螺槽深度尺寸应更大一些。这样，顺螺杆输料时可排除 BMC 料团内包裹的空气。螺杆为锥形，与机筒和喷嘴内轮廓配合。为克服反压缩比螺杆存在的回流损失大的缺陷，通常采用止逆环。

机筒是注射系统中另一个重要塑化部件，多采用整体式，要求耐高温、高压，耐磨，大多采用氮化钢或双金属材料。而喷嘴通常为直通式，孔口直径为 2~3mm。

螺杆传动可进行无级变速，以防止料团在机筒内固化而使螺杆扭断。

3) 加热系统。BMC 注射成型中，控制机筒温度十分重要，必须有一套温度控制系统控制供热，确保加料段到喷嘴的最佳温度。目前大多采用恒温水或恒温油加热方式，也可采用电加热套对机筒进行分段加热，并设置冷却水夹套，以备必要时作冷却之用。

(2) 模具 BMC 注射模的设计原理与普通热固性塑料注射模相似。对于 BMC 注射模，其特殊化设计包括以下几点：

1) 整个模具形状无尖锐过渡，浇口应尽量小一些，短一些，并且有 4°~5° 的斜度，且高度抛光。

2) 流道为圆形，直径为 3~7mm，且呈反锥度。应尽可能使流道短一些，且高度抛光。在多腔模具中应采用均衡流道系统，型腔与主流道旁通，且分流道尽可能短一些。

3) 浇口尽量设置在各个方向的流动达到均衡的位置上，在不均匀流动的地方，浇口应设置成使流动方向沿最关键尺寸的轴线。浇口尺寸应尽可能大一些，以使注射过程受冲击最小。

4) 设置合理的排气槽。

5) 选择最佳的顶出杆及其数量、位置。

6) 保证所有尺寸的紧密配合公差 ($0.0025 \sim 0.0050\text{mm}$)，并在每个合适的位置设置最小 2° 的脱模斜度。

7) 模具材料一般为工具钢，表面镀硬铬。对大型制品的模具，要求硬度达 $40 \sim 50\text{HRC}$ ，必要时，可采用镍-铬-钼合金钢。

BMC 注射模的加热方式主要有电加热、循环热油或蒸汽加热等。为保证模具表面温度的均衡性，国外已采用自动调温系统，如 sobar 加热技术和热芯 (hot-cone) 技术。

(3) 注射成型工艺

1) 机筒温度与模具温度。与其他热固性塑料一样，BMC 在机筒中受热塑化时同时发生两个过程：一是受热使树脂体系反应活性增加，树脂粘度降低；二是受热后其化学反应速度增大，形成分子间交联，体系粘度增大。这两个过程哪种占优势，主要取决于温度和受热时间。为便于操作，要求 BMC 在机筒温度下较长时间内保持低粘度的流动态。一般来说，机筒温度应取能满足 BMC 流动性的低限值，这样一方面可避免高温下料团在螺杆内的滑移，使压力与注射量难以控制，另一方面也可避免注射过程中因交联反应而难于操作。机筒温度一般分为两段或三段控制，靠近料斗端的温度较低，一般控制在 $20 \sim 60^\circ\text{C}$ ；靠近喷嘴端的温度较高，一般控制在 $70 \sim 90^\circ\text{C}$ ；经机筒塑化的 BMC 高速流经喷嘴和模具流道时达到最大流动性，具有极好的充模性，模具温度一般控制在 $135 \sim 185^\circ\text{C}$ 。

2) 螺杆转速及背压。注射 BMC 时，由于螺杆直径相对加大，其剪切作用相应增加；加之螺杆转速的提高，也会增大剪切作用，摩擦生热量也大，使玻璃纤维损伤增大。因此，为尽量减少玻璃纤维损伤，注射时应选择低螺杆转速，一般为 $20 \sim 50\text{r/min}$ 。

根据 BMC 的粘度，应采用较低的背压，以避免产生过多的摩擦热。背压值一般选用 $1.4 \sim 2.0\text{MPa}$ 。

3) 注射压力与注射速度。注射压力与注射速度对 BMC 的充模起着决定性作用。针对 BMC 流动性差、固化快以及模具结构复杂的特点，一般选择较高的注射压力，为 $80 \sim 160\text{MPa}$ 。

注射速度的选择取决于流道直径和模具排气速率。注射速度的提高，有助于提高制品表面质量，缩短固化时间，但不利于排气，并增加玻璃纤维取向程度。因此在保证制品表面质量的前提下，尽量采用较低的注射速度，通常为 $1.8 \sim 3.5\text{m/min}$ 。

4) 成型周期。成型周期是影响制品成本的主要因素，其中注射时间和保温时间对制品起着决定性作用。通常根据制品大小与复杂程度来确定注射时间和保温时间，注射时间一般为 $2 \sim 20\text{s}$ ，保温时间为 $10 \sim 20\text{s/mm}$ (厚度)。

4. BMC 注射制品常见缺陷及原因

BMC 注射制品的常见缺陷及原因分析见表 5-17。

表 5-17 BMC 注射制品常见缺陷及原因分析

常 见 缺 陷	原 因 分 析
表面灼伤	模具温度太高；注射速率太高；排气孔堵塞；机筒过热
表面波纹	保压时间太长、压力太大；注射速率太低；机筒温度太低
有面缩坑	注射压力低；注射量不够；制品在模内时间过长；保压时间短，压力小；充料不够
制品开裂	模具受热不匀；固化时间不够；保压时间与压力不够；注射时间与压力不够；注射速率太高；开模过早；模具不平
制品翘曲	模具受热不匀；固化时间不够；保压时间与压力不够；注射时间与压力不够；注射速率太高；开模过早；模具不平
内流痕	机筒（或模具）温度高；保压压力低、时间短；注射速率太低；浇口尺寸与位置不当；充料不够
粘模	模具温度太低；注射时间不够
制品发暗	注射压力太低；模具排气不畅；注射量不够；固化不安全
着色不均	模具温度不匀或太高；注射速率高；机筒温度太低；模具受污染
多针孔	模具与机筒温度太高；注射量太少；注射速率太高或太低；模具排气不良
固化不够	固化时间太短；模具温度低；机筒温度太低；注射速率太低；模具受热不匀

5.4.5 有机硅塑料的注射成型

有机硅塑料具有优异的耐高温性，耐低温性能也相当好，可在 -90 ~ 250℃ 环境中长期使用，耐辐射性能和化学稳定性好，防火、防潮，电绝缘性好，是国防工业和尖端技术不可缺少的材料。由于硅树脂的分子中含碳量少，所以有机硅塑料制品的难燃性和耐电弧性相当好。有机硅塑料材质致密性、流动性好，适用于注射成型。

有机硅塑料主要用于封装硅整流器、大功率晶体管、集成电路、电子元件、连接器、继电器、点火插塞等。

1. 有机硅注射料的组成

有机硅注射料的基本组成成分为：硅树脂 25%；填料 72%；脱模剂 1%；颜料 1%；固化剂 1%。

上述组成中的硅树脂预聚物是线型聚甲基苯基硅氧烷，在催化剂作用下，加热脱水可以缩合成体型结构；催化剂可采用氧化铝或碳酸铋，加二硅醇类化合物如二苯基硅醇、二苯基硅二醇等；填料常采用石英粉、二氧化硅、玻璃纤维等。

2. 有机硅注射料的工艺特性

1) 有机硅树脂吸湿性小，在水中浸渍 40h，质量仅增加 2%，成型收缩率为 0.5%。

2) 流动性好，固化速度慢，成型时需要较高的成型温度。

3) 有机硅树脂具有优异的耐热性，热变形温度为 230℃，在很高的温度下也只有少量分解，在 320℃ 的高温下氧化 1000h，失重率仅 2%，且力学性能受温度的影响很小。

3. 有机硅注射料的注射成型工艺条件（见表 5-18）

表 5-18 有机硅注射料注射成型工艺条件

工 艺 条 件	数 值
机筒温度/℃	
后部	65 ~ 80
中部	80 ~ 93
前部	88 ~ 108
模具温度/℃	170 ~ 216
固化周期（视制品厚薄而定）/s	30 ~ 60

5.5 热固性塑料无流道注射成型

无流道成型并非是真的没有流道，而只是初次注射时，树脂充满模具的流道系统，然后保持流道中的物料处于流动状态，可用于下一次充模，不再需要取出流道系统的冷料，而只是取出制品，所以称其为无流道冷料注射成型可能更为准确。

无流道注射成型必须在模具的流道处设置一个低温区，温度大致在 105 ~ 110℃ 范围，低于物料的固化温度，但要保持物料长时间处于最佳熔融流动状态不固化，并可继续用于下一模，流道板要采用热水或热油循环保温。而模具型腔是高温区，温度在 145 ~ 180℃ 左右。物料注入型腔后在受热与受压条件下交联固化，生成网状结构的既不熔化也不溶解的热固性塑料制品。

低温区与高温区之间通常要用石棉水泥板或环氧玻璃纤维板绝热。同时，还必须对模具定模底板和动模底板绝热。流道板处于高、低温界面，应用导热性差的合金钢制造。无流道注射成型要求严格的温度控制。

5.5.1 热固性塑料无流道注射成型的分类

热固性塑料无流道注射成型按其成型方式和模具结构可以分成三类，即延伸式喷嘴注射成型、绝热流道成型和热流道系统成型。

1. 延伸式喷嘴注射成型

延伸式喷嘴注射成型相当于机筒喷嘴延伸，即在机筒前端装有特殊形式的喷嘴。细长的喷嘴直接伸进模具，成为型腔的一部分，并与制品直接接触，熔体通过点浇口注入型腔，制品上只留下很小的浇口痕迹。因为模具的结构受到很大限制，所以这种结构只能成型单型腔制品和成型周期短的薄壁制品。

2. 绝热流道成型

将浇口及流道中的材料通过加热的方式，保持在加工温度，这就是绝热流道和热流道系统。绝热流道注射成型的流道设计得比较粗，熔融树脂从注射机的喷嘴注射到模具中，与冷的流道外壁接触的树脂，瞬间冷却凝固，在极短的时间内凝固层

的厚度达到平衡,冷固的物料形成隔热衬套,以保持流道中心的物料处于熔融状态,并保持到下一模注射,所以这种成型方法也称为隔热衬套式成型。

绝热流道注射(隔热衬套注射)与延伸式喷嘴注射相比有许多优点,但缺点是注射过程中有可能将固化区域的冷凝料带入型腔,大大降低了制品的质量,因此生产高质量的塑料零件时,需要使用热流道技术。

3. 热流道系统成型

热流道系统是通过加热装置加热流道板,控制注射模集流腔内的温度处于 $90\sim 120^{\circ}\text{C}$,低于物料的固化温度,保持集流腔内的物料长时间处于最佳熔融流动状态不固化,便于下一模注射时可继续使用,也称为无流道注射成型。

5.5.2 热固性塑料无流道注射成型的特点和注射料的选择

1. 热固性塑料无流道注射成型的特点

热固性塑料无流道注射成型与一般热固性塑料注射成型相比具有以下特点:

1) 节约物料,流道中的物料不固化,不需要每次注射后取出流道料,可为下一模使用,因此由流道产生的树脂损失少。

2) 开模量其实就是取出制品的开模量,所以同样的注射机行程,可以成型比普通流道尺寸更大的制品。

3) 不需要等到流道料冷却固化,开模行程又短,所以可以高速成型,提高生产效率。

4) 没有冷流道,流道中树脂温度不下降,流道中的压力损失小,可以降低树脂温度和注射压力。

5) 树脂温度低,提高可塑化能力,也可以改善制品的物理性能,降低注射压力,减少了制品的内应力,减小变形。

6) 型腔模板不需每次注射都滑动,可以使用点浇口成型,大型模具可以使用多点浇口成型。

7) 可以经济地以侧浇口成型单个制品。

8) 流道自动脱模,有利于实现注射工艺的自动化。

9) 省去了切割浇口的后加工工序,可降低制品成本。

10) 节电节能,增加经济效益。

无流道注射成型也存在一些缺点,绝热流道注射成型的流道料容易冷却固化,所以使用树脂及成型周期有一定的限制,不适合尺寸精度要求高的制品,而且开始操作时达到设定的条件很麻烦。热流道成型要增加加热装置及温度检测控制装置,温度控制精度较高,模具结构复杂,费用高。因为模具厚度增大,生产同样制品使用的注射机可能比较大,检修复杂。

2. 无流道注射料的选择

无流道工艺所用的热固性注射料,除一般要求外,还有其特殊要求。在机筒和

集流腔中有足够的流动性和良好的热稳定性。在模具型腔温度达 $(180 \pm 10)^\circ\text{C}$ 的高温条件下,注射料必须具有快速固化的性能,具有热刚性好及飞边少的特点。同一型号但不同批号的注射料其性能必须完全一致。

5.5.3 热固性塑料无流道注射成型设备

1. 注射机

热固性塑料无流道注射机和热塑性塑料注射机大致相似,主要不同点如下:

(1) 注射装置 与成型热塑性塑料相比,螺杆长径比略小,约为 $14 \sim 18$, 压缩比约为 $0.8 \sim 1.2$; 螺杆头为锥形,与机筒和喷嘴内轮廓相配合,并且螺杆前端不设止逆环,防止熔体回流;喷嘴为直通式,孔径为 $2 \sim 3\text{mm}$ 。保压阶段模温较高,喷嘴必须离开模具,以避免产生流延现象。熔体通过喷嘴时的温度约为 $110 \sim 140^\circ\text{C}$,为满足成型工艺要求,保持料温恒定,一般采用恒温控制的水加热系统。由于对热固性塑料的成型温度要求非常严格,且在发生紧急情况时需急速冷却机筒,故在机筒上还要设置冷却水套。

(2) 合模装置 热固性塑料注射机的合模装置一般采用充液式或稳压式,可进行排气动作。

2. 成型模具

(1) 流道结构设计 设计浇注系统时必须考虑物料的注射工艺和模具加工特点。例如注射时,因为物料有升温的趋势,模具也是加热的,不必担心流道因比表面积过大而散热的问题。为了尽量减少物料的消耗,可将流道的截面尺寸设计得比普通浇注系统更小一些,可以选用比表面积较小的梯形截面或圆形、半圆形截面的分流道。整个浇注系统的设计都必须保证物料的流动不出现死角,不会因为过热而交联固化。

(2) 其他设计注意事项

1) 流道板与模板之间必须有良好的绝热措施,防止流道板温度升高,流道内的物料发生交联固化堵塞流道。隔离方式可根据情况选择空气绝热和绝热材料绝热。

2) 模具温度必须准确控制,允许在 $\pm 5^\circ\text{C}$ 范围内波动。流道板和各个喷嘴温度应分别控制。

3) 流道板应选稳定性好、线胀系数小的材料,流道采用圆截面,有利于熔体保温和流动,一般直径为 $6 \sim 8\text{mm}$,在有玻璃纤维填料时应取较大值。

4) 流道应有与型腔相同的表面粗糙度,不能有物料滞留。

5) 喷嘴直径一般不小于 4mm ,带有 $0.5^\circ \sim 1^\circ$ 的倒角,便于拖出浇口料柄。

6) 在流道板上应设分型面,并配有挂钩式的开闭锁板,以备从流道板内取出固化物。

7) 流道容积应比一次注射塑料的总体积小,防止塑料熔体在流道内停留的时间过长,失去流动性。

图 5-7 为一个典型的无流道凝料模具结构图。

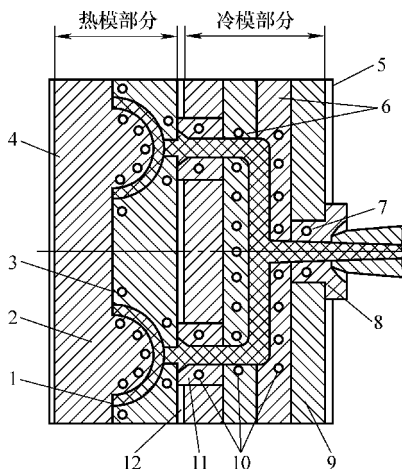


图 5-7 典型的无流道凝料模具结构图

1—型腔板 2—型芯板 3—加热器安装板 4—动模绝热板 5—定模绝热板 6—温流道板
7—主流道温水孔 8—浇口套 9—定模底板 10—分流道温水孔 11—温流道喷嘴 12—绝热板

并非所有的热固性塑料都适合采用无流道注射成型，具体要从其工艺性来考虑。采用无流道虽然可以减少流道凝料的损耗而降低成本，但由于此类模具结构相对复杂，价格通常会比普通注射模高 2~3 倍，因此不适合小批量制品的成型。采用无流道成型时，由于要使用较大的注射压力和较快的注射速度，而且浇注系统及型腔的控温还必须同时进行，因此不但注射机应有较大的功率，而且模具的加热功率也应比普通模具高 20%~30%。

5.5.4 热固性塑料无流道注射成型控温精度

控温精度的好坏是无流道注射成型工艺能否顺利进行的关键。集流腔温度偏高（ $>140^{\circ}\text{C}$ ）会造成集流腔中的熔体固化，从而造成分浇口堵塞而停机；集流腔温度偏低，则熔体流动性变差，流路阻力相应增大，熔体不易通过集流腔，易造成型腔中缺料，同时使注射时间、注射压力相应增加。当集流腔温度低于注射料熔融温度时，则易在集流腔中造成冷固化，同样会堵塞集流腔分浇口，造成停机。

控温精度 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 是相对于控温范围 $90\sim 120^{\circ}\text{C}$ 的某一特定温度，而这一特定温度是针对某种流动性的热固性注射料而言，绝不是 $90\sim 120^{\circ}\text{C}$ 之间可以通用。一般流动性大的注射料，其控温范围在 $110\sim 120^{\circ}\text{C}$ 之间；流动性小的料，则控温范围在 $90\sim 105^{\circ}\text{C}$ 之间。

油控温无流道热固性塑料注射工艺（称油控温注射工艺）的控温精度及注射稳定性与热油介质有很大关系。选定 1#导热油，通过测试及使用，该导热油具有下列优点：无毒、无味、不污染环境、无渗透现象、热稳定性好、抗氧化性能强，

长期连续工作后除色泽变深外,其他物理性能基本不变,使用寿命长,可达6kh;热传导性好、粘度小、热效率高、温度易控制,对设备无腐蚀现象,没有油质结焦现象,价格便宜。

油循环系统表面散热损耗较大,所以油箱油温应比集流腔温度高5~10℃。

5.6 热固性塑料无流道注压成型

热固性塑料注射压缩成型又称二次合模注射成型,简称注压成型,是将熔体稍微开启的模具型腔内,注射完毕,熔体固化前,通过外力进行二次合模,对物料进行压缩,使物料进一步密实,从而改善制品性能的一种注射方法。它是注射和压缩模塑的组合成型技术。而无流道注压成型技术,又把无流道注射工艺节料、节电的优点结合进去,使注压工艺进一步完善。

5.6.1 热固性塑料无流道注压成型设备

1. 注压机

注射压缩成型经过两次合模,所以注压机有专用的二次闭模缸,所用模具的型腔应带有密封边,且其容积应能改变。注压机可以用热固性塑料注射机改造,具体方法取决于机器的类型及其控制系统。在注射机控制系统中增加一个选择器开关,通过开关选择,注射机就能在无流道注压成型和普通热固性塑料注射成型之间转换,这种方法简单且改造费用低。

2. 注压模的结构特征

(1) 无浇口凝料 无流道部分的结构基本同无流道注射模。无流道注压模集流腔是低温区(90~120℃),确保熔融注压料能在较长时间(25~30min)内处于最佳流动状态,以便注压成型工艺的连续性。其控温方法及控温结构基本上与无流道注射成型工艺相同。

(2) 型腔部分结构特征 当熔融的注压料注入模具并充填型腔时,由于模具的两个分型面保留有压缩间隙,所以注压料对型腔壁的压力很小,有利于延长模具的使用寿命。第一次闭模后,不同结构的模具所留压缩间隙不同,由注射熔体所需的空間确定,一般选择在1.5~12.5mm之间,最好在2.5~5mm范围内。压缩间隙小于1.5mm时,不易充满型腔;大于12.5mm,模具完全闭合后,在型腔周围会出现大量飞边,浪费原材料。

(3) 注压模集流腔的结构特征 注压模集流腔周围的型腔最好均匀分布,使每一型腔充填的注压料量相等。集流腔的外形无一定要求,圆形或矩形的集流腔能使流道和型腔系统平均分布。低温集流腔与高温固化的型腔区采取隔热板和空气间隙隔热保温。

(4) 具有切断辅助流道的特殊装置与结构 当型腔注压料注满后,模具的定、

动模完全闭合，在定、动模闭合过程中首先堵塞型腔与集流腔间的辅助流道，使受热压的型腔中的注压料无法倒流，致使注射制品分子紧密，有利于提高制品的电性能及力学性能。

5.6.2 热固性注压料的选择

由于注压模中的集流腔及型腔控温范围较广，型腔的固化温度在 $150 \sim 195^{\circ}\text{C}$ 之间，集流腔的温度在 $75 \sim 125^{\circ}\text{C}$ 之间，控温精度在 $\pm 5^{\circ}\text{C}$ 内，所以许多热固性注射料都能应用这种成型方法，如酚醛、氨基、DAP、可溶性聚酰亚胺、有机硅、聚酯、醇酸树脂、环氧、三聚氰胺-酚醛等。按照模具结构及设计要求，这些注射料必须流过集流腔和注压料分配器的窄浇口及窄流道，阻力较大，而且模内的压制固化原理与模压工艺类似，所以无流道注压成型工艺对注压料的流动性、稳定性及快速固化性能有特殊要求：

1) 注压料的热稳定性要好，在机筒和集流腔内长时间停留粘度基本不变。当需要对模具进行清理或因操作故障需要停车时，这一点非常重要。

2) 熔融料进入高温区能快速固化，热刚性要好，各批注压料性能一致。

目前的热固性注射料虽然能够作为热固性注压料使用，但不是最佳注压料，最好是用专用料。

5.6.3 注射压缩成型工艺

注射压缩成型工艺过程如图 5-8 所示。

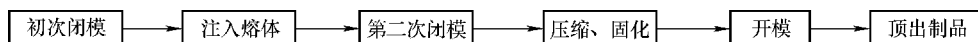


图 5-8 注射压缩成型工艺过程

(1) 初次闭模 成型开始，初次闭模，使模具在型腔厚度稍大于制品壁厚的位置上闭合。动、定模间保留一定的压缩间隙。这是一般注射成型与注射压缩成型的主要不同之处。

(2) 注入熔体 由机筒往模具型腔内注入精确计量的熔体。由于注压模的型芯部分设有台阶，虽然模具尚未闭合，但型腔中的熔体不会泄漏，这是注压模的关键。

(3) 第二次闭模 注射完毕，由闭模活塞向合模装置发出第二次合模的信号，开始第二次闭模，合模装置立即增大锁模力并推动带有型芯的动模板前进，同时使熔体开始向整个型腔扩展。

(4) 压缩、固化 模具完全闭合，型腔内的熔体在型芯的压缩作用下充满整个型腔，同时型腔中的熔体固化。

(5) 开模和顶出制品 制品固化后用专用闭模活塞在模具压力消失时开模，顶出制品。

无流道注压成型工艺与注压成型工艺相同,只是浇注系统采取了无流道技术。无流道注压模共有两个温度区域,即集流腔的低温区(包括主浇口、主流道、分流道、分浇口、辅助流道, $90 \sim 120^{\circ}\text{C}$)和动、定模型腔的高温区($165 \sim 190^{\circ}\text{C}$),一次合模间隙为 $2.5 \sim 5\text{mm}$,成型周期视制品结构及厚薄而定,一般为 $45 \sim 60\text{s}$ 。

5.7 反应注射成型、增强反应注射成型与结构反应注射成型

5.7.1 反应注射成型

反应注射成型(Reaction Injection Moulding, RIM)是一种成型热固性树脂的特殊注射成型方法。它是由低粘度、高活性的原料,经过高压碰撞混合,在型腔中发生聚合反应,直接固化成型为塑料制品的特殊注射成型方法。因为热固性树脂液态单体的聚合、聚合物的造型及定型是在一个流程中完成的,所以也称为“一步法”注射技术。

1. 反应注射成型的特点与应用

反应注射成型与一般热固性塑料注射成型相比有许多优点:

1) 液态单体和各种添加剂直接成型,省去聚合、配料和塑化等操作,成型工艺过程简化。

2) 液态物料的粘度低,充模时的流动性高,充模压力和锁模力都很低,仅为一般注射成型的 $1/100 \sim 1/40$,注射压力通常为 0.68 MPa ,能源消耗低。

3) 制品的硬度可从硬性体到类似橡胶状的弹性体;模具的再现性高,可清晰地呈现木纹和皮革纹等;制品有整体性表层结构,耐腐蚀,且可以着色。

4) 制品密度小,却具有很高的力学强度;发泡制品内应力小,不因壁厚不均、凸起部位、加强筋等导致收缩。

5) 适合成型大面积、薄壁和形状复杂的注射制品,单件可大于 50 kg ,且表面无熔接缝。

6) 成型设备和模具的造价低,大批量生产,投资为一般注射成型投资的 $1/4 \sim 1/2$ 。

7) 大幅度缩小注射机的体积,设备占地面积一般为螺杆式注射机占地面积的 $1/6 \sim 1/5$ 。

它的缺点主要是生产材料受限,仅限于聚氨酯等热固性树脂,而且硬质聚氨酯不适于成型 3mm 以下的薄壁制品。

反应注射成型(RIM)最初是德国在1964年开发的聚氨酯材料成型工艺,因为该成型工艺经济价值高,美国的汽车行业进行实用化研究,并成功地制造了聚氨酯汽车保险杠。此后,在不断改进反应注射机的基础上,开发了许多反应注射成型的材料,如不饱和聚酯、环氧树脂等快速固化类树脂,而且也可以用增强材料进行

增强。目前,反应注射成型的应用领域已十分广泛,由于设备的投资低,所以特别适合于成型汽车外覆盖件等大型制品,许多汽车的保险杠、车门、前挡泥板、后挡泥板等都该成型工艺。如用 RIM 成型的聚氨酯零部件,在汽车制造业中用来作方向盘、坐垫、头部靠垫、手臂靠垫、阻流板、缓冲器、防振垫、遮光板、载货汽车车身、冷藏车与冷藏库等的夹芯板;在电器工业中用于电视机、扬声器、计算机、控制台外壳等;在民用建筑方面用于家具、仿木制品以及管道、冷藏器、热水锅炉、冰箱等的隔热材料。

2. 反应注射成型工艺

反应注射成型用两种主液体,使用不同的催化剂、发泡剂和改性剂,可得到硬质或软质、密度不同的发泡体制品。反应注射设备一般都包括两组液料的供给系统和液料泵出、混合及注射系统。RIM 材料的固化时间一般少于 1min,通常是 20s,与大多数塑料加工过程不同,成型周期与制品壁厚无关。

目前大多数 RIM 材料皆以聚氨酯树脂为基础,聚氨酯反应注射成型的两种主浆料是多元醇和二异氰酸酯,每种原料浆中除树脂外,还常加入填料和其他添加剂。其成型过程通常由物料准备、计量、混合、充模、固化、后处理几个阶段组成,如图 5-9 所示。

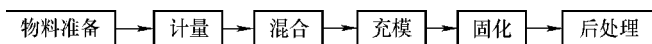


图 5-9 反应注射成型工艺流程图

(1) 物料准备 首先将异氰酸酯和多元醇两种原料分别放入两个容器内,精确控制物料的温度,对聚氨酯而言,原料液温度一般为 $20 \sim 40^{\circ}\text{C}$,温度控制精度为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

(2) 计量 两种原料分别通过各自的定量泵进行计量输出。要求计量精度至少为 $\pm 1.5\%$,最好控制在 $\pm 1\%$ 内。

(3) 混合 在 RIM 成型中,产品质量的好坏很大程度上取决于混合头的混合质量,生产能力则完全取决于混合头的混合量。一般采用的压力为 $10.34 \sim 20.68\text{MPa}$,在此压力范围内能获得较佳的混合效果。

(4) 充模 原料混合后发生化学反应,然后迅速、完全地注入模具型腔。此时应严格控制充模时间和原料温度。聚氨酯物料的初始温度不得超过 90°C ,型腔内平均流速一般不应超过 0.5m/s 。反应注射物料充模的特点是料流的速度很高,为此要求原液的粘度不能过高,聚氨酯混合料充模时的粘度为 $0.1\text{Pa}\cdot\text{s}$ 左右。

(5) 固化 聚氨酯双组分混合料在注入型腔后具有很高的反应活性,可在很短的时间内完成固化定型。但由于塑料的导热性差,大量的反应热不能及时散发,故而使成型物内部温度远高于表层温度,所以成型物的固化是从内向外进行的。应充分发挥模具的换热功能来散发热量,以便将型腔内的最高温度控制在树脂的热分

解温度以下。

反应注射模内的固化时间主要由成型物料的配方和制品尺寸决定。

(6) 后处理 反应注射制品从模内脱出后还需要进行热处理。热处理有两个作用：一是补充固化；二是涂漆后的烘烤，以便在制品表面形成牢固的保护膜或装饰膜。

5.7.2 增强反应注射成型与结构反应注射成型

为了进一步拓宽 RIM 应用领域，提高 RIM 制品刚性与强度，使其成为结构制品，出现了专门用于增强制品成型的增强反应注射成型（RRIM）和专门用于结构制品成型的结构反应注射成型（SRIM）等技术。RRIM 和 SRIM 成型工艺原理与 RIM 相同，其不同之处主要在于纤维增强复合材料的制备。

1. 增强反应注射成型

反应注射成型除用普通的原料浆作为成型物料外，还可用添加增强材料（如短纤维）的原料浆和有发泡能力的原料浆作为成型物料，以改善反应注射成型制品的力学性能和电性能等，这种成型方法称为增强反应注射成型（RRIM）。

(1) 塑料增强用材料及增强形式 塑料增强用材料主要有纤维类、片状及特殊粉状填料三类，最主要的是纤维类、超细无机填料、碱土稀土及新兴的金属材料。纤维类增强材料主要有石棉纤维、玻璃纤维、碳纤维、晶须等。根据增强材料的形状和成型方式，通常用以下三种形式进行增强。

1) 在液态原料中分散增强材料（长度 $\geq 0.2\text{ mm}$ ）。即预先在液态原料中均匀地混入短纤维或云母、玻璃薄片等板状物质，或微粒、微块等球形物质，或炭黑、石墨等不定型微粉状物质。该工艺简单，但强度较差，增强材料的形状因子（ L/d ）及其取向性对强度产生较大的影响。若取向度增大，则材料的各向异性明显。

2) 在模具中设置增强材料。即预先按设计长度切断纤维，成网状或交叉状层叠铺于模具内，与模具形状吻合。增强材料有玻璃纤维、碳纤维等。该方法操作比较复杂，但其复合材料的各种性能比短纤维增强的要好得多。

3) 同时使用上述两种方法。

(2) 增强反应注射成型聚氨酯（RRIM-PU） RRIM-PU 是在 RIM-PU 中加入增强剂玻璃纤维，不仅保留了 RIM 成型的优点，而且可大幅度提高弯曲强度，减小线胀系数。它可以替代钢材用于工业结构件，尤其是汽车配件，如制作汽车挡泥板、车头格子镶板、车门板、发动机舱盖以及汽车保险杠等，加入木粉可以用于制作窗框。

1) RRIM-PU 配方。采用炭化二亚胺改性的异氰酸酯（CM-MDI）和低聚合异氰酸酯改性的异氰酸酯（PAPI）混合物与丙烯腈-苯乙烯接枝改性环氧乙烷封端的聚醚二元醇（APG）为主要原料，不仅 RRIM 工艺性好，而且基体树脂 PU 性能优异。最佳配方为：

- A 组分

异氰酸酯

100g
- CM-MDI

63g
- PAPI

10g
- B 组分

封端聚醚二元醇 APG

100g
- 丁二醇

20g
- 二月桂酸二丁基锡

0.25g
- 玻璃纤维 MS-3

30g
- (或 ECS 1.0/550)

15g

A 组分与 B 组分配比满足 $n(-\text{NCO}) : n(-\text{OH}) = 1.04$ 。

RRIM-PU 性能见表 5-19。

表 5-19 RRIM-PU 综合性能

增强材料	弯曲模量/GPa	弯曲强度/MPa	拉伸强度/MPa	断裂伸长率 (%)	热下垂 (125℃/h)/mm	线胀系数 /(10 ⁻⁵ /K)
无	0.83	45.2	15.2	28.2	11.8	12.1
$\omega(\text{MS}-3) = 30\%$	2.58	71.6	20.6	6.5	5.2	5.9
$\omega(\text{ECS}) = 15\%$	1.36	62.5	18.5	4.8	1.1	4.5

2) 工艺流程。细玻璃纤维和玻璃纤维织物增强聚氨酯的成型过程如图 5-10 所示。

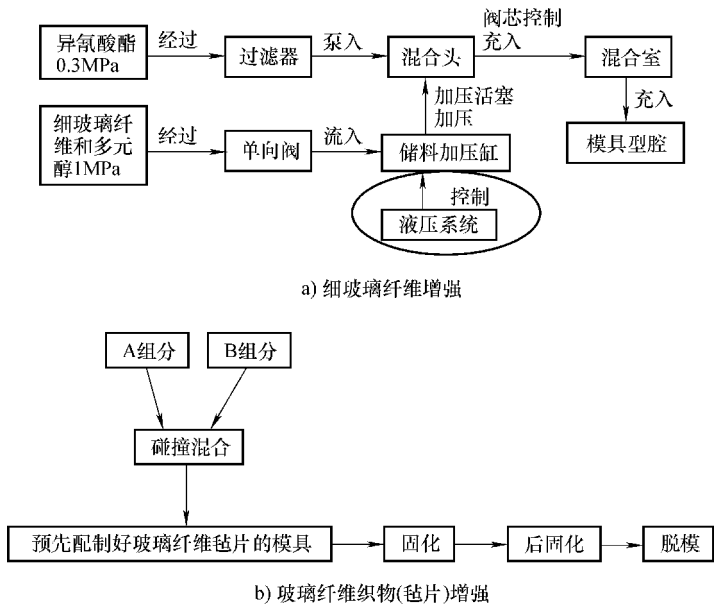


图 5-10 细玻璃纤维和玻璃纤维织物增强聚氨酯的成型过程

2. 结构反应注射成型

玻璃纤维织物（毡片）增强软、硬聚氨酯发泡的 RIM 成型称为结构反应注射成型，简称 SRIM，是 20 世纪 80 年代中期在 RIM 的基础上发展起来的成型方法。它是先将长玻璃纤维织物或毡片铺垫在模具中，再将两种液料输送到混合头中混合，然后注入模具型腔进行反应，并交联固化成型，从而得到不同厚度的泡沫制品，俗称“PUR-M”。

SRIM 不仅保留了 RIM 工艺的优点，而且制品的性能更为优越，不仅显著提高了聚合物材料的热稳定性，而且大大提高了材料的力学性能，使之成为高强度、高模量和高热稳定性的优质材料，可以作为结构材料使用。

SRIM 使用的增强材料，一般有玻璃纤维毡和碳纤维毡、尼龙毡、不锈钢纤维毡等，而使用最多的是玻璃纤维毡片。

5.8 液体注射成型

液体注射成型（Liquid Injection Moulding, LIM），是以热固性液体注射料为原料，通过液体注射机注入模具型腔，在一定的压力、温度、时间和固化剂的作用下，在模具内迅速固化成型而得到成型制品的成型方法。有时人们将液体注射成型同灌封、包封、浸渍等成型方法列为浇注成型。

5.8.1 液体注射成型的特点

液体注射成型（LIM）和反应注射成型（RIM）有相同之处，都是将液体从储存容器中先泵入混合头的混合室内进行混合，然后再由喷嘴注入模具型腔而固化成型的一种成型方法，两者最主要的区别在于是否使用固化剂，LIM 和 RIM 成型的主要区别见表 5-20。

表 5-20 LIM 和 RIM 的主要区别

成型方法	液体注射成型	反应注射成型
固化方式	在固化剂作用下，热固性树脂在模具型腔中经过加热固化成型	两种混合后的熔体在模具型腔中通过化学反应固化成型
成型制品	小型精密零件	大型制品
成型材料	环氧树脂、低粘度的硅橡胶	聚氨酯

液体注射成型工艺是 20 世纪 80 年代开发的新工艺，投资少，质量好，受到世界有关国家和地区重视，用液体注射成型代替传统的橡胶压延成型和常规注射成型有着广阔的前景。LIM 与一般热固性塑料注射工艺的对比见表 5-21。

表 5-21 LIM 与一般热固性塑料注射工艺对比

优点	① 工艺过程简化，投资少，能耗低，产品质量好 ② 成型压力低，通常在 0.49 ~ 1.96MPa，适宜于线圈封装 ③ 原料粘度低，流动性好，很容易渗入封装件的缝隙中，易成型外形复杂和薄壁制品 ④ 容易着色、混合和填充 ⑤ 生产效率高，成型周期短，小制品的生产周期是 2min，10kg 左右的中等制品的生产周期在国外只有 8 ~ 10min，产量高，可达一般热固性注射成型的 10 ~ 30 倍 ⑥ 树脂浪费少，劳动强度较小 ⑦ 低温低压注射，能耗小，模具造价低且使用寿命长 ⑧ 液体注射机结构轻、体积小，不需要专用的塑化驱动装置，重量与成本是一般热塑性注射机的一半
缺点	① 原料的粘度低，运输和生产过程中容易混入空气，产生气泡，使用时需要脱除气泡 ② 原料由主体树脂和固化剂组成，使用时才混合，当操作中断和结束时需要清洗混合器部件、装置等

5.8.2 液体注射成型设备和模具

1. LIM 成型设备

LIM 需专用的成型设备，主要由供料部分、定量及注射部分、混合及喷嘴部分组成，见表 5-22。

表 5-22 LIM 专用成型设备的组成及作用

名称	组 成	作 用
供料部分	由原料罐和原料加压筒等组成	在原料罐内装有加压板，在压缩空气或液压泵作用下向加压筒中的液体料施压，使主料和固化剂经过入口阀门输给定量注射装置
定量注射装置	由两个往复式定量输出泵和注射缸组成	当主料和固化剂进入定量泵后，经过出口阀和单向阀泵入预混合器装置内，然后在注射缸作用下，推动螺杆或柱塞给混合液料加压，并经过预混器、静态混合器和开关式喷嘴注入模具型腔
混合装置	预混装置	主料和固化剂进入混合器之前进行预混，防止不用注射缸而用定量泵直接注射时，由于两种组分不能同时流入混合器内充分地混合而导致的制品固化不均匀或不固化的现象
	机筒和静态混合器	主料和固化剂在混合装置中充分混合

LIM 的注射喷嘴应采用液压控制喷嘴，同时还装有水冷设备，一方面防止喷嘴溢料，另一方面防止物料在喷嘴处产生高温而固化。LIM 注射机的合模装置与通用注射机相同。

2. LIM 注射模具

若加工高粘度聚合物，成型模具与热固性塑料注射模具相同，由于 LIM 注射树脂的粘度很低，所以要特别注意模具型腔的排气问题。

5.8.3 液体注射成型常用的材料和成型工艺

1. LIM 工艺常用材料

LIM 工艺所采用的液态注射料有不饱和聚酯、环氧树脂、聚氨酯和有机硅等。正在开发的橡胶材料除了液体硅橡胶，还有聚氨酯橡胶、聚丁二烯橡胶等，主要用于生产小型精密制品和汽车、电器、医疗方面用的制品，如褥垫、电器绝缘件、线圈封装、电子电器的塑壳封装等。目前，国内只采用液态环氧注射料。LIM 原料的主料和固化剂的混合比例多采用 1：1，两种液体料一混合就开始固化反应，温度越高反应速度越快，固化时间越短。对 LIM 注射料的要求见表 5-23。

表 5-23 对 LIM 注射料的要求

性 能	要 求
储存期	储存期长而且稳定，室温下混合料可保存 24h 以上，以便在混合器中暂时保存
固化条件	在机筒内要有足够长的储存期，高温下固化时间短，注入模具型腔后能迅速固化
耐高温性	高温下力学强度高，热刚性好，不因脱模而发生变形
流动性	在常温或较低的预热温度下，流动性良好，在料斗中容易进料，同时要满足一定的充模速度和对线圈匝间的渗透能力，又不会造成漏模泄料，对注射机的机筒、螺杆及模具型腔磨损小
制品性能	固化的制品既要有一定的刚性，又要有足够的韧性，以保证各种几何形状的零件能在高、低温环境下工作
毒性	注射料本身及注射时放出的气体对人体无害

2. 成型工艺

(1) 工艺过程 LIM 成型工艺过程如图 5-11 所示。

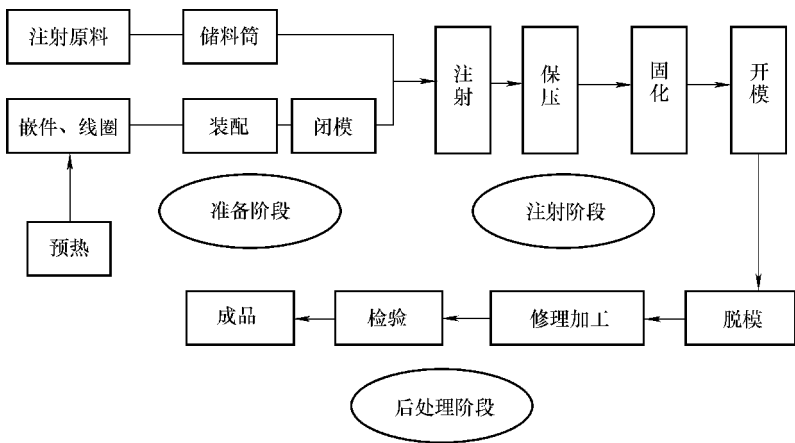


图 5-11 LIM 成型工艺过程

(2) 工艺条件

1) 预热温度。预热温度过低，料的粘度大，流动性差，注射速率低，固化速

度慢，制品易中空开裂；预热温度过高，流速快，机筒内储存期变短，原料在储料罐内粘度过早增大，甚至发生提前固化。预热温度一般在 30 ~ 60℃ 之间。

2) 模具温度。太高时排气不充分，易产生气孔，充模不畅，分层固化；太低时溢料严重，生产率低，固化时间长。一般生产时的定模温度为 90 ~ 150℃。

3) 注射压力。模内压力一般为 0.49 ~ 1.96MPa，属低压注射。注射压力过低，充模速度慢，气泡难于排出，制品死角处不易充满；注射压力提高，制品的冲击强度提高，但是注射压力过高，溢料严重，锁模力增大，喷嘴口易流延。

4) 注射速度。应和配方的固化条件和模具排气性能相匹配，过高时制品内混有气泡，过低时充模不良。

5) 锁模力。以注射时不产生飞边，制品不产生气孔为准。锁模力不足时溢料严重。

6) 保压时间。时间过短，树脂不能充分固化，在模内压力作用下物料向浇口反馈，制品疏松；时间太长，制品性能提高不明显，反而易使喷嘴头注射料局部固化，影响下一模注射，降低生产率。一般保压时间为 10min 左右。

7) 固化时间。固化时间短，则制品固化不充分，脱模时热刚性差，易顶裂；固化时间长，制品强度较好，但生产率太低。固化时间一般在 8 ~ 20min。

5.9 热固性塑料注射制品缺陷及产生原因

热固性塑料注射制品缺陷及产生原因见表 5-24。

表 5-24 热固性塑料注射制品缺陷及产生原因

制 品 缺 陷	原 料 原 因	工 艺 原 因	模 具 原 因	设 备 原 因
气 泡 鼓 出 表 面，制品变形	流动性太好；固化速度慢；水分含量高	固化时间太短；料温、模温低；注射压力低	模具加热不均匀；浇口太小；排气不良	注射量小
气泡到处鼓出表面，大多数破裂，制品不变形	水分含量大；挥发物多	固化时间太长；料温、模温太高；注射压力太高；注射速度太快	模具加热不均匀；加热源太接近型腔；浇口断面太窄；排气不良	—
料流汇合处的表面有气泡	流动不畅通，受到堵塞；固化速度太快	料温、模温太高；注射压力太低；注射速度太慢	喷嘴不合适；浇口断面太窄，浇口形状与装配不合适；流动方向有障碍物；毛边溢料沟太窄	注射量小
气泡封闭在表面内，呈多孔性，是注射缺料的前期	流动性太差；物料混合不均；水分和挥发物多	料温、模温太高；注射压力太低；注射速度太慢；保压压力太低，保压过早减压	浇口尺寸太小；流道太长；排气不良；螺杆磨损	注射量小

(续)

制 品 缺 陷	原 料 原 因	工 艺 原 因	模 具 原 因	设 备 原 因
气泡部位伴随有变色（由空气压缩引起烧蚀）	流动性太好；挥发物多	注射速度快；注射压力高；模温高	型腔的排气孔不畅通或堵塞；没设排气孔或排气孔少	注射量小
制品表面没有光泽或局部没有光泽	物料受潮；物料被污染；流动性太好；有挥发物渗出	料温、模温太高；注射压力太低；注射速度太慢；锁模力太低	模具表面粗糙；模具合模面受损伤，成型面不洁；型腔上附有一层蜡；型腔内有固化料；浇口、流道尺寸不合适；型腔排气孔不畅通或无排气槽	机筒有过度固化物料；注射量太小
制品末端未充满，局部缺料	流动性差，固化速度太快	料温太低或太高；注射压力太低；保压太低，保压时减压太早，保压时间短；加料量不足；模具温度过高或过低	浇口小，形状和位置不合适；流道小，太细、太长；制品壁厚太薄；排气槽少或排气不良；物料从排气孔泄漏；型腔有油污、脱模剂残留物	注射机最大注射量小于制品的质量
过分缺料，飞边太多	流动性太好，固化速度太慢	注射和保压压力太高；保压切换时间太晚；锁模力太低；加料量太大	型腔投影面积过大；模具精加工和密封不好；模具材料强度差	—
溢料（飞边多）	流动性好	注射压力太高；模具温度高；加料量多	分型面有间隙；各滑动配合部分有间隙	注射机注射量太大，锁模力太小
熔接痕	流动性差	注射压力低；注射速度慢；螺杆背压太高；机筒温度太高；模具温度高	模具没有排气槽；浇口位置不当	—
焦烧或变色	流动性差；物料对热敏感	料温、模温太高；注射压力太大；注射速度太快	浇口截面积太小	—
制品表面有凹痕（水迹）	流动性太好；料的湿度太大	锁模力、注射压力低；保压压力太低，保压时间太短；模温太高，固化时间短；料温低，注射速度慢	排气不合理，槽太深；浇口断面太大；飞边流出沟太宽；壁厚变化太大；流动方向有障碍物	注射机注射量太小
制品表面有划痕	材料中有杂质	热压时间太短	模具成型面划伤；脱模斜度太小；模具电镀层剥落	—

(续)				
制 品 缺 陷	原 料 原 因	工 艺 原 因	模 具 原 因	设 备 原 因
表面孔隙	—	模温高；机筒温度高；注射压力低；注射时间短	模具无排气孔或排气孔少	注射机注射量小
流动纹路	—	模具温度太高；机筒温度低；注射速度不当	制品壁厚太薄；模具浇口位置不当	—
制品表面有白色斑点	材料中有杂质；流动性差；固化速度太快；部分过度固化	固化时间太长；机筒温度太高；模具温度太高	模具清理不彻底；脱模剂用量不当；浇口断面太窄	机筒内残留已固化物料，清理不彻底
壁厚不均匀	流动性小	注射压力太高	型腔与型芯的位置偏差；浇口位置不当；型芯强度差，变形	—
翘曲变形	流动性太好；水分含量过大	注射压力、保压压力太低；保压时间太短；固化时间太长或太短；模温太低，冷却过早；锁模力不足	制品壁太厚或太薄；模具加热或冷却不均匀；浇口位置和形状不合适，使料流产生定向	—
尺寸稳定性差	流动性太好	注射压力、保压压力太低；保压时间太短；固化时间太长或太短；冷却过早；锁模力不足；加料量过多	浇口位置和形状不合适	—
裂痕，碎片剥落	流动性太好	固化时间短；注射压力太高；脱模速度太快	顶出装置不合适；脱模斜度太小；浇口小，位置不当	—
开裂	固化速度太快	注射压力太大；注射速度太快；未固化或固化过分	浇口位置、形状不合适，引起物料高度定向，产生内应力	—
制品内有空洞或混入未充分压缩的物料	流动性太好；固化速度太慢或太快	固化时间太短；料温太低；注射、保压压力太低；保压时间太短；模温太低或太高	浇口断面太宽；排气不充分	—

(续)				
制 品 缺 陷	原 料 原 因	工 艺 原 因	模 具 原 因	设 备 原 因
制品难脱模	成型收缩率太大；流动性太好；水分含量高	固化时间太长或太短；模温太高或太低；注射压力太高；加热时间短；未采用脱模剂	模具脱模斜度小；顶出装置不合适；模具加热不均；成型面表面粗糙度太高；模具凹槽受损	锁模力小，飞边太多
制品在模内粘连	流动性太好；水分含量高；固化速度太慢	固化时间太短；模温太高或太低	模具加热不均；成型面表面粗糙度太高；模具受污染	—
脱模时变形	—	模温低；加热时间短；注射压力太高	模具脱模斜度小；成型面表面粗糙度太高	脱模力不均匀
模具配件受损伤，嵌件歪斜、变形	流动性小	注射压力太高；注射速度太快；塑化不够；合模速度太快	嵌件的固定不可靠；固定销等没固定好	—

第 6 章 其他材料的注射成型

6.1 热塑性弹性体的注射成型

热塑性弹性体 (Thermoplastic Elastomer, TPE), 也称作热塑性橡胶 (Thermoplastic Rubber, TPR) 是指介于橡胶与塑料之间的一种新型高分子材料。在常温下具有硫化橡胶的高弹性能, 在高温下又可以塑化变形, 具有软质塑料的成型加工性能。由于不再需要像橡胶那样经过热硫化, 因而 TPE 能够使用现有的塑料加工机械和加工方法 (如压延、注射、吹塑等) 加工成最终产品, 具有品种多、用途广、耐热、耐老化、高温压缩永久变形小、尺寸稳定性优异等特点, 并且能够实现多次加工和回收再利用。目前常用于注射成型的热塑性弹性体有聚烯烃类、苯乙烯类、聚酯类、聚氨酯类、聚酰胺类和以聚氯乙烯为基础的弹性体。

6.1.1 聚烯烃类弹性体的注射成型

聚烯烃弹性体 (或热塑性聚烯烃弹性体), 根据各自特有的形态可分成三个不同的品种。第一种是通过机械共混烯烃类材料 (聚乙烯、聚丙烯和三元乙丙橡胶) 而制得的 (Thermoplastic Olefin Elastomer, TPO 或 TPOE); 第二种为热塑性硫化橡胶 (Thermoplastic Vulcanizate, TPV), 是在热塑性载体相中混合部分硫化橡胶相构成的; 第三种是单一相烯烃类弹性体, 这种材料仅有一个玻璃化转变温度, 被称为可熔融加工的橡胶 (Melt Processable Rubber, MPR)。

1. 工艺特性

对聚烯烃系弹性体来说, 剪切应力对剪切速率的依赖关系较小。在高剪切速率范围内, 剪切应力呈现较低的值, 而且剪切应力对 MFR (熔体流动速率) 的依赖关系较小, 在 MFR 较低时, 剪切应力没有大幅度升高, 因此成型时的表观粘度较低, 可在低压下成型。由于结晶度较低, 在加强筋部位不容易出现凹陷, 熔接痕不明显, 可以得到具有漂亮外观的注射制品。剪切应力和 MFR 的关系如图 6-1 所示。

聚烯烃弹性体不易吸水, 但要在相对

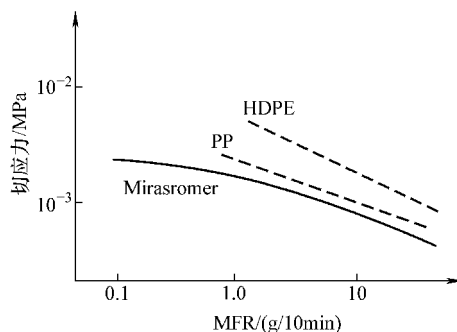


图 6-1 剪切应力和 MFR 的关系
(高剪切速率领域)

注: Mirasromer 为三井石油化学工业公司的聚烯烃弹性体

干燥的环境中储存。如果材料受潮，要在 85 ~ 95℃ 下干燥 1 ~ 3h。

2. 成型设备

(1) 注射机 聚烯烃系弹性体的热稳定性好，即使热分解，也不会产生腐蚀性气体，没有必要使用特殊规格的注射机，用普通注射机就可以加工。

(2) 模具

1) 浇注系统。可以使用非限制性浇口和限制性浇口。非限制性浇口压力损失小，可节约原材料，模具结构简单，缺点是不适用于箱形制品；限制性浇口在浇口附近的残留应力较小，使用多型腔模具时，容易保证浇口平衡，可简单除去流道的料柄，缺点是压力损失大。

对低 MFR 的材料（低硬度品级），把浇口设计得较粗（或较宽）时，可以得到内应力较小的优质制品。即使对高 MFR 的材料，加工大型产品时，将浇口设计得粗大一些，或者设计多点浇口，注射时压力容易平衡，同样可以得到内应力较小的优质制品。

2) 流道。使用多型腔模具时，各流道长度应均匀一致。为了使物料在模具内很好地流动并减少原材料损失，最好采用热流道的无料柄方式。

3) 冷却。模具冷却水槽的排列必须使制品的各部分均匀冷却，从而使制品均匀收缩，避免内应力。一般情况下，快速冷却时，收缩率较小，但降低模具温度时，熔体的流动性降低，易出现流动痕迹，影响制品外观，因此要避免过度冷却，模具温度以 20 ~ 50℃ 为宜。设计模具时，成型收缩率通常控制在 1.4% ~ 1.7%，应视制品大小、形状、壁厚，流道尺寸及位置不同而异，当特别要求尺寸精度时，必须进行局部修正。

3. 成型工艺

(1) 树脂温度 对聚烯烃类弹性体来说，品级不同，加工时的树脂温度有所不同，最重要的是根据模具的结构设定最佳成型温度。通常低、中硬度品级树脂的加工温度为 200 ~ 240℃，高硬度品级树脂的加工温度为 190 ~ 230℃。

(2) 注射压力 注射压力主要由制品与注射机的大小而定，加工聚烯烃类弹性体时的注射压力通常低于 PP、PE 等结晶型树脂的注射压力。当流道没有完全固化时，若降低保压压力，模具内的熔体会从流道倒流而产生凹陷。反之，如果保压压力过大，则卸压后制品内残存有内应力，会产生变形。加工薄壁制品时，冷却速度较快，必须采用较高的树脂温度、模具温度和注射压力，迅速地将熔融树脂注射到模具之中。加工厚壁制品时，收缩率较大，冷却时模具内的压力急剧降低，容易形成表面凹陷，为防止出现这种缺陷，在冷却时应通过保压压力来保持模具内的压力。

(3) 模具温度 通常模具温度控制在 30 ~ 40℃，若模具温度高于 50℃，虽然可以降低表面粗糙度，但冷却效率较低，成型周期较长，收缩率较大，因此必须依据对制品综合性能的要求，选择合理的模具温度。

(4) 注射速率 注射速率应从中速到快速以确保充分填充模具。

热塑性聚烯烃弹性体的注射成型工艺条件见表 6-1。

表 6-1 热塑性聚烯烃弹性体的注射成型工艺条件

工 艺 条 件	一般要求范围
机筒温度/℃	
后部	182 ~ 193
前部	193 ~ 227
喷嘴温度/℃	193 ~ 220
熔体温度/℃	193 ~ 215
模具温度/℃	20 ~ 50
注射压力/MPa	20.7 ~ 137.9
保压压力/MPa	注射压力的 1/3 ~ 1/2
背压/MPa	3.4 ~ 10
注射速率	中速-快速
螺杆转速/(r/min)	75 ~ 150
干燥条件	一般不需要干燥处理，若受潮可在 85 ~ 95℃ 下干燥 1 ~ 3h
机筒清洗	一般不需要
螺杆特征	通用级

6.1.2 苯乙烯类弹性体的注射成型

1. 苯乙烯类弹性体 (TPES) 的工艺特性

(1) TPES 的组成 由于 TPES 耐热性及耐候性较差，在工业领域 SBS（不饱和型）、SEBS（饱和型）共聚物通常并不单独使用，而是必须与填料、矿物油、助剂、颜料以及其他聚合物等组分混合，经复合挤出造粒后，才能通过成型加工制成制品使用。

TPES 中各组分的加入量很高，配方设计的灵活性较大，最终复合物中 SBS 或 SEBS 的质量分数一般在 25% ~ 50% 之间，因此其硬度范围较宽，邵氏硬度为 45A ~ 85A，物理性能与力学性能也有很大变化，表 6-2 为 TPES 中所含的各种组分及其作用。

表 6-2 TPES 中各组分及作用

组分	组 分 种 类	组 分 作 用
树脂	SBS、SEBS	基体树脂
填料	滑石粉、白垩粉、粘土等 硫酸钡、硫酸锶等	降低成本，对加工性和表观质量也有帮助 生产高密度复合物时用作吸音材料
矿物油	环烷烃 链烷烃 硅油	和 SBS 相容性好，可制得比较柔软的弹性体 和 SEBS 相容性好，不会渗出 和 SEBS 复合无毒性、透明，适用于医疗用品
助剂	抗氧化剂：受阻酚、硫化二丙酸酯 紫外线吸收剂：苯并三唑 阻燃剂：十溴联苯醚，三氧化二锑 三水合氧化铝，磷酸三苯酯	抗氧化 抗日光降解 可制得阻燃产品 可制得非卤阻燃产品

(续)

组分	组 分 种 类	组 分 作 用
颜料	钛白粉、炭黑 酚酞红（绿、蓝）、耐晒黄 G 等	不透明着色剂，兼具抗氧、防紫外线作用 透明着色剂
聚合物	PS	使高抗冲 PS 升级为超高抗冲 PS，弥补 HIPS 与阻燃剂共混时造成的冲击强度下降
	PP	SEBS 改善 PP 低温冲击强度，改善 PP 加工性能及耐溶剂性
	PS、PE	SEBS 可作为相容剂使两种不相容聚合物共混
	PPO、PC、PA、PBT、PET	马来酸酐改性 SEBS 可作为抗冲击改性剂

(2) TPES 的复合 TPES 的复合技术不太复杂，通常采用高强度密炼机将各组分按设计配方比例混合，加入平行同向旋转啮合自洁型双螺杆挤出机挤出成条，浸水冷却和风吹干燥后，通过切粒机切成直径 2.5mm、长度 3mm 的圆柱形颗粒。由于复合物柔软而富有弹性，切粒机的刀具要非常锋利，固定刀具和旋转刀具之间的间距要小，以便顺利切断条料，减少长条，提高产量。

(3) TPES 的流变性能 和其他热塑性塑料一样，SBS、SEBS 两类复合弹性体均表现出非牛顿流体行为，即粘度随剪切速率下降而增加（如图 6-2 所示）。但是由于 SBS、SEBS 两种中间橡胶段的化学结构有差异，所以二者的粘度-剪切特性有所不同。SBS 无需高剪切速率就能得到低粘度和易流动熔体，因此采用适中注射速率较好；相反 SEBS 需要在较高剪切速率下加工才能适当流动，所以要用高压压缩比螺杆以及较快的注射速率。

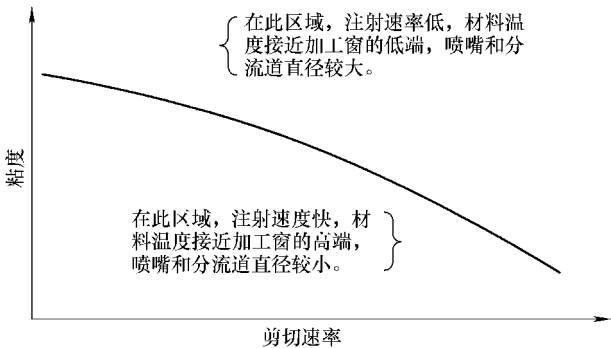


图 6-2 TPES 的流变性能

(4) TPES 的定向作用 TPES 在正常加工条件下呈各向异性并出现分子定向作用，它和施加于熔融弹性体的剪切作用有关，并且在垂直于流动方向比在流动方向显示出较大的刚性和弹性模量。通过降低注射压力和注射速度以及提高机筒及模具温度来减少对熔体的剪切，一般能缓解制品的定向作用。

2. TPES 注射成型

TPES 兼具热固性橡胶一样的弹性和柔软性及热塑性塑料相似的反复可塑性,可直接注射、挤出、吹塑成型,其中注射重叠成型是使用最为广泛的成型加工方法,能节省大量时间及加工费用。总的来说,以 SBS 为基础的复合弹性体,其注射成型工艺条件与聚苯乙烯相近;而以 SEBS 为基础的复合弹性体,其注射成型工艺条件与聚丙烯类似。然而 TPES 相对于其他热塑性塑料在流变性和加工行为方面有所不同,因此需要在成型工艺性能和模具设计制造方面特别加以注意,从而获得最适宜性能和理想外观的优质产品。

(1) TPES 注射成型模具 TPES 在大多数传统的注射成型模具中可以很好地成型,很少甚至无需修改,然而在设计专用于 TPES 的新模具时,以下一些基本原则应予考虑。

1) 主流道拉料杆。斜度为 2.5° 的标准主流道能够满足模制 TPES 弹性体的要求,但是对于较软的 TPES 弹性体,Z 型主流道拉料杆并不合适,常采用松树型、大头针型拉料杆,如图 6-3 所示。

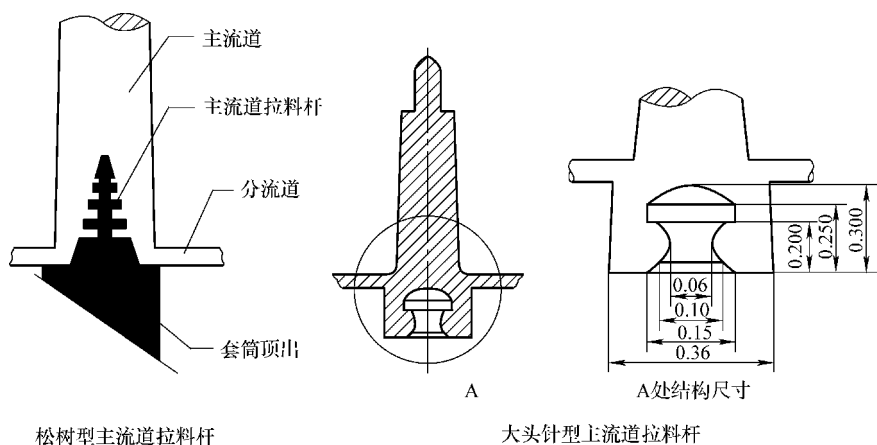


图 6-3 主流道及主流道拉料杆的类型及结构

2) 分流道及吸杆。多型腔模具分流道要平衡对称分布,使弹性体以相同的注射压力和注射速度充满型腔。为使分流道连同主流道及制品一起脱模,分流道转角处宜设置顶杆或分流道吸杆。

3) 流道。各种热塑性塑料常用的流道类型及尺寸,均能用于 TPES 弹性体的注射及重叠成型,并且效果良好。

4) 顶出机构。TPES 弹性体具有较高的表面摩擦力,有些品种非常柔软,需要根据产品结构和复合物硬度来设计制品顶出系统。一般推荐用顶板顶出制品较可

靠，型腔深度大的制品往往要用气体辅助顶出。机械顶出结合气体辅助，可消除真空，有助于带有较大嵌件制品的顶出。若使用顶针，直径应尽可能大些，并且位于制品壁厚较厚的地方，否则易造成制品变形。此外，模具型芯、侧壁设有 $0.5^{\circ} \sim 1.0^{\circ}$ 的斜度，模具表面喷砂也有助于制品顶出。

5) 收缩率。在设计 TPES 弹性体注射成型模具时，必须考虑收缩率。收缩率除和弹性体品种变化有关外，也随熔体温度、模具温度、注射压力和注射速度以及制品厚度而变化。

(2) TPES 注射成型工艺 通常 SBS 需要经受高的剪切速率，而 SEBS 不需要更高的剪切速率来确保完美的表面状况和良好的物理性能。用于 SBS 的注射机机筒温度范围视材料等级而定，一般为 $138 \sim 205^{\circ}\text{C}$ 。模具温度越高，表面质量越好。注射压力范围依据制品的表面积和加工条件而定，通常为 $20 \sim 138\text{MPa}$ 。为了避免注料过量，注射时间应尽可能地缩短。注射速率应依据流道的长度和制品的大小从慢速到中速。螺杆转速选用标准螺杆转速 ($30 \sim 80\text{r/min}$)。背压选择 $2 \sim 3.5\text{MPa}$ ，足以产生均质熔融体。

SEBS 的在高温、高剪切速率下更为稳定。其机筒温度通常是 $193 \sim 260^{\circ}\text{C}$ ，模具温度为 $27 \sim 80^{\circ}\text{C}$ 。为获得最佳的表面质量以及避免凝结，应采用较快的注射速度。螺杆背压要比 SBS 更高一些。表 6-3 详细地介绍了这两种材料的加工条件。

表 6-3 SBS 和 SEBS 热塑性弹性体的加工条件

参 数	SBS	SEBS
机筒温度/ $^{\circ}\text{C}$		
后部	149 ~ 171	182 ~ 210
前部	177 ~ 204	200 ~ 232
喷嘴	182 ~ 204	210 ~ 238
熔体温度/ $^{\circ}\text{C}$	< 204	193 ~ 260
模具温度/ $^{\circ}\text{C}$	10 ~ 49	27 ~ 80
注射压力/ MPa	20.7 ~ 137.9	20.7 ~ 137.9
保压压力/ MPa	注射压力的 $1/3 \sim 1/2$	注射压力的 $1/3 \sim 1/2$
背压/ MPa	1.7 ~ 2.1	3.4 ~ 14
注射速度	慢速-中速	快速
螺杆转速/(r/min)	30 ~ 80	25 ~ 150
干燥条件	不需干燥处理	不需干燥处理
机筒清洗	HDPE 或 PP	一般不需清洗
螺杆特征	最大压缩比为 2.5 : 1 或 3.0 : 1	通用级

3. TPES 重叠成型

所谓重叠成型是把弹性体重叠注射在塑料基底或嵌件之上，从而制造内部是硬质聚合物骨架，外层是软质弹性体的双组分结构制品。它既有弹性、刚性、防滑、

紧握的手感，又有隔热、减震、阻尼、绝缘的作用。

重叠成型有两种加工方法，即双组分材料注射成型和嵌件注射成型。

(1) 双组分材料注射成型（专用注射机及模具） 用双机筒注射机将硬质塑料和弹性体先后注入能够旋转或位移的模具中，形成兼具刚性和弹性的层叠制品。此法自动化程度高，生产工序简单，所用时间短，但需要采用专用设备和模具，是高度自动化的加工方法。

运用此法的专用注射机，两个机筒可相互平行排列，如日本日精公司的 DC 双组分塑料注射机和中国海天塑料机械公司的 HTS160 双物料（双色）注射机；两机筒也可垂直排列，如德国巴登菲尔德公司的 unilog B4 双组分塑料注射机。双组分材料注射成型示意图如图 6-4 所示。

(2) 嵌件注射成型（通用注射机及模具） 嵌件注射成型则是通过操作者或机械手将一件预先注射成型的硬质塑料件作为嵌件，安置于另一模具内进行弹性体重叠成型。此法需要两台通用注射机和两副模具，是半自动化的加工方法。嵌件注射成型示意图如图 6-5 所示。

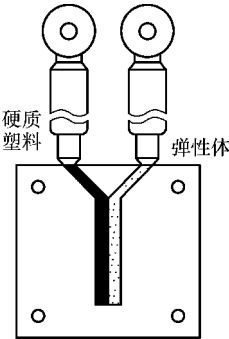


图 6-4 双组分材料注射成型示意图

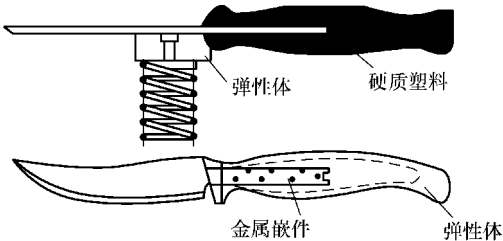


图 6-5 嵌件注射成型

具有代表性的 TPES 注射重叠成型工艺条件见表 6-4。

表 6-4 TPES 代表性注射重叠成型工艺条件

弹性体品种	SBS 复合弹性体	SEBS 复合弹性体	TPES “合金”
成型方式	通用注射	注射、重叠成型	重叠成型
机器类型	通用注射机	专用或通用注射机	专用或通用注射机
模具类型	二板或三板式	二板或三板式	二板或三板式
机筒温度/℃			
后段	170 ~ 180	190 ~ 210	175 ~ 215
中段	180 ~ 190	210 ~ 215	205 ~ 245
前段	185 ~ 195	215 ~ 220	210 ~ 250
喷嘴温度/℃	190 ~ 205	220 ~ 230	215 ~ 255
模具温度/℃	20 ~ 25	40 ~ 50	20 ~ 30
注射压力/MPa	4.9	4.9	4.2

(续)

弹性体品种	SBS 复合弹性体	SEBS 复合弹性体	TPES “合金”
保压压力/MPa	3.5	3.5	3.0
注射速率	中	快	快
注射时间/s	5 ~ 7	5 ~ 7	6 ~ 10
保压时间/s	2.5 ~ 3	2.5 ~ 3	3 ~ 4
合模时间/s	10	7	8
螺杆转速/(r/min)	30 ~ 40	40 ~ 50	75 ~ 125
螺杆背压/Mh	0.56	0.7	0.7
成型总周期/s	20	17	25

注：1. 弹性体干燥，(55 ~ 65)℃ × 3h；
2. 机筒清洗，PE 或 PP；
3. 弹性体回料利用率 15% ~ 20%。

(3) TPES 重叠成型注意事项

当重叠成型生产双组分材料制品时，为加强弹性体和硬质塑料层间的结合强度，减少制品分层、脱皮、溢料等现象，必须在成型工艺上采取嵌件干燥和化学粘接。

1) 嵌件干燥。部分硬质塑料嵌件如 PA、PC、PBT、PET、PPO、ABS 等具有吸湿倾向，其表面水分的存在会严重影响弹性体和塑料嵌件之间的结合强度。因此在使用嵌件注射成型法生产双组分制品时，嵌件必须预先干燥至水分在 0.02%（质量分数）左右；另外，弹性体颗粒在 50℃ 干燥 2 ~ 4h，对嵌件的结合和制品外观质量的改善也有帮助。

2) 化学粘接。将粘合剂如腈基丙烯酸酯涂在塑料嵌件表面能大大加强弹性体和塑料层间的粘接强度。此外，加快注射速度和提高熔体温度也能提高界面温度而促进化学粘接作用。但在重叠成型时切忌使用脱模剂，否则制品层间结合强度将严重受损。

6.1.3 聚酯类弹性体的注射成型

聚酯类弹性体（TPEE）具有优良的耐磨性、耐冲击性、抗弯曲疲劳性和回弹性，低蠕变，高的撕裂强度，良好的耐油性和耐化学腐蚀性，使用温度范围宽（-55 ~ 110℃），能以常用的热塑性塑料加工方法加工成型。

1. TPEE 的工艺特性

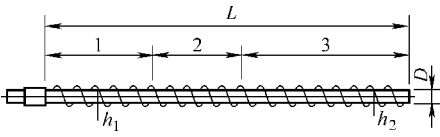
聚酯类弹性体对剪切力不像其他的弹性体那样敏感。它的熔体粘度强烈地依赖于熔融温度，因此可通过升高或降低机筒温度来控制。在正常加工温度范围内，TPEE 熔体具有较高的粘度，因此其主流道、分流道、浇口比尼龙的稍大，以便充满型腔。当模具温度足够高（65℃）时，注射压力可低至 20.7MPa。因此可以采用提高压力的方法来减小制品的收缩。对薄壁制品应选用高的注射速率，而对厚壁制品选用适中的注射速率即可。为防止在高温下聚合物降解，成型前物料必须干燥处

理，使其含水量必须小于 0.1%（质量分数）。

2. 注射机

TPEE 具有良好的加工性，可加工成各种形状、结构复杂的厚壁制品，用各种类型的注射机都能成功地加工 TPEE，而以往复式螺杆注射机塑化更为均匀。螺杆应使用渐变式螺杆（见表 6-5），螺杆过渡段不能太短，因为挤压弹性颗粒会产生较高的剪切热。螺杆的压缩比为（3~3.5）：1，太高的压缩比产生的效果如同过短的过渡段一样，而压缩比太小，树脂熔融不均匀。长径比（ L/D ）为（18~24）：1， L/D 大，可使熔融温度更加均匀，以提供良好的混合。

表 6-5 渐变式螺杆设计参数



螺杆直径 D/mm	加料段深度 h_1/mm	均化段深度 h_2/mm
38	6.35	2.03
61	8.13	2.64
63	9.65	2.79
69	10.16	3.17

小型注射机要求加料段螺槽深度最小为 5mm，以便于喂料。

因为 TPEE 具有较高的熔体粘度，在正常操作温度下不会流延，所以不需要使用关闭式喷嘴。

3. 注射成型工艺

（1）干燥 为保证制品质量，TPEE 成型之前必须干燥处理。注射成型要求树脂含水量小于 0.1%（质量分数），否则会引起聚合物水解，导致物理性能下降，制品性脆，在低温下性能下降尤为显著，因此树脂一旦暴露在空气中，成型之前必须重新干燥。TPEE 可用除湿空气烘箱干燥，干燥温度为 100~120℃，时间 2~3h，非除湿烘箱需 4~8h 或更长时间。

（2）机筒温度 TPEE 具有优异的熔融稳定性，成型条件可在较宽的温度范围内变化。为了减少粒料对螺杆的粘附，有时机筒温度采用逆向分布，即前面低后面高。成型薄壁制品时，熔融温度可高达 260~270℃，成型厚壁制品的熔融温度为接近聚合物的熔点温度。

（3）模具温度 模具温度低可缩短成型周期，使制品容易顶出；模具温度高有助于提高流动性，降低制品表面粗糙度。为使制品收缩最小，既要保持最低模具温度，又能完全充模，而使浇口不会过早冻结，一般控制模具冷却介质温度为 4~70℃，模具温度控制在 30℃ 左右。

(4) 注射量 为防止过分充模和粘附模具，在开始注射时，注射量宜少，以后逐渐增加，并调节注射压力，直到获得无溢边或凹陷的完好制品为止。注射时间（螺杆前进时间）随制品大小、形状不同而不同，最小注射时间是指制品质量达到最大而无溢边或其他缺陷所需的最少时间，但考虑到安全因素，在一定的熔融温度和模具温度条件下，在最小注射时间的基础上稍增加几秒为宜。

(5) 注射压力 成型 TPEE 注射压力为 40 ~ 95MPa，较高的注射压力可减少成型收缩率，但过高的注射压力可能发生 over 充模和粘模。保压压力约为注射压力的 50%。

(6) 注射速度 注射速度随制品厚度、几何形状等不同而不同，薄壁制品（小于 3mm）要求最大的充模速度，以防产生熔合线，厚壁制品（大于 6mm）采用较慢的充模速度，以防射流进入型腔引起湍流，造成制品表面粗糙。

(7) 保压压力 在浇口未封闭之前维持一定的保压压力，有利于改善制品质量，保压压力一般为在最高充模速度下的注射压力的 50% ~ 70%，缓冲垫约 6mm，可获得质量稳定、尺寸均匀的制品。

(8) 成型周期 成型周期由制品尺寸、熔融温度，模具温度等决定，薄壁制品约 15s，厚壁制品约 3min。如结构简单、壁厚为 6mm 的制品，成型周期为 1 ~ 1.5min。

(9) 螺杆转速和背压 螺杆转速的大小由保压时间和制品冷却时间而定，无添加剂时，转速为 60 ~ 100r/min，背压为 3.4 ~ 5.5MPa。如果加入添加剂（如浓缩颜料）可用较高的螺杆转速和背压，以便充分地混合。

聚酯类弹性体的注射成型工艺条件见表 6-6。

表 6-6 聚酯类弹性体的注射成型工艺条件

参 数	一般要求范围	参 数	一般要求范围
机筒温度/℃		保压压力/MPa	注射压力的 1/3 ~ 1/2
后部	154 ~ 220	背压/MPa	3 ~ 7
前部	182 ~ 244	注射速度	慢速-中速
喷嘴温度/℃	178 ~ 250	螺杆转速/(r/min)	60 ~ 100
熔体温度/℃	178 ~ 250	干燥条件	100℃ 下干燥 2 ~ 6h
模具温度/℃	20 ~ 65	机筒清洗	LDPE 或 HDPE
注射压力/MPa	40 ~ 95	螺杆特征	通用型

6.1.4 聚氨酯类弹性体的注射成型

聚氨酯弹性体（TPU）有聚酯型和聚醚型两个品种。聚酯型聚氨酯弹性体比聚醚型聚氨酯弹性体具有更高的拉伸强度，更好的耐臭氧、耐氧、耐油以及耐溶剂性，但是聚醚型聚氨酯弹性体具有更好的低温性能、耐水解性以及耐微生物侵蚀性，这两种材料具有相似的加工条件。

1. TPU 的工艺特性

TPU 是一种具有优异抗冲击性的热塑性弹性体，它是由线性的软段、硬段组成

的嵌段共聚物。硬段由于氢键与极性作用而聚集在一起，形成物理交联点。这些物理交联点在熔融温度下能熔融，流动。然而氨基甲酸酯在较高温度下易发生分解。由于 TPU 熔融温度接近甚至高于氨基甲酸酯的热分解温度，即在熔融阶段的热降解是不可避免的，且降解反应与所受剪切应力无关。这意味着大部分的降解反应发生在熔融阶段，所以在 TPU 进行熔融加工时，氨基甲酸酯热降解引起相对分子质量迅速下降，引发熔体粘度大幅度下降。而熔体粘度对剪切流动的方式不敏感，且分子链断裂不受剪切应力大小的影响。TPU 熔体的流动对温度更加敏感。TPU 具有吸水性，加工前必须干燥，使树脂含水量 < 0.05%（质量分数）。

2. TPU 的注射成型

TPU 可以使用各种热塑性塑料注射机来进行加工，加工的制品可从小到 1g 的精密零件到汽车所用的质量为 10kg 的大部件。螺杆可用气压装置或电动机驱动，但应具有足够高的转矩和旋转速度。加工温度取决于制品的硬度、设备的规格和加热区段的数量。对于不同硬度的 TPU 来说，一般选择如表 6-7 所示的温度。

表 6-7 不同硬度 TPU 的加工温度

硬度（邵氏 A/D）	75 ~ 90/28 ~ 40	90 ~ 95/40 ~ 52	>95/ >55
熔融温度/℃	180 ~ 210	190 ~ 225	210 ~ 245

由于 TPU 的熔体粘度较低，可以充满长的流道，所以只需其他热塑性材料注射压力的一半就可以充满模具。另一个优点是可用阶梯式压力进行加工。注射压力为 30 ~ 100MPa，保压压力 10 ~ 50MPa。模具温度在 15 ~ 65℃之间就足够提供最佳的表面状况和物理性能。当工艺条件正确时，熔体的颜色稍微呈现出由灰白色向淡黄色的变化。如果熔体内含有气泡，那么很可能是材料中含有水分，提高熔体温度可有效地去除熔体内的水分。注射机停机时，要用聚乙烯或聚苯乙烯清洗机筒以防残余材料的降解。聚氨酯热塑性弹性体的加工条件见表 6-8。

表 6-8 聚氨酯热塑性弹性体的加工条件

参 数		参 数	
一般要求范围		一般要求范围	
机筒温度/℃		保压压力/MPa	注射压力的 1/3 ~ 1/2
后部	170 ~ 194	背压/MPa	3 ~ 10
前部	182 ~ 215	注射速度	慢速-中速
喷嘴温度/℃	200 ~ 215	螺杆转速/(r/min)	20 ~ 100
熔体温度/℃	188 ~ 215	干燥条件	94℃下干燥 1 ~ 3h
模具温度/℃	15 ~ 65	机筒清洗	HDPE 或 PS
注射压力/MPa	30 ~ 100	螺杆特征	通用型

TPU 今后的发展方向应是在技术上改进耐热性并避免永久变形、发黄等现象。在应用方面，应是最大限度利用聚氨酯固有的优异特性，取代聚氯乙烯、橡胶、皮

革、金属等材料，大幅度提高产品质量和使用效率。

6.1.5 聚酰胺类弹性体的注射成型

聚酰胺类弹性体（TPAE）在成型前通常必须干燥到水含量小于 0.08%（质量分数）。通用级的螺杆就能使熔体熔融均匀，聚酰胺类弹性体的加工条件见表 6-9。

表 6-9 聚酰胺热塑性弹性体的加工条件

参 数	一般要求范围	参 数	一般要求范围
机筒温度/℃		保压压力/MPa	注射压力的 1/3 ~ 1/2
后部	178 ~ 254	背压/MPa	7 ~ 10
前部	200 ~ 260	注射速率	慢速 ~ 中速
喷嘴温度/℃	210 ~ 250	螺杆转速/(r/min)	80 ~ 150
熔体温度/℃	204 ~ 260	干燥条件	78 ~ 94℃ 下干燥 2 ~ 6h
模具温度/℃	10 ~ 80	机筒清洗	HDPE
注射压力/MPa	35 ~ 130	螺杆特征	通用型

6.1.6 聚氯乙烯类弹性体的注射成型

聚氯乙烯类弹性体（TPVC、TCPE）由于对剪切力的敏感性和高温降解性，所以它的加工条件范围相当窄，只有在最低的加工温度和剪切条件下才能产生出合格的制品。用这种材料制成的产品具有透明性、韧性、高度的表面光滑性和极好的弹性。该材料的加工条件见表 6-10。

表 6-10 聚氯乙烯热塑性弹性体的加工条件

参 数	一般要求范围	参 数	一般要求范围
机筒温度/℃		保压压力/MPa	注射压力的 1/3
后部	160 ~ 171	背压/MPa	0 ~ 2.5
前部	176 ~ 199	注射速度	慢速 ~ 中速
喷嘴温度/℃	182 ~ 199	螺杆转速/(r/min)	30 ~ 50
熔体温度/℃	204	干燥条件	不需要干燥处理
模具温度/℃	20 ~ 65	螺杆特征	通用型
注射压力/MPa	20 ~ 100		

6.1.7 热塑性弹性体注射成型中的注意事项及影响因素分析

1. TPE 的干燥

根据材料的特性和供料情况，一般在成型前应对材料的外观和工艺性能进行检测。供应的粒料往往含有不同程度的水分、溶剂及其他易挥发的低分子物，特别是具有吸湿倾向的 TPE 含水量总是超过加工所允许的限度。因此在加工前必须进行干燥处理，并测定含水量。在高温下 TPE 的水分含量要求在 0.05%（质量分数）

以下,甚至是 0.02% ~ 0.03% (质量分数),因此常用真空干燥箱在 75 ~ 90℃ 干燥 2h。已经干燥的材料必须妥善密封保存,以防材料从空气中再吸湿而丧失干燥效果。采用干燥式料斗可连续地为注射机提供干燥的热料,有利于简化作业、保持清洁、提高质量、增加注射速率。干燥料斗的装料量一般为注射机每小时用料量的 2.5 倍。

2. TPE 配色

以 SBS 为基础的 TPE 在颜色上优于其他大多数 TPE 材料。只需要少量的色母料就可达到某种特定的颜色效果,而且所产生的颜色比其他 TPE 更为纯净。一般来说,色母料的粘度应比 TPE 的粘度低,这是因为 TPE 的熔体流动速率比色母料的高,这将有利于分散过程,使颜色分布更加均匀。

对于以 SBS 为基础的 TPE,推荐采用聚苯乙烯类色母料。对于以较硬的 SEBS 为基础的 TPE,推荐采用聚丙烯 (PP) 色母料。对于以较软的 SEBS 为基础的 TPE,可采用低密度聚乙烯或乙烯醋酸乙烯共聚物色母料。对于较软的品种,不推荐采用 PP 色母料,因为复合材料的硬度将受到影响。

在注射重叠成型时,使用聚乙烯 (PE) 色母料可能会对基体的粘结力产生不利的影响。

3. 清洗机筒

新购进的注射机初用之前,或者在生产中需要改变产品、更换原料、调换颜色或发现塑料中有分解现象时,都需要对注射机机筒进行清洗或拆洗。清洗料一般用塑料原料 (或回收料),对于 TPE 材料,可用所加工的新料置换出过渡清洗料。

4. 模具的填充、保压

在熔体填充模具型腔的过程中,如果制品的填充性能不好,就会发生压力降低过大、填充时间过长、填充不满等情况,从而使制品存在质量问题。为了提高制品在成型时的填充性能,改善成型制品的质量,通常将注射压力的控制分为一次注射压力、二次注射压力 (保压) 或三次以上的注射压力的控制。压力切换时机是否适当,对于防止模内压力过高、防止溢料或缺料等都是非常重要的。模制品的比体积取决于保压阶段浇口封闭时的熔体压力和温度。如果每次从保压切换到制品冷却阶段的压力和温度一致,那么制品的比体积就不会发生改变。在恒定的注射温度下,决定制品尺寸最重要的参数是保压压力,影响制品尺寸公差的最重要的变量是保压压力和温度。例如在充模结束后,保压压力立即降低,当表层形成一定厚度时,保压压力再上升,这样可以采用低锁模力成型厚壁的大制品,消除塌坑和飞边现象。

5. 废料再利用

对于 SEBS 复合材料,回收料的利用比例可高达 80%。黑色材料可容纳较高比例的回收料。原色、浅色或透明的复合材料将较易显示出污染或色变。在停留时间很长或回收料比例很高的情况下,黄色、红色、蓝色和绿色的有机颜料更有可能改

变颜色。对于 SBS 复合材料,回收料比例应维持在 25% 以下。将所得的回收料放入粉碎机中粉碎成小颗粒,然后与新料混合使用。

6. 注射工艺条件的影响

对制品的评价主要有三个方面,第一是表面质量,包括完整性、颜色、光泽度等;第二是尺寸和相对位置间的准确性;第三是与用途相对应的力学性能、化学性能、电性能等。这些质量要求又根据制品使用场合的不同,要求的尺度也不同。

注射工艺条件的调节是提高制品质量和产量的必要途径。由于注射周期本身很短,如果工艺条件掌握不好,废品就会源源不绝。在调整时最好一次只改变一个条件,多观察几次,如果压力、温度、时间一起调则很易造成混淆,出了问题也难以找出原因。调整的措施、手段是多方面的,如解决制品注不满的问题就有十多个可能的解决途径,要选择出解决问题症结的一、二个主要方案,才能真正解决问题。此外,还应注意解决方案中的辩证关系,如制品出现了凹陷,有时要提高料温,有时要降低料温;有时要增加料量,有时要减少料量。要承认逆向措施解决问题的可行性。

7. TPE 注射制品的表面问题及解决方案

TPE 注射制品出现表面问题的主要原因是原料的品质太差,其次也和注射过程的一些参数设置有关。

(1) 白化

1) 现象。指稳定剂等配合剂迁移至制品表面,其表面像喷上粉一样呈现出一种白色现象。

2) 原因。主要是由于稳定剂过量配合或与聚合物不相容而引起的。

3) 解决方案。出现这类问题时,首先应选择与聚合物相容性好的稳定剂或将稳定剂的用量控制在最佳范围。其次,更换成相对分子质量高的稳定剂也是十分有效的解决方法。另外,也有通过迁移至制品表面发挥其功能的稳定剂,如抗静电剂、润滑剂等。对这种助剂来讲,最好选择即使迁移也难以出现白化的配合剂。热塑性弹性体在一般的环境下使用时很少会出现白化的问题,但在高温、潮湿、户外长期使用的场合,为提高耐久性,在配方设计时增加了耐热稳定剂(防老剂)、耐候稳定剂等,因其在高温下极易迁移,所以在选择配合剂时应引起高度重视。

(2) 发粘

1) 现象。软质热塑性弹性体表面更容易产生发粘的现象。

2) 原因。主要是成型温度过高,聚合物因热分解而形成低相对分子质量物质的缘故,或是因老化而生成低相对分子质量聚合物和增塑剂、稳定剂迁移至表面而引起的。但无论属哪种情况,采用红外光谱法(IR)等分析手段,通过分析发粘成分便能够比较容易地确定出与此相关的物质。尽管机筒的设定温度本身未达到热分解温度,但在成型工艺中的剪切生热有时也会使其暂时达到分解温度。

3) 解决方案。降低成型温度、低剪切化和用氮气净化成型机液压缸体内部都是十分有效的解决方法。另外,在停机时段,胶料长时间以熔融状态滞留在机筒内,有时也会因热老化而发粘。在高温下使用的制品很容易出现发粘的现象。因此稳定剂、增塑剂种类和用量的选择是非常重要的。

(3) 老化

1) 现象。制品力学性能明显降低,表面质量变差。

2) 原因。与无机材料和金属材料相比,高分子材料的耐热、耐紫外线性较差,易引起制品老化。多数制品因老化而使其力学性能明显降低,表面质量变差。

3) 解决方案。通过配合耐热、耐候性稳定剂,在一定程度上可以抑制老化现象的产生。

6.2 发泡塑料的注射成型

发泡塑料是以热塑性或热固性树脂为基体,其内部具有无数微小气孔的塑料。发泡是塑料加工的重要方法之一,现在基本上所有的塑料都可以发泡为泡沫塑料。工业上的制备方法有挤出发泡、注射发泡、模压发泡、压延发泡、粉末发泡和喷涂发泡等。其中注射发泡是最重要的成型方法之一,在这里仅介绍注射成型发泡。

6.2.1 塑料的发泡方法

塑料的发泡方法根据所用发泡剂的不同可以分为物理发泡法和化学发泡法两大类。

1. 发泡剂

对于发泡塑料,其发泡倍率与所用发泡剂的浓度有关。发泡剂浓度过高,一方面成本高,另一方面注射周期长,产品容易变形,而且制品内部泡孔分布不均匀,影响整体强度;发泡剂浓度太低,则注射工艺与普通注射成型相似,制品仍然存在收缩现象。常用的发泡剂可简单粗分为物理发泡剂与化学发泡剂两类。

(1) 物理发泡剂 对物理发泡剂的要求是无毒,无臭,无腐蚀作用,不燃烧,热稳定性好,气态下不发生化学反应,气态时在塑料熔体中的扩散速度低于在空气中的扩散速度。常用的物理发泡剂有空气、氮气、二氧化碳、碳氢化合物、氟利昂等。使用物理发泡剂时,可以利用安装在机器上的发泡剂注入设备,将发泡剂注入到塑料熔体中去。

(2) 化学发泡剂 化学发泡剂是一种受热能释放出气体(如氮气、二氧化碳等)的物质,对化学发泡剂的要求是分解释放出的气体应无毒,无腐蚀性,不燃烧,对制品的成型及物理、化学性能无影响,释放气体的速度能控制,发泡剂在塑料中具有良好的分散性。应用比较广泛的无机化学发泡剂有碳酸氢钠和碳酸铵,有机化学发泡剂有偶氮甲酰胺和偶氮二异丁腈等(见表6-11)。

表 6-11 常用的有机化学发泡剂

名 称	代号	分解温度/℃	分解气体	发气量/(mL/g)	适用 树 脂
偶氮甲酰胺	ADCA	165 ~ 200	N ₂	220	PE、PS、PVC、ABS
偶氮二异丁腈	ABIN	110 ~ 125	N ₂	135	PVC
苯基磺酰肼	BSH	90 ~ 100	N ₂	130	PVC、PE
氧化二苯基磺酰肼	OBSH	150 ~ 160	N ₂	110 ~ 130	PVC、PE

化学发泡剂粉料可以预先造粒，然后加入塑料中，也可以在注射成型前将其混入塑料中，或者直接在机器上通过计量设备掺混到塑料中去，加入量为 0.3% ~ 0.7%（质量分数）。

2. 物理发泡法

简单地讲，物理发泡法就是利用物理的方法来使塑料发泡，一般有三种方法：

- 1) 先将发泡气体在压力下溶于塑料熔体或糊状物中，再经过减压释放出气体，从而在塑料中形成气孔而发泡。
- 2) 通过对溶入聚合物熔体中的低沸点液体进行蒸发使之汽化而发泡。
- 3) 在塑料中添加空心球而形成发泡体。

物理发泡法所用的物理发泡剂成本相对较低，尤其是二氧化碳和氮气不但成本低，而且又能阻燃、无污染，因此应用价值较高；物理发泡剂发泡后无残余物，对发泡塑料的性能影响不大。但需要专用的注射机以及辅助设备，技术难度大。

3. 化学发泡法

化学发泡法是利用化学方法产生的气体来使塑料发泡。通常是对加入塑料中的化学发泡剂进行加热使之分解释放出气体而发泡，另外也可以利用各塑料组分之间相互发生化学反应释放出的气体而发泡。

采用化学发泡剂进行发泡注射成型的工艺基本上与一般注射工艺相同。塑料的加热升温、混合、塑化及大部分的发泡膨胀都是在注射机中完成的。

不论选用哪一种塑料原料，也不论采用哪一种发泡方法，其发泡过程一般都要经过形成气泡核，气泡核膨胀，泡体固化定型等阶段。

6.2.2 结构发泡注射成型

结构发泡成型属于化学发泡法，它是注射成型工艺技术中的一次革命。它保留了传统注射成型工艺的许多优点，又避免了传统注射工艺中遇到的一些问题，如制品强度不够、生产周期太长、模塑率低等。另外，采用结构发泡技术还可成型大型复杂制品，使用低成本模具，多型腔可同时操作，从而降低了制品生产成本。结构发泡材料是一种具有致密表层的连体发泡材料，是省材、节能、用作工程结构件的理想材料。结构发泡制品具有高刚度、质量轻（密度在 0.1 ~ 0.6g/cm³，比不发泡制品降低 20% ~ 25% 左右）、尺寸稳定性好、内应力小、不易变形、表面光滑平整、可减少加强筋、表面致密、可以进行表面处理等特点。

1. 结构发泡注射成型方法

结构发泡注射成型方法很多,但归纳起来可以分为三种:低压发泡法、高压发泡法和双组分发泡法。

(1) 低压发泡法 低压发泡法注射成型与普通注射成型的区别在于其模具的型腔压力较低,约 $2 \sim 7\text{MPa}$ (普通注射为 $30 \sim 60\text{MPa}$)。低压发泡注射一般采用欠注法,即将一定量的塑料熔体(含有发泡剂)注入型腔(不能注满),发泡剂分解出来的气体使塑料膨胀而充满型腔。

在普通注射机上进行低压发泡注射成型,一般是将化学发泡剂与塑料混合,在机筒内塑化,但必须采用自锁式喷嘴,阻止塑料熔体在储料筒中提前发泡。注射时,由于气体的扩散速度很快,会造成制品的表面粗糙,因此注射机的注射速度要足够快。一般采用增压器来提高注射速度和注射量,使注射动作在瞬间完成。

低压发泡注射成型可生产大型较厚的制品;制品表面致密,可以印刷或涂层;型腔压力小、锁模力小、生产成本低。缺点是表面光泽度较差,可以通过提高模具温度来改善。

低压发泡注射成型常用的材料有PS、PE、PP、PPO、PC、PA及PU等。所采用的发泡剂多为化学发泡剂。发泡剂的种类、性质和用量与塑料品种及制品的结构形状有关。一般按加料质量的 $0.3\% \sim 0.7\%$ 加入发泡剂。

(2) 高压发泡法 高压发泡法的型腔压力为 $7 \sim 15\text{MPa}$,采用满注方式,即一次注射量正好等于模具型腔的容积。为了使制品得到发泡膨胀,可以采用强制扩大型腔,或者使一部分塑料分流出型腔。采用扩大型腔法的注射机与普通注射机相比,增加了二次合模保压装置,当塑料和发泡剂的熔融混合物被注入到型腔后延时一段时间,然后合模机构的动模板向后移动一小段距离,使模具的动模和定模稍微分开,型腔扩大,型腔内的塑料开始发泡膨胀。制品冷却后在其表面形成致密的表皮,由于塑料熔体的发泡膨胀受到动模板的控制,因此也就可以对制品的致密表层的厚度进行控制。动模板的移动可以是整体移动,也可以是部分移动使局部发泡,从而得到不同密度的制品。

高压发泡注射成型的制品表面平整、清晰,能体现出型腔内的细小形状;缺点是对模具的制造精度要求高,模具费用高,对注射机的二次锁模保压的要求高,使很多普通注射机不能使用。

(3) 双组分发泡法 双组分发泡注射成型是一种特殊的高压结构发泡注射成型方法,需要采用专门的双组分注射机。这种注射机有两套注射装置:一套用来注射制品的表层,一套用来注射制品的芯部。在注射时,先注入皮层物料,然后通过同一浇口再注入混有发泡剂的芯部材料。由于芯部材料呈层流状态流动,这就保证了芯部材料被均匀地包覆在皮层内部,使型腔得到完全填充。当熔体填满型腔后,再注入少量不含发泡剂的熔体,使浇口封闭。制品取出后,再去掉浇口即得到具有不发泡致密表层和发泡芯部的轻质制品。对于大型制品,芯部可以掺用下脚料、填

废料、废料、纸等，从而大大地降低了制品的生产成本。

2. 模具特点

结构泡沫塑料注射模具结构从总体上来看和一般注射模基本一样，有成型零件、浇注系统、顶出机构、抽芯机构、导向零件以及温度调节装置等。与一般注射模相比，由于塑料注入量小，注射压力小，故型腔受力小，可用低强度的金属（如铝等）做型腔，造价低，制作周期短，但使用寿命长的理想材料还是钢。

浇口位置关系到制品质量，既要考虑熔接痕，又要不影响外观。浇口形式一般用直浇口，长度尽量短，减少入口压力损失。

3. 结构发泡注射成型工艺

结构发泡注射成型系统由电动机、齿轮减速器、二阶螺杆、注射储料缸和能单独控制的多点注射喷嘴等部分组成。传统的注射工艺是热塑性树脂通过料斗进入注射机机筒，通过一阶螺杆在机筒内的旋转，对树脂进行输送、压实、塑化。而结构发泡注射工艺是发泡剂进入螺杆之前，物料在第一阶螺杆的混合塑化过程中已产生高背压，物料和发泡剂在高背压下混合，通过第二阶螺杆的塑化混合，形成气体和高聚物的均匀混合物，气体溶解进入聚合物，形成了单相熔体和极微气囊的混合体组合，该混合体被压进一个或多个注射缸，并依靠压力来防止气体发泡直到注射进入模具。混合体通过多点喷嘴充满模具，熔体接触到模具冷的表面，形成一层几乎是固体的表层，内芯通过发泡气体膨胀形成孔窝状结构。

注射成型周期中塑料压力与时间的关系如图 6-6 所示，普通注射成型的注射压

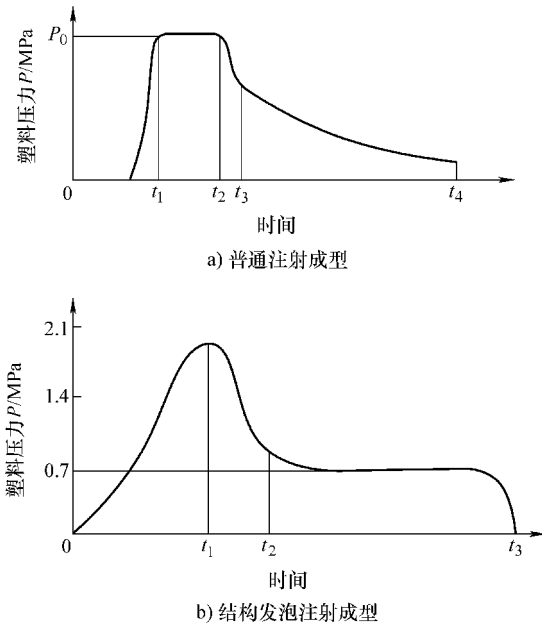


图 6-6 普通与结构发泡注射成型周期中塑料压力与时间的关系

力与时间的关系表明,在时间 $0 \sim t_1$ 阶段,型腔的大部分(一般为90%~95%)被塑料充满,待型腔充满时,物料压力迅速上升而达到最大值 P_0 ; $t_1 \sim t_2$ 阶段属压实阶段,此时模内压力保持不变,这一时段的压力决定了所需的锁模力; $t_2 \sim t_3$ 阶段型腔内塑料压力在浇口料完全冷冻后下降, t_3 之后脱模。

采用结构发泡注射成型技术时,在 $0 \sim t_1$ 阶段型腔被物料充满,压力达到最大,与普通注射不同的是结构发泡工艺不用保压; $t_1 \sim t_2$ 阶段是气体发泡阶段,压力下降; $t_2 \sim t_3$ 发泡完毕,压力逐渐降低直到脱模。

结构发泡注射成型工艺中, t_1 时刻的压力与喷嘴设计和制品的几何尺寸有关,喷嘴流动长度越短,制品壁厚越大, t_1 的压力越小,而设备的锁模力又与 t_1 时的压力和产品面积有关。在产品定型的情况下, t_1 时刻压力越小,制品锁模力越小,因此结构发泡的多点注射工艺最终决定了设备低锁模力的性能。

4. 影响结构发泡注射成型的工艺因素

(1) 注射速度 为了获得泡孔大小和分布均匀的结构发泡注射制品,注射速度必须要快,这是为了保证在型腔内全部发泡而不是在型腔外部发泡。如果注射速度慢(常规注射速度)会使气泡流经喷嘴和浇口的时间变长,产生大小不均的泡孔,而位于前沿的熔体由于气泡已经逸出,会失去发泡作用而影响制品的物理力学性能;注射速度慢时还会使沿型腔表面流动的熔体固化,增加了后续熔体的流动阻力,需提高注射压力才能使熔体充满型腔,部分压力与气体膨胀互相抵消,这样不仅增加了能耗,而且只能通过增加型腔中的熔体量才能完全充满型腔,导致制品的密度加大。

但是,必须注意提高注射速度对结构发泡制品的表面质量所产生的影响。不适宜的高速注射会导致熔体与型腔壁之间产生强剪切作用,使含有气泡的熔体在模具表面上滑动产生粗糙的表面,考虑到这种情况,物料要进行较慢的充模,充模时间为10~20s。

(2) 注射压力 在型腔浇口处使聚合物熔体压力突然降低有利于气泡的形成和增长,然而这又会使流道内的熔体形成气泡的可能性减小。研究发现,使用较高的注射压力得到的气泡不大,但却很均匀。这是因为:第一,注射压力高时,带有应力的熔体经过流道向前流动时,气泡形成量多,然后在型腔内熔体应力开始松弛,气泡逸出。反之,在低压注射时熔体从浇口射出之前,在流道里就有气泡形成,充模后在型腔中形成的气泡会继续增长。与高压注射相比,低压注射会形成较大的气泡,然而气泡分布的均匀性比高压注射差。第二,高压注射所需的充模时间比低压注射所需的充模时间短。这意味着从充模开始,气泡增长的时间短,所以高压注射时形成的气泡要比低压注射时少,气泡较小,而它的分布却更均匀。第三,在高压注射时,为了松弛型腔内熔体的应力,所需的时间要比低压注射的长。注射压力越高,储存在黏弹性聚合物熔体中的能量越多,越影响气泡的增长速率。

(3) 熔体温度 熔体温度是控制气泡增长的重要工艺因素。充模时,熔体温

度对气泡动力学起着重要作用。实验证明,熔体温度低时(180°C)不发生喷射现象,而温度高时(200°C)却发生喷射,这主要是由于粘度的作用。同时,温度低的熔体在离开浇口处的膨胀要比温度高的大,这是由于粘弹性增加的缘故。当结构发泡熔体在喷射流动时,会产生一种特殊的现象,即射流末端在碰到对面的型腔壁之前,喷射流变成辐射状的熔体流动。这是由于气体膨胀得很快,一部分熔体从喷射的熔体中流出来,立即膨胀而形成的辐射状流动。在注射中,应尽量避免这种喷射流动。

在其他条件相同的情况下,熔体温度对气泡的形成起到重要影响:第一,熔体温度低会使熔体应力松弛较慢,使气体从熔体流中释放得较慢,形成的气泡较少;第二,熔体温度低,粘度高,使气体在熔体中扩散系数降低。

(4) 模具温度 在其他条件相同的情况下,熔体的等温充模和不等温充模对气泡形成的数量有很大的影响,不等温充模所形成的气泡数量比等温充模要少。因为气泡在冷型腔内所形成的气泡数量比在热型腔内少得多。当熔体被注射到冷型腔后,在型腔的中心部位生成的气泡多,而接近型腔壁处的气泡却很少。这是由于熔体和冷壁接触后,粘度迅速增加,抑制了气泡的形成,而在远离型腔壁的芯部却是相反的情况,那里的气泡容易形成和增长。所以模具温度将影响到泡孔尺寸的大小及其分布,在实践中,常采用加热模具并用温控的办法来控制气泡的大小及其分布。此外,气泡还受发泡剂浓度、熔体粘度以及扩散系数的影响。如图 6-7a ~ f 所示分别为注射压力、熔体温度、模具温度以及发泡剂浓度、熔体粘度、扩散系数对气泡增长的影响情况。

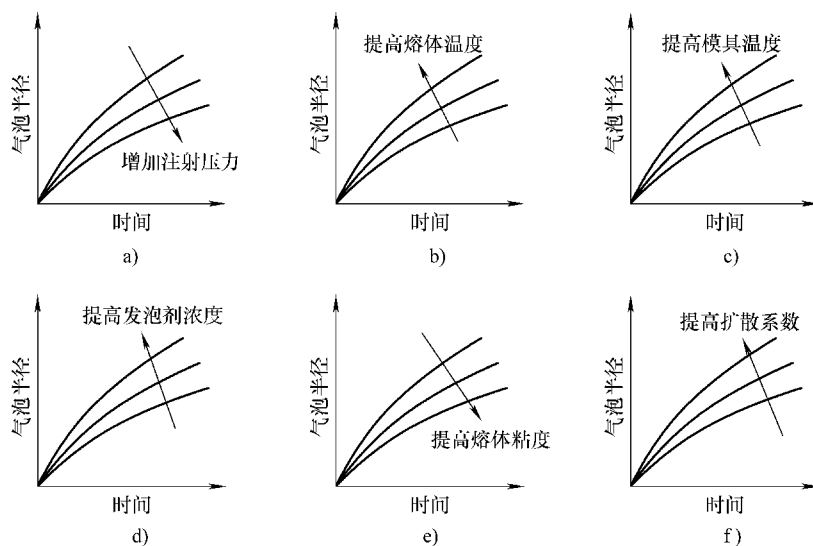


图 6-7 影响气泡增长过程的工艺因素

(5) 保压状态 当型腔被熔体膨胀充满后，可以近似地认为进入等温保压状态。在此状态下聚合物熔体中的气泡要不断地发生瘪泡现象。降低型腔压力会促进气泡的增长，但如果保压压力过高，保压时间长，型腔会补注更多的熔体而引起更多的瘪泡。由于气泡周围的应力是不对称的，所以瘪泡时气泡的形状也是不对称的。实验表明：增加保压压力或延长保压时间会减小瘪泡半径。

(6) 冷却时间 由于结构发泡制品的外层是密度较高的结皮层，芯部是泡孔层，所以具有较低的热传导性。当接触模具的外层已得到很快的冷却凝固时，在制品内部发泡压力却仍起作用，使制品继续膨胀，壁越厚这种现象越严重。因此结构发泡需较长的冷却时间，降低了生产效率。壁厚对于结构泡沫塑料制品冷却时间的影响见表 6-12。

表 6-12 结构泡沫塑料注射制品的冷却时间

制品厚度/mm	冷却时间/s		
	HDPE	HIPS	PP
6	105 ~ 135	90 ~ 105	70 ~ 100
9	165 ~ 195	120 ~ 150	110 ~ 145
12	225 ~ 275	180 ~ 210	160 ~ 200

6.2.3 微孔塑料注射成型

微孔发泡成型属于物理发泡法。常规泡沫塑料的泡孔直径一般大于 50 μm ，泡孔密度（单位体积内泡孔的数量）小于 10^6 个/ cm^3 。这些大尺寸的泡孔受力时常常成为初始裂纹的发源地，降低了材料的力学性能。为了降低材料成本而不降低力学性能，20 世纪 80 年代初期，美国麻省理工大学（MIT）的学者以 CO_2 、 N_2 等气体作为发泡剂研制出泡孔直径为微米级的泡沫塑料，并将泡孔直径为 1 ~ 10 μm ，泡孔密度为 $10^9 \sim 10^{12}$ 个/ cm^3 的泡沫塑料定义为微孔塑料。

注射成型是微孔塑料制品的主要成型方法之一。塑料原料加入注射机的机筒后，在螺杆剪切力及加热圈外加热作用下塑化，发泡剂直接注入注射螺杆熔融段末端与熔体均匀混合，然后高压高速注入型腔。在型腔内突然降压，使熔体中大量的过饱和气体离析出来，发泡、膨胀、成型、定型形成微孔塑料制品。另外，也可以采用改变温度的方法形成泡核，与改变压力法相比，比较容易控制，但对于气体溶解度对温度不敏感的塑料不适用。

1. 微孔塑料注射成型对设备的要求

开发微孔塑料注射技术难度比较大，因为和常规泡沫塑料相比，泡孔的尺寸要小得多，要想得到理想的微孔塑料制品，必须保证对进入机筒熔体中的超临界流体精确计量，要求塑料熔体必须充分混合、均化、分散形成均相混合体，保证熔体中的成核点必须多于 10^9 个/ cm^3 ，并及时控制成核气泡的膨胀等，这对设备本身及注

射工艺参数的要求都非常高。国外一些注射机生产商已成功开发出微孔塑料注射机,如美国 Trexel 公司、德国 Arburg 公司、奥地利 Engel 公司等。目前还有 Milacron、Husky、Battenfeld 等公司正在加紧发展自己的微孔塑料注射成型设备。国内华南理工大学从 1995 年开始研究微孔塑料,在理论上取得了一定进展,并已在实验室制备出多种型号的微孔塑料。随后其他高校也相继进行了微孔塑料的研究,但离微孔塑料的产业化还有一段距离。

2. 微孔塑料注射成型工艺

(1) 树脂熔融阶段 从料斗加入的树脂在专用机筒中熔融塑化。

(2) 超临界气体 (Super Critical Fluid, SCF) 注入、混合和扩散阶段 SCF 发生装置在机筒的特定位置通过喷射器注入超临界气体,与树脂熔体均匀混合,形成单相熔融物。聚合物中大量的成核点形成泡沫气室。

(3) 注射阶段 将树脂熔体注入模具,随着模具内压力的降低以及时间的延长,熔体内的超临界气体尺寸慢慢增大。

(4) 发泡阶段 发泡阶段可分为气体在压力下降的情况下形成气核、气核在精确的温度和压力控制下长大成气泡和当气泡长大到一定尺寸时冷却定型三个步骤。

成功的微孔发泡注射成型均会经历上述 4 个阶段,其中聚合物熔体和超临界气体所形成的单相熔融物的温度和压力必须精确控制,以防止该熔融物预先发泡。泡沫微孔的成核、增大、注射时的凝结过程以及微孔的最终尺寸和形状取决于注射成型的工艺条件。

3. 影响微孔塑料注射成型的工艺因素

影响微孔塑料制品质量和产量的主要因素有原材料、成型工艺和成型设备。当原材料和成型设备确定后,成型工艺参数的控制将是微孔塑料制品成型的决定因素。微孔塑料注射成型的主要工艺参数是压力、温度和时间。压力包括注射压力、背压与型腔压力;温度包括机筒温度、熔体温度和模具温度;时间是指注射时间,一般用注射速度来表征。

(1) 注射压力、背压及型腔压力 塑料熔体中所溶解的气体能否离析出来形成气泡,气泡能否膨胀,这些都与气体在熔体中的溶解度及所受的压力有关。通过定量地控制压力(或温度)的改变使塑料体系中的气体呈过饱和状态,从而在很短时间内形成大量的气泡核。注射压力主要用来压送塑料熔体以要求的速度充模,将压力能转化为速度能,并克服塑料熔体在通过喷嘴、流道系统及型腔时遇到的摩擦阻力。同时,它直接影响气体在熔体中的溶解量。为了使微孔塑料制品泡孔均匀细密,应防止含有发泡剂的塑料熔体提前在机筒中发泡,还应保证气体在塑料熔体中的完全溶解状态。为此,背压必须大于气体在熔体中发泡膨胀的临界压力。当塑料熔体被高速注入模具的型腔时,型腔中原有的气体会产生反压,因此模具必须具有可控的排气系统。在注射发泡过程中,型腔压力是变化的,其最大值出现在充模

期,随后逐渐下降。可通过对型腔排气的控制,达到控制型腔压力的目的。

(2) 机筒温度、熔体温度和模具温度 机筒沿轴向的温度分布应尽快使塑料熔融,第一段加热装置因靠近加料口和螺杆支承,温度不宜太高。储料段温度也不宜过高,因为它直接影响熔体的出口温度。故此段温度应根据微孔发泡成型的需要精确控制。熔体温度即机筒中塑料熔体在出口处的温度。提高熔体温度有利于气泡的膨胀,但如果熔体温度太高,不仅会导致塑料分解,而且熔体粘度下降、表面张力下降、气泡容易破裂,致使泡内气体散逸,发泡倍数下降。此外,熔体温度过高会增加冷却系统的负担,增加冷却时间及能耗;但熔体温度过低会使高速注入模具的塑料熔体的应力松弛速度减慢,气体的离析速度减慢。同时熔体温度低,粘度高、膨胀阻力增大,造成气体扩散速度下降等。为此必须严格控制熔体温度至一个适当值。在其他条件相同的情况下,熔体的等温充模和不等温充模对气泡形成的数量有很大的影响。不等温充模所形成的泡孔数量比等温充模要少。在实际成型过程中,常采用加热模具并用温控的办法来控制气泡大小及其分布。

温度对微孔塑料发泡成型及固化定型至关重要。气泡长大和成型控制直接影响到微孔塑料的性能。注射成型中采用改变温度来控制成核及气泡长大,这对于成型定型十分有利。成型过程中必须有效地抑制泡孔的合并,以保证泡孔密度,防止气体过分损失,进而确保微孔塑料独特的微观结构,得到性能优越的微孔塑料。

(3) 注射时间和注射速度 为了获得泡孔大小和分布均匀的微孔塑料制品,塑料熔体应以高速充模,使熔体全部进入型腔后再同时开始发泡膨胀,一般充模时间在1s以内。注射速度即塑料熔体压注入型腔的速度,注射速度对发泡制品的泡孔分布、发泡倍数及表面质量都有较大影响。为提高注射速度,一方面应提高注射压力,另一方面应减少熔体流入型腔所遇到的各种压力损耗。而喷嘴的结构,流道和型腔的结构及几何参数等都是影响流动阻力的重要因素。

6.3 液晶聚合物的注射成型

液晶聚合物英文名称 Liquid Crystal Polymer,简称 LCP,是20世纪80年代出现的新型聚合物,具有独特的分子结构和热行为。它的分子由刚性棒状分子链组成,在受热熔融或被溶剂溶解后,形成一种兼有固体和液体部分性质的液晶态,分子排列介于液体和晶体之间。因其在液态时显示出结晶物的性质,所以被称为液晶聚合物。

目前世界上有30多家公司大力开发 LCP,商业化的 LCP 有聚芳酯和芳香聚酰胺两种。新日本石油化学公司的产品商标为 Xydar;宝理公司生产的液晶聚酯是两种单体的共聚物,商标为 Vectra;DuPont 公司生产的芳香聚酰胺,商标为 Kevlar。

LCP 具有高强度、高模量和自增强性能,有很好的耐高温和冷热交变性能,优异的阻燃性、耐蚀性、耐磨性、电性能、阻隔性和成型加工性能,线胀系数和摩擦因数小,尺寸稳定性好,抗辐射,耐微波,综合性能十分优异,被誉为超级工程

塑料。

LCP 主要用于电子电气、光电材料、薄膜材料、汽车行业、生物医学、航空航天等领域，其中电子电气消费约占总量的 70% 以上。

液晶聚合物的加工性能好，成型方法有注射成型、挤出成型等，其中注射成型最普遍。

6.3.1 液晶聚合物的工艺特性

1. 优良的方向性

LCP 在加工过程中，大多数刚性棒状大分子链沿流动方向排列，因此平行于流动方向的强度和模量很大，可达一般工程塑料加入 30% 玻璃纤维的水平，垂直于流动方向的强度仅为流动方向的 1/3，成型收缩率和线胀系数约为流动方向的 2 ~ 3 倍（见表 6-13），所以可利用此性能进行原位复合或增强。

表 6-13 LCP 制品的方向特性

项 目	平行于流动方向	垂直于流动方向
拉伸强度/MPa	108.5	30
断裂伸长率（%）	8	10
弯曲强度/MPa	111	34
弯曲弹性模量/GPa	12	1.6
悬臂梁缺口冲击强度/(kJ/m ²)	35	3.5
线胀系数/10 ⁻⁵ K ⁻¹	0	4.7
成型收缩率（%）	0	0.3

2. 熔体粘度低，流动性好

LCP 虽为特殊的相态结构但熔体粘度不高，仅为一般聚合物的几分之一。由于分子的高度定向作用，使 LCP 既保持了优良的性能，又降低了成型温度，流动性好，易于成型，用较低的注射压力就可成型薄壁制品和形状复杂的制品，且越是薄壁制品其强度越高。

3. 固化快、周期短，不易产生飞边

LCP 流动性较大，固化速度快，因此成型周期短，生产效率高，且很少出现溢边现象。

4. 成型收缩率和线胀系数很小

LCP 受热熔融后形成一种兼有固体和液体部分性质的液晶态，其分子链僵直，相互间填塞更紧密，不同基团之间联结更强，从而严重地限制了分子链的弯曲、旋转能力。在冷却后刚性棒状大分子链沿注射方向排列。在成型过程中仅发生部分相变而无结晶引起的体积收缩，因此收缩率小，线胀系数很低，接近金属，是一种优良的低线胀系数和低收缩率材料。

5. 熔接强度低

LCP 熔接强度低, 这种缺陷在 LCP 模具设计时应加以注意, 将熔接痕设在强度要求不高的部位。

6. 原材料应严格干燥

在成型条件下微量水分就会使 LCP 降解, 故成型前应将材料严格干燥, 使水分降低到 0.03% (质量分数) 以下方可使用。

6.3.2 液晶聚合物注射成型设备和模具

1. 注射机

液晶聚合物加工成型一般不需特殊的设备, 常规的聚合物加工设备均可使用, 但由于液晶聚合物加工温度较高, 故设备选型时应充分考虑其加热系统的能力和备材质, 必须经受得住长时间的高温烘烤。

注射量应是注射机注射容量的 50% ~ 70%。

可选用普通开放式喷嘴, 压力损失小, 可靠性好。喷嘴的加热应能单独控制, 若出现流延可适当降低温度。

LCP 流动性好, 固化快, 可选用具有高塑化能力的注射机实行高速成型。对螺杆的要求: ① 带有均化段的螺杆; ② 有密封良好的逆流阀; ③ 加料段较长的螺杆。

2. 模具结构

由于 LCP 具有各向异性, 所以在模具设计时不但要遵守一般的设计原则, 而且还必须考虑到 LCP 的各向异性。成型制品的性能受 LCP 本身及充填材料取向的影响, 这种取向是由材料在流动时的剪切应力所决定的, 所以在模具设计时必须考虑型腔内材料的流动状态和最终制品的性能要求, 通常壁厚越薄取向越显著。在熔接缝部分一般不能发挥 LCP 自身的强度, 所以在模具设计时尽可能避免产生熔接缝。

(1) 浇注系统 模具的流道形状宜选用圆形或梯形, 直径因流道的长度、制品尺寸等不同而不同, 不能一概而论, 一般流道的直径为 2 ~ 5mm, 流道长度要尽可能短一些。如果是一模多腔的模具, 为了减少型腔间的误差, 要求从各流道到型腔之间的长度均等。从材质上来说 LCP 不但具有良好的脱模性, 而且具有很好的流动性, 如果模具表面有划痕, 有可能会影响制品的脱模性, 所以对主流道和分流道必须进行研磨。同时主流道和分流道末端要设冷料井, 防止冷料进入制品中。对于难免发生熔接痕的制品, 在模具的熔接痕发生处设置溢流区, 改变树脂的流动方向以改善熔接痕的强度。

在 LCP 的模具设计中, 浇口设计尤为重要。由于 LCP 具有各向异性, 所以必须考虑浇口的位置, 原则上必须将浇口设置在流动方向上。如果制品形状复杂, 充填方向很混乱, 则不需要考虑浇口设置对其产生的影响。浇口形式一般为针点式浇

口、潜伏式浇口，尽可能不用侧浇口，因为去除浇口时易附着丝状的残留物，由于液晶聚合物价格昂贵，在设计时可采用热流道，但应尽量缩短流程，以免胶料停留时间过长引起分解。

(2) 排气槽 LCP 在成型时基本不会有气体产生，但是为了排出型腔内的气体，使充填过程能顺利进行，要设置排气槽。排气槽应设在气体汇集处，其深度为 0.01 ~ 0.02mm，宽度为 3 ~ 5mm。

(3) 成型收缩率 LCP 成型收缩率很小，且平行于流动方向的收缩率小于垂直流动方向的收缩率。在设计型腔尺寸时，由于制品形状复杂和流动方向不能确定，故应采用垂直与平行收缩率的平均值。对尺寸精度要求特别高的制品可先做试验模，以测试真实收缩率。

在高温下 LCP 会发生收缩，为保证尺寸精度和消除内应力，制品可在 200℃ 处理 3h。LCP 后收缩率很小，如 A130 平行方向为 0.04%，垂直方向为 0.14%。在高温下使用的制品，模具设计时的收缩率应是模塑收缩率和后收缩率的总和。

(4) 模具温度的控制 生产用的模具，可采用电热棒加热器或者热油加热器。为防止模具散热损失，在模具两外侧加装石棉板隔热。

6.3.3 液晶聚合物注射成型工艺

1. 原料干燥工艺

液晶聚合物吸水率小（仅为 0.03% ~ 0.05%），为了减少喷嘴漏料和出现银丝及气泡，应将其充分干燥，宜选用除湿干燥机，干燥温度为 140 ~ 160℃，干燥时间为 4h 以上（最长为 24h）。

2. 机筒温度

机筒温度随材料品种和制品结构的不同而有所改变，如宝理公司的 Vectra A 和 B 类材料，机筒温度在 290 ~ 320℃，E 类在 330 ~ 350℃。住友公司的 LCP 加工温度高达 340 ~ 360℃。为了防止喷嘴流延，喷嘴温度较前段温度低 5 ~ 10℃。为了防止分解，Vectra A 和 B 类最高不超过 350℃，E 类最高不超过 370℃。增强料比纯料要求的料温高，薄壁制品比厚壁制品要求的料温高。为了延长螺杆的使用寿命，可以减小后部、中部、前部的温差。

3. 注射压力与注射速率

注射压力取决于材料、制品形状、模具设计及其他工艺条件。由于液晶聚合物的熔体粘度非常低，所以注射压力比一般的热塑性塑料要低，大多数制品在 15 ~ 45MPa 的注射压力下即可成型，操作时一般从低压开始逐渐增压，直到达到最佳值。另外，液晶聚合物的固化速度比较快，因此宜采用高的注射速率。

4. 螺杆转速和背压

成型时的螺杆转速一般为 80 ~ 100r/min，如果材料含有玻璃纤维（如 A130、A230 等），为了防止玻璃纤维被折断，应选择比较低的转速。背压尽可能低，一般

为 2 ~ 3MPa。增强的 LCP 在规定温度范围内可停留 50 ~ 60min，但中途停机时间较长时应将机筒温度降低 50℃。

5. 模具温度

液晶聚合物成型时的模具温度为 30 ~ 150℃，一般设定为 70 ~ 110℃。为了缩短成型周期，防止飞边和变形，应选择较低的模具温度；如果要求制品尺寸稳定（特别是用于高温条件下的制品），减少熔接痕的产生和解决填充不足等问题时，则应选择较高的模具温度。

6. 成型周期

成型周期取决于制品的大小、形状、壁厚、模具结构等。由于液晶聚合物具有良好的流动性，所以它的填充时间比较短，且固化速度也比较快，故成型周期短，一般为 10 ~ 30s。

7. 嵌件预热

为了提高液晶聚合物与嵌件的结合力，应先将嵌件预热，预热温度与模具温度基本相同，一般也为 70 ~ 110℃。

不同种类、不同型号的 LCP 成型条件相差很大，表 6-14 ~ 表 6-17 分别列出了日本宝理公司、住友公司和石油化学公司以及韩国三星精密化学公司几种型号的 LCP 注射成型工艺条件。

表 6-14 宝理 Vectra LCP 注射成型工艺条件

工 艺 条 件	Vectra 等级						
	等级 A	等级 B	等级 C	等级 D	等级 Ei	等级 S	等级 T
机筒温度/℃ 后部	270 ~ 310	270 ~ 310	310 ~ 350	300 ~ 340	330 ~ 370	350 ~ 390	360 ~ 400
中部	280 ~ 300	280 ~ 300	320 ~ 340	300 ~ 330	340 ~ 360	350 ~ 380	370 ~ 390
前部	290 ~ 320	290 ~ 320	330 ~ 350	310 ~ 330	340 ~ 365	355 ~ 370	370 ~ 380
喷嘴	290 ~ 320	290 ~ 320	330 ~ 350	310 ~ 330	340 ~ 365	355 ~ 370	370 ~ 380
模具温度/℃	80 ~ 120						
注射速度/(mm/s)	100 ~ 300						
保压压力/MPa	30 ~ 50						
螺杆背压/MPa	0 ~ 2						
螺杆转速/(r/min)	100 ~ 200						
干燥条件	温度：140 ~ 170℃；时间：4h 以上（最长可到 24h）						

- 注意事项：1. 机筒温度可根据成型状态在 10 ~ 20℃ 的范围内进行调整。
2. 发生拉丝、流延等现象时，可将喷嘴温度调低 10 ~ 20℃。
3. 模具温度为 80℃ 时一般不会出现问题的，如果有表面粗细度、光泽等外观方面的问题，则建议采用高温。
4. 建议采用较高的注射速度，低速时有时会出现填充不足或填充压力偏高等现象。
5. 提高螺杆转速有助于提高计量的稳定性，因此可使用高转速。

表 6-15 住友 SUMIKASUPER LCP 注射成型工艺条件

工 艺 条 件	SUMIKASUPER 等级				
	E5000 系列	E4000 系列	E6000 系列	E6000HF 系列	E7000 系列
机筒温度/℃ 后部	350 ~ 370	330 ~ 350	280 ~ 320	280 ~ 320	280 ~ 300
中部	370 ~ 390	350 ~ 370	320 ~ 350	320 ~ 340	300 ~ 320
前部	390 ~ 410	370 ~ 390	340 ~ 370	340 ~ 360	320 ~ 340
喷嘴	390 ~ 410	370 ~ 390	340 ~ 370	340 ~ 360	320 ~ 340
树脂温度/℃	400	380	350	350	320
模具温度/℃	40 ~ 160				
注射压力/MPa	120 ~ 160		80 ~ 160		
保压压力/MPa	40 ~ 60		20 ~ 40		
螺杆背压/MPa	1 ~ 5				
注射速度	中到高速				
螺杆转速/(r/min)	50 ~ 100				
干燥条件	温度：130℃ 左右；时间：4h 以上（最长可到 24h）				

- 注意事项：1. 若机筒温度过高，注射成型时树脂容易发生回流，尤其在成型较复杂、需高流动性的产品或 L/T 很大的产品时，需要设定喷嘴温度高于机筒前部温度。
2. 在计量时间不稳定时，可将机筒后部温度降低 10 ~ 20℃。
3. 由于喷嘴温度控制在 LCP 成型中非常重要，应注意温度传感器的位置以及保温状态。
4. 薄壁产品成型时，如重视成型时间，推荐模具温度为 70 ~ 100℃，如重视薄壁熔接强度，推荐温度为 120 ~ 150℃，如重视成型品表面的平滑性，推荐温度为 160 ~ 190℃。
5. 对于具有复杂形状的薄壁制品，推荐中速-高速成型，对较厚壁的产品有熔接问题时，在考虑模具内通气口的同时，选择 20 ~ 40mm/s 中速-低速成型较合适。

表 6-16 新日本石油化学 Xydar LCP 注射成型工艺条件

工 艺 条 件	NC-303, NC301L	MG-350PRL
机筒温度/℃ 后部	290 ~ 320	290 ~ 320
中部	310 ~ 330	310 ~ 330
前部	360 ~ 380	350 ~ 370
喷嘴	350 ~ 370	340 ~ 370
模具温度/℃	30 ~ 80	
注射压力/MPa	30 ~ 150	
注射速度	中速-高速	
干燥条件	150 ~ 170℃，8 ~ 24h	

表 6-17 三星精密化学 SELCION LCP 注射成型工艺条件

工 艺 条 件	KC2015 (B) LM KC173 (B) M 系列	KB40 (B) M 系列
机筒温度/℃		
后部	320 ~ 350	340 ~ 380
中部	325 ~ 355	380 ~ 405
前部	330 ~ 360	390 ~ 410
喷嘴	325 ~ 355	380 ~ 405

(续)		
工 艺 条 件	KC2015 (B) LM KC173 (B) M 系列	KB40 (B) M 系列
加料口温度/℃	40 ~ 60	60 ~ 80
模具温度/℃	100 ~ 120	100 ~ 120
干燥条件	130℃ 6h 以上	130℃ 6h 以上
材料特征	KC 系列主要针对连接器行业。KC2015 35% 玻璃纤维增强, 热变形温度 282℃; KC173 17% 玻璃纤维增强, 15% 矿物质填充, 热变形温度 270℃。成型收缩率: 0.1% ~ 0.6%	KB 系列主要针对线圈骨架行业。KB40 40% 玻璃纤维增强, 热变形温度 321℃, UL94V-0, 0.20mm (NC); UL94V-0, 0.32mm (BK)。成型收缩率: 0.04% ~ 0.9%

6.3.4 液晶聚合物注射成型注意事项

1. 更换材料

由一种级别的 LCP 更换成另一种级别, 当更换的材料与 LCP 成型温度一致时, 可在此温度下, 直接清洗机筒。在清洗困难时可用 PP 或 HDPE 清洗, 然后将机筒温度升至待更换材料的成型温度。当机筒内为与 LCP 成型温度不同的材料或热敏性材料时, 可将机筒温度设定到余留树脂的成型温度范围内, 用 PP、HDPE 或 PC 清洗。

2. 生产中断的处理

生产中途停机时间超过 30 min 时, 应将成型温度降低 50℃, 停机时间少于 30 min 可不降温, 但再开机时应将机筒内的余料清洗干净。中断时间在 2h 以上会发生材料降解和产生污物, 成型前需彻底清洗。难于清洗的深色材料可先用增强 PC 清洗, 然后用 PE 树脂清洗干净后, 方可加入欲使用的材料清洗。

3. 材料的再生和利用

在规范的成型条件下, LCP 的热稳定性较好, 对宝理公司的 Vectra A950、VectraA130 回收 5 次的 100% 回收料进行性能试验, 其性能保持率见表 6-18。

表 6-18 LCP 模塑 5 次 100% 回收料性能保持率 (%)

项 目	Vectra A950	Vectra A130	项 目	Vectra A950	Vectra A130
拉伸强度	85	86	弯曲强度	91	90
拉伸弹性模量	85	86	弯曲弹性模量	92	100
断裂伸长率	100	114	悬臂梁冲击强度	100	68

从表 6-18 可见, LCP 模塑 5 次后的回收料, 仍保持原材料强度和模量的 85% ~ 100%。未增强的 A950, 冲击强度仍保持原值, 而增强的 A130 仅保持原值的 68%, 这主要是因为玻璃纤维在回收过程中遭到破坏造成的。

回收料的用量以在新料中加入 20% 的回收料掺混使用效果较好, 其性能不会

有大的改变。但在使用前应对回收料按干燥工艺严格干燥,使水分含量在 0.03% (质量分数) 以下方可使用。

4. 其他需要注意的问题

为防止出现流延现象,宜采用弹簧针阀式喷嘴或逆锥形喷嘴。成型过程中机筒温度的设定应略偏低,以免在产品表面产生大量气泡。

LCP 是综合性能十分优异的新型特种工程塑料,成型加工温度很高,但工艺性能优良,可成型薄壁复杂制品。要想制得优质的 LCP 制品,必须严格按照 LCP 的工艺特性,合理选用设备,正确设计模具,确定最佳的成型工艺参数。随着 LCP 应用的扩大和加工技术的进步,LCP 的注射成型技术将日臻完善。

6.4 橡胶的注射成型

由于橡胶粘度大,流动性差,不易注射,高温时易焦烧,所以目前橡胶制品的生产仍然普遍采用模压成型。但是随着汽车、宇航、电子、液压等行业的快速发展,对橡胶制品提出了更高的要求,传统的模压成型技术已很难满足目前市场对高性能橡胶制品的需求。因此,橡胶注射成型的应用前景被看好,它是橡胶加工业的发展方向。

6.4.1 注射成型设备

1. 注射机

注射机是橡胶注射成型中的主要设备,其结构组成及工作原理与塑料注射机基本相同,但是根据橡胶加工的特点,橡胶注射成型设备有其特殊性。

橡胶注射机的加热冷却装置的作用是保证机筒和模具型腔中的胶料达到注射和硫化所要求的温度。由于胶料塑化温度较低,为防止胶料在机筒中停留时间过长而焦烧,通常机筒(夹套式)用水和油作为加热介质,而注射模则用电或蒸汽加热。

模型系统是橡胶注射成型设备的重要组成部分,包括模台、模具和合模装置,它对制品的生产效率、外观、质量和胶料消耗量等重要的影响。

注射机的模台是供硫化模具进行合模、注射、硫化、开模等操作用的。单模台注射机的模台是固定的;多模台注射机的模台则有多种形式,一种是模台安装在转盘上,注射装置固定,一种是模台固定,扇形地排列在注射装置的前方,注射装置定向旋转注胶。另外,在模台固定的情况下如果模具很多,硫化时间又较长时,可以平行分列于注射装置的两侧,注射装置沿轨道前进,注完一排之后,再注另一排。

单模台注射机在硫化和脱模阶段时停止运转,所以效率不高,适合于小部件产品和硫化速度非常快的产品。多模台注射机则能做到连续注射、硫化和脱模,尤其适合于用胶量大、硫化时间长、脱模时间长、有金属骨架的制品。柱塞式注射机一般为 2~4 个模台,耐移动螺杆式注射机由于胶料预塑化较好,可以有较多的模台,

一般有 10 个以上。

模台数可根据合模周期（包括闭模、注射、硫化、开模、脱模等操作时间）和注射周期（包括喷嘴位置对准、注射、持续保压、胶料塑化等操作时间）来计算，即模台数 = 合模周期 / 注射周期。

喷嘴是注射机的重要部件，它对注射机的许多工艺参数有着直接或间接的影响。减小喷嘴直径，会加强胶料的剪切、节流作用，使生热量增大，胶料的温度升高，同时注射时间延长，这样就有充模焦烧的危险。反之，增大喷嘴直径，注射时间减少，注射温度下降，焦烧危险性减少了，但需要增加硫化时间。因此要合理地选择喷嘴直径，以获得较高而又安全的注射温度和较短的注射时间。通常喷嘴直径可在 2 ~ 10mm 范围内选择，其中以 2 ~ 6mm 为佳。

2. 注射成型模具

注射模是橡胶注射成型中的硫化定型工具，具有自动化程度高，溢边少，产品质量好，生产效率高等一系列优点，但结构比较复杂。图 6-8 为一简单注射模典型结构示意图，主要由定模和动模两大部分组成，定模 1 和动模 5 分别装夹在合模机构的定模板 4 和动模板 6 上。胶料从注射机喷嘴喷出经定模部分的注胶道进入型腔，动模部分随动模板完成开闭动作。多数注射模都有自动顶出装置 7，它能在硫化后将制品从模具中自动脱出。另外，在型腔周围安有蒸汽管或开设加热棒孔道 2，以满足加热硫化的需要。

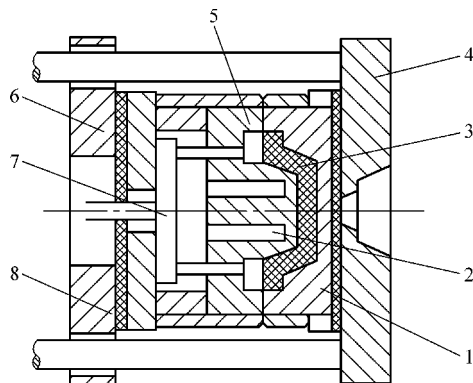


图 6-8 橡胶注射模具结构示意图

- 1—定模 2—加热孔 3—橡胶制品 4—定模板
5—动模 6—动模板 7—顶出装置 8—绝热板

橡胶注射模的结构设计与塑料注射模基本相似。从工艺的角度来看，注胶系统的设计具有十分重要的意义，它的作用是将塑化好的胶料平稳而迅速地注入型腔，并将压力均匀而充分地传到胶料各部。

注胶系统主要包括主流道、分流道、浇口和冷料井，主流道与分流道要配置适当。一方面要使胶料顺利地充满型腔各处，不产生漩涡和紊流，并使型腔内的气体顺利排出；另一方面，注胶系统应尽量减少弯折，缩短流程，以减少充模时间和胶料损失。同时还要充分利用胶料在主流道和分流道中流动时所产生的热量，以利于快速硫化。

关于模具型腔数量问题，由于喷嘴面积和注射面积有一定的限制以及注射时间短而硫化温度高，大型制品都采用单腔模或双腔模，小制品可适当增加型腔数量，然而型腔数量增多，会增加脱模困难，废品率增高。因此在增加型腔数量的同时，必须改进胶料的流动性。

另外橡胶注射模要经受高温（有时 240℃ 以上）和高压（至少 100MPa），因此需要用特殊的钢材制作。同时，为了控制废边胶量，模具的加工精度很高，所以造价很高。

6.4.2 对胶料的要求

将橡胶平板硫化机所用的模压胶料直接用于橡胶注射成型是不行的，要重新研究胶料配方，确定工艺参数，其中最主要的问题是胶料的流动性。冬、夏季胶料性能也不一样，因此要求胶料恒温储存，尽量减少胶料性能的差别，或者对胶料配方作适当的调整，否则会造成注射困难。

供给橡胶注射机的胶料经过混炼，做成厚 1cm、宽 5cm 的胶条。要求每次混炼 20kg 胶料，可采取同时出 3~4 根胶条的方法，使胶条的性能保持一致。由于胶料粘度和早期硫化时间的微小偏差，都可能使注射制品产生各种缺陷，所以要严格控制原材料和半成品的质量。

6.4.3 注射过程与原理

1. 注射工艺过程

橡胶注射成型一般经过预热、塑化、注射、保压、硫化、出模等几个过程，这与塑料注射成型工艺相似。现以六模胶鞋注射机工作过程为例加以说明（如图 6-9 所示）。

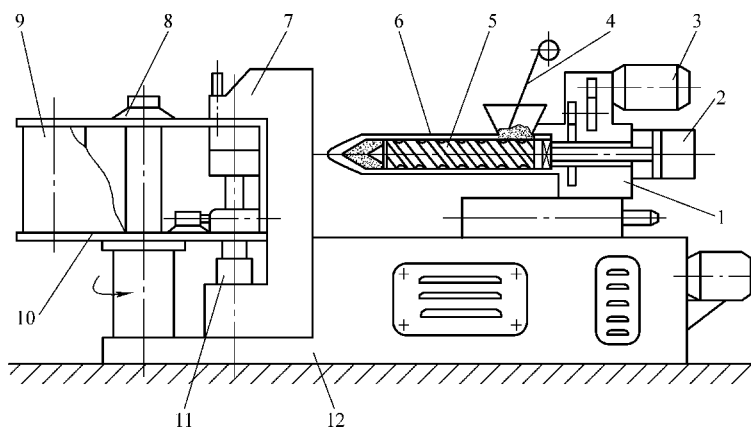


图 6-9 国产卧式六模胶鞋注射机示意图

1—注射座 2—注射胶液缸 3—螺杆驱动装置 4—带状胶料 5—螺杆 6—机筒 7—夹紧机构
8—旋转供应阀 9—模型 10—转盘 11—液压锁模缸 12—机座

（1）喂料塑化 先将预先混炼好的胶料（通常加工成带状或粒状）经料斗送入机筒 6；在螺杆 5 的旋转作用下，胶料沿螺槽推向机筒前端，此时螺杆本身在胶料的反作用下沿机筒后退，而胶料在沿螺槽前进过程中，由于剧烈搅拌而变形，加

上机筒外部加热,温度很快升高,可塑性增加;由于螺杆在后退时受到注胶液压缸 2 的反压力,且螺杆本身具有一定的压缩比,胶料受到强大的挤压作用而排出残留的空气,并变得十分致密。

(2) 注射保压 当胶料到达机筒前端后,整个注射部位连同注射座 1、螺杆驱动机构 3 一起前移,使机筒前端的喷嘴与模具的浇口接触,然后注胶液压缸推动螺杆进行注胶,胶料经喷嘴注入模具型腔,当型腔中充满胶料后,注射完毕。继续保压一定时间,以保证胶料密实,压力均匀,并通过分子链松弛,消除内应力。

(3) 硫化出模 在保压过程中,胶料在高温下渐渐转入硫化阶段,此时注射座后移,螺杆又开始旋转进料,而转盘 10 转动一个工位,使注满胶料的模具移出夹紧机构 7 继续硫化,直至出模。与此同时,已经取出制品而需要注胶的空模具,则转入夹紧机构中进行另一次注胶,如此周而复始,循环不息地连续生产。

2. 热压硫化

在橡胶注射成型的整个过程中,胶料主要经历了塑化注射和热压硫化两个阶段。注射阶段中胶料粘度下降,流动性增加;热压硫化阶段中胶料通过交联而硬化,在这两个阶段中,温度条件相当重要。

胶料通过喷嘴、流道、浇口等注入硫化模具之后,便进入热压硫化阶段。当胶料通过狭小的喷嘴时,由于摩擦生热,料温升到 120°C 以上,再继续加热到 $180 \sim 220^{\circ}\text{C}$ 的高温,就可以使制品在很短的时间内完成硫化。注射硫化的最大特点是内层和外层胶料的温度比较均匀一致,从而保证了产品的质量,提供了高温快速硫化的必要前提。下面我们将注射工艺和普通模压工艺的加热硫化过程进行对比分析。

胶料加热硫化随时间的变化过程大致可以划分为四个阶段: a. 预热阶段(胶料硫化前的整个升温阶段); b. 欠硫阶段(胶料开始硫化,交联度随时间而增加阶段); c. 最佳硫化阶段(硫化一定时间后进入正硫化时间,此阶段硫化胶物理力学性能最好); d. 过硫阶段(硫化时间过长,有降解现象产生)。如图 6-10 所示为两种工艺胶料硫化时的温度变化曲线。

从图 6-10 可知,要获得最佳的硫化性能,内、外层胶料都应处在 c 阶段,即正硫化阶段。在模压工艺中(图 6-10a),外层胶料的温度上升很快,但由于胶料的导热性较差,胶层内部的温度上升较慢,这样内外层胶料始终存在温差,往往外层胶已到 c 阶段末期,内层胶尚处在欠硫的 b 阶段,而当内层胶进入 c 阶段,外层胶已进入过硫的 d 阶段,这样内外层胶的加热时间始终不能协调,致使产品质量下降。

注射工艺的情况就完全不同,如图 6-10b 所示,胶料在机筒中塑化时,温度很快就从 T_1 升高到规定的塑化温度 T_2 。由于机筒的温度基本保持不变,胶料在机筒中停留时的温度不变,即 $T_3 = T_2$,当胶料通过喷嘴进入模具型腔的瞬间,由于巨大的摩擦热,料温骤升到 T_4 ,这时 T_4 的温度已非常接近硫化温度,胶料进入型腔后进一步被加热,在很短的时间内就进入硫化阶段,此时虽然内外层胶料温度稍有差

异,但毕竟很小,它们几乎同时进入最佳硫化阶段c中的 T_5 和 T'_5 。在整个硫化周期中,仅经历了由 T_4 升至 T_5 及 T'_5 的过程,大大缩短了硫化时间。而 $T_1 \sim T_4$ 是在硫化前的塑化、注射阶段完成的,在此阶段提供了胶料内外层温度均匀一致的条件,创造了高速硫化的可能性。因此注射工艺过程不仅生产效率高,而且产品质量也好。

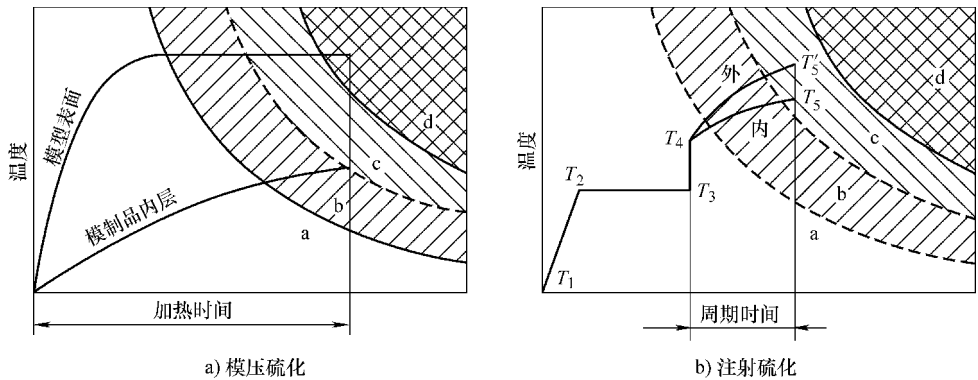


图 6-10 胶料硫化过程的温度变化曲线

$T_1 \sim T_2$: 胶料在机筒内塑化预热升温阶段; $T_2 \sim T_3$: 胶料停留于机筒内的保温阶段; $T_3 \sim T_4$: 注射阶段的升温过程; $T_4 \sim T_5$: 制品内层吸热升温过程; $T_4 \sim T'_5$: 制品表面吸热升温过程。

6.4.4 注射成型工艺

橡胶注射成型工艺条件比较复杂,受很多因素影响,而且有些因素是互相联系且互相影响的。注射工艺的中心问题是在合适的温度、压力条件下,使胶料获得良好的流动性,并在尽可能短的时间内获得质量合格的产品。

1. 温度

橡胶注射成型中温度的控制与塑料注射成型有原则上的不同。塑料的注射成型是在机筒中先将物料加热到熔点 T_m 或粘流温度 T_f 以上,使其具有流动性,然后在柱塞或螺杆压力的推动下将物料注入模具型腔,冷却凝固而得产品。物料的流动性主要靠外界加热提高温度来达到。而橡胶注射成型时,首先考虑的不是加温流动,而是防止胶料温度过高发生焦烧的问题。一旦温度太高,胶料在机筒中发生早期硫化,轻则喷嘴堵塞,重则会使整个机筒堵塞,造成生产事故。为了达到高温快速硫化,必须使胶料在进入型腔时尽可能达到型腔温度,因此要严格控制好各部位的温度。

(1) 机筒温度 机筒温度不仅影响胶料的加热塑化,而且对其他工艺条件及硫化胶性能都有影响,如图 6-11 所示。

由图 6-11 可知,在一定范围内提高机筒温度就可以提高注射温度,缩短注射

时间，提高硫化胶的硬度。所以控制机筒温度十分重要，应在焦烧安全性许可的前提下尽量高些。

机筒温度的选择还应考虑注射机的型式、胶料硫化特性及胶料配方等因素。一般柱塞式注射机控制在 70 ~ 80℃，移动螺杆式注射机因塑化较均匀，机筒温度可高一些，约在 80 ~ 100℃，有的可高达 115℃。

胶料在机筒中允许的最高温度与胶料硫化特性有关，一般不应超过 120℃。因为硫黄的熔点为 119℃，高于 120℃时就开始硫化，而机筒上测得的温度又往往比胶料内层温度低 20 ~ 25℃，所以机筒温度多半控制在 90 ~ 95℃，这样胶料温度就不至于超过 120℃的允许温度。

不同的胶料性质也会影响注射条件，一般来说，分子间作用力大的刚性链橡胶如丁腈、氯丁等品种，内耗大，生热量也大，机筒温度宜低一些；而分子链柔性高的天然、顺丁、硅橡胶等生热少，机筒温度宜高一些，如 100 ~ 120℃。至于填充剂，凡粒子细，结构性高、补强性能好的活性填料，如超耐磨炭黑等，生热量都很大；加入非活性填料对生热影响很小，而软化剂则可以降低生热量。

(2) 注射温度 注射温度是胶料通过喷嘴之后的温度，注射温度低，硫化时间延长，但注射温度过高，则容易产生焦烧。因此注射温度应在焦烧安全许可的前提下，尽可能地控制在接近型腔温度。

注射温度除与机筒温度有关外，还与许多因素有关，一般提高螺杆转速、背压、注射压力和减小喷嘴孔径均可提高注射温度。

胶料种类不同，通过喷嘴后的温升情况也不同，部分橡胶胶料经喷嘴射出后的平均温升见表 6-19。

表 6-19 部分橡胶胶料经喷嘴后的平均温升

胶种	异戊橡胶	硅橡胶	氯丁橡胶	充油丁苯橡胶	丁基橡胶	天然橡胶	低温丁苯橡胶	丁腈橡胶
升温/℃	10	18	23	25	26	35	38	60

(3) 模具温度 即胶料的硫化温度。模具温度低，硫化时间长，但模具温度过高，在充模时会产生焦烧，反而降低胶料流动性，不能充满型腔。所以应尽可能采用充模时不会发生焦烧的最高模具温度，以提高生产效率。安全的最高模具温度

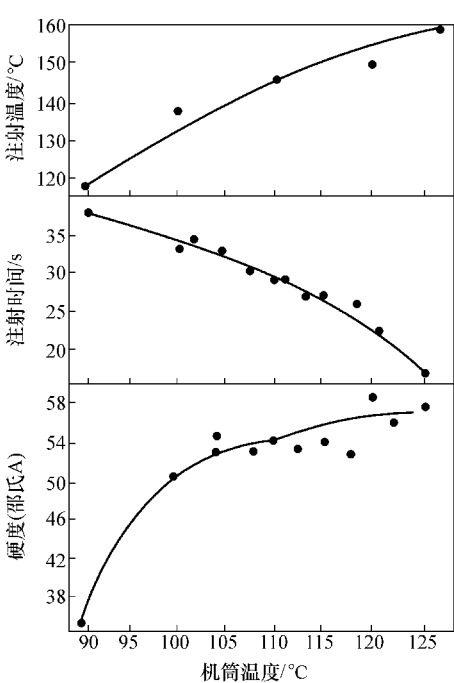


图 6-11 机筒温度对注射温度、注射时间、硬度的影响

是比出现焦烧现象时的温度低 3 ~ 5℃。

综上所述，橡胶在注射过程中，各部位的温度从进料到模具型腔是逐渐升高的。例如天然橡胶的最高硫化温度为 180 ~ 200℃，则各部位温度大致为：进料（20℃）→机筒（115℃）→注射前（125℃）→注射后（150℃）→模具型腔（180℃）。

2. 注射压力

注射压力对胶料充模起着决定性的作用。对于非牛顿流体的橡胶而言，其表观粘度随压力和剪切速率的增加而降低，所以增加注射压力可以提高胶料的流动性，缩短注射时间。由于提高压力可使胶料通过喷嘴时的生热量增加，胶料的温度上升，因而硫化周期也大大缩短。图 6-12 表明注射压力对注射时间和注射温度的影响。

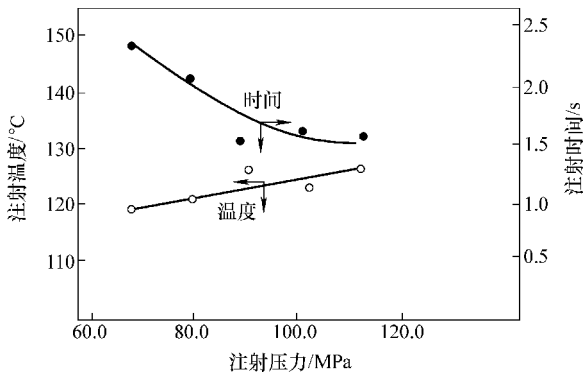


图 6-12 注射压力对注射时间和注射温度的影响（天然橡胶）

从防止胶料焦烧的观点来看，提高注射压力可以防止焦烧，因为压力的提高虽然使胶料的温度上升，但却缩短了胶料在注射机中的停留时间，因此减少了焦烧的可能性。所以原则上说，注射压力应在许可压力范围内选用较大的数值。但是过高的注射压力是不利的，图 6-13 是三种橡胶（三元乙丙橡胶、聚异戊二烯橡胶和丁苯橡胶）的注射压力对注射时间的影响，由图可见，压力开始增高时，胶料流动性大大增加，注射时间急剧降低，当注射压力达到一定值后，注射时间不再缩短，图中曲线趋于水平，对提

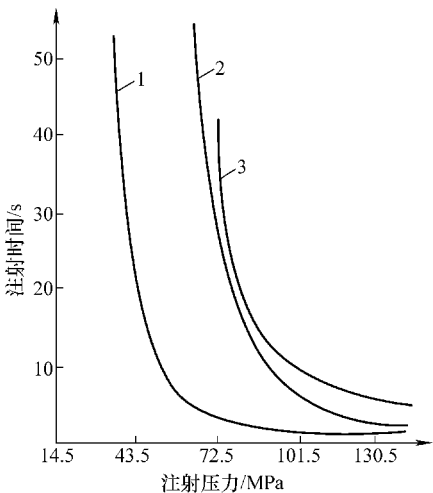


图 6-13 三种橡胶的注射压力对注射时间的影响
1—聚异戊二烯橡胶 2—三元乙丙橡胶 3—丁苯橡胶

高生产效率不再显示什么效果,反而会增加设备的负荷,而且会造成溢边过多,脱模困难等问题。

3. 螺杆转速与注射速度

螺杆转速对注射温度、硫化时间和塑化能力的影响如图 6-14 和图 6-15 所示,可以看出,随着螺杆转速的提高,机筒内的胶料受到剪切、塑化和均化的效果提高,可获得较高的注射温度,缩短注射时间和硫化时间。但是螺杆转速过高时,螺

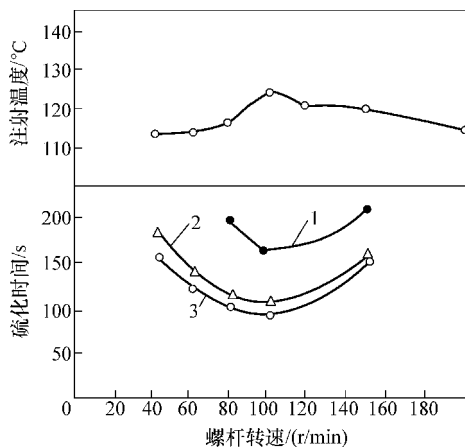


图 6-14 螺杆转速对注射温度和硫化时间的影响

1—中心 2—底面 3—顶面

(注:硫化时间由 2.1 cm 厚制品的顶面、中心和底面三者的硬度来估计)

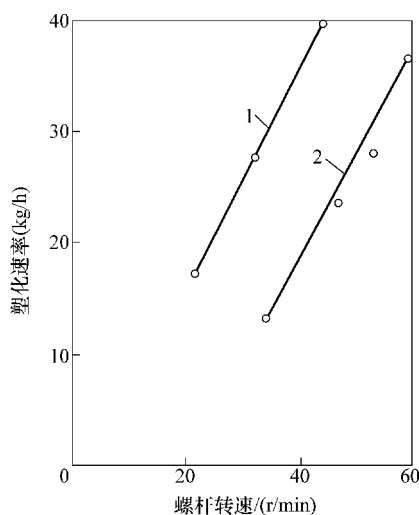


图 6-15 螺杆转速对塑化能力的影响

1—螺杆直径 65mm 2—螺杆直径 52mm

杆表面的橡胶分子链发生拉伸取向，产生一种收缩力，使胶料成团抱着螺杆一起转动，产生较严重的包轴现象，不能使胶料很好地受到剪切作用，故胶料温度反而下降，注射温度降低，硫化时间延长。一般认为螺杆转速以不超过 100r/min 为宜，螺杆直径大，转速宜低些，粘度高的胶料转速也应低些。

注射速度即注射柱塞或螺杆移动的速度，注射速度增加，注射温度和硫化速度随之增加，如图 6-16 所示。注射温度升高，注射时间缩短，有利于提高生产效率。但注射速度过高，会造成摩擦生热大，易焦烧，同时易使制品产生内应力和各向异性。若速度太低则不利于提高生产效率，而且会使制品表面出现皱纹或缺胶。

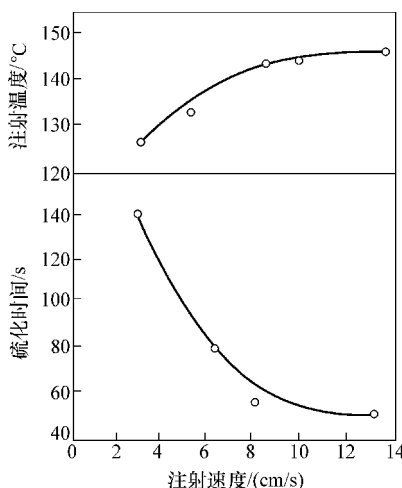


图 6-16 注射速度对注射温度和硫化时间的影响

4. 成型周期

在整个注射周期中，硫化时间和充模时间最为重要，它们的计算分配取决于胶料的硫化特性和设备参数。从硫化工艺来看，主要根据胶料在一定温度下的焦烧时间 $t_{\text{焦}}$ 和正硫化时间 $t_{\text{正硫}}$ 来确定，即要求充模时间 $t_{\text{充}}$ 小于 $t_{\text{焦}}$ ，硫化时间 $t_{\text{硫}}$ 等于 $t_{\text{正硫}}$ 。

充模时间必须小于焦烧时间，否则胶料会在喷嘴和模具流道处硫化。此外还要考虑充模后应留有一定的时间使胶料能在硫化反应开始前完成压力的均化过程，通过分子链的松弛消除物料中流动取向造成的内应力。以丁腈-40 胶料为例，如果我们在 190℃ 下进行注射硫化，预先测得该胶料在 190℃ 下的焦烧时间为 25s，正硫化时间为 60s，那么 $t_{\text{充}}$ 可定为 15s，压力均化为 5s，这样，15s + 5s < 25s。确定充模时间后，就可以根据每次注胶量确定注射速度和压力。

胶料的配方，特别是填充剂及软化剂的品种和含量，对充模有十分重要的影响，如添加软化剂可以大大缩短一定压力下的充模时间。

硫化时间在整个成型周期中所占的比例较大，缩短硫化时间是提高橡胶注射成型生产效率的重要手段。硫化时间虽然与喷嘴大小、注射压力及流道结构等因素有关，但它主要取决于胶料的配方和制品的厚度。采用高温快速有效硫化体系可以大大缩短硫化时间，而且这种硫化体系在不太高的温度下有很好的防焦性能。一旦达到高温后，可在很短的时间内达到正硫化点。对厚制品硫化时，由于制品内外层仍存在一定的温差，因此仍需适当延长硫化时间。硫化温度在 180 ~ 200℃ 时，橡胶制品厚度与硫化时间关系的实验数据见表 6-20。

表 6-20 橡胶制品厚度对硫化时间的影响

厚度/cm	0.16	0.28	1.0	2.1	3.8
硫化时间/s	10	15	45	60	60 ~ 150

6.4.5 橡胶注射成型中的质量问题及对策

由于含有多种配合剂的橡胶胶料的不均匀性，导致了橡胶在注射成型过程中发生许多问题，主要表现在以下几个方面：

1. 孔隙（针孔）

微小的孔隙是制品在注射成型过程中发生的，特别是在制品表面，会经常出现针孔现象。产生的原因主要是由于硫化前的胶料中混入了空气或挥发性物质（如水），在低压状态下进行高温硫化时就会膨胀。特别是在硫化不足的状态下从模具中取出制品时更易产生这种缺陷。若延长硫化时间，则会降低生产效率。解决办法是除了对原材料进行干燥、真空注射成型外，还应考虑在容易卷入空气的炼胶作业中尽量减少每批炼胶的量。在原材料的干燥中，多数是采用预先向胶料中添加干燥剂（一般是生石灰）的方法。

除了以上方法外，还可以采用提高胶料粘度的方法，如把要配合的油料及增塑剂的一部分改换成树脂类添加剂。

2. 花纹

表面光滑的注射制品，也会在变形时出现斑点，形成斑点花纹。这是由于配合剂分散不充分，而且多半是由于填充剂类物料造成的，当配合剂结团时，花纹增大。对于这种分散不充分的现象，只要改变炼胶时的投料顺序或延长混炼时间即可解决。为使胶料混炼均匀，需要添加具有相容性的添加剂，这种添加剂以树脂成分为主，也可以称为均质剂，除了对胶料有均质化作用外，对提高填充剂的分散作用也有很大作用。另外，为促进填充剂在胶料中的分散，还可向胶料中添加具有表面活性的润滑剂，由于润滑剂可以改进填充剂粒子表面的湿润性，因而有助于填充剂混入胶料中，同时也促进了它们在胶料中的分散作用。

3. 龟裂

龟裂是浅色橡胶制品表面产生的现象，其原因是由于紫外线照射致使制品表面

氧化。在热与湿度的作用下，产生了如同陶器表面上出现的不规则的细小裂纹，如图6-17照片所示。初看，它像橙子表面的皱纹，一旦受紫外线照射的时间过长，制品表面会硬化变脆，甚至粉化。对此，一般采取的措施是添加不变色的酚类防老剂。

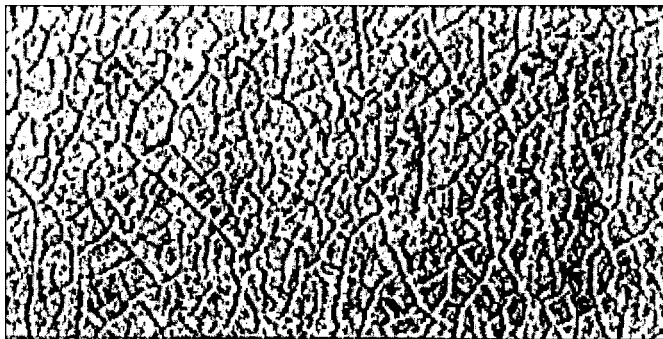


图6-17 经紫外线照射而显现的不规则小裂纹

4. 泛白

橡胶制品表面发白或发灰现象统称为泛白。特别是在无应力的自然状态下，含有白炭黑等白色填充剂的硫化制品，在湿度与温度的作用下，因臭氧作用会产生泛白现象，这是一种在制品表面上有填料粒子析出的现象。如果是NR配合，最好使用锌皂（物理增塑剂）代替化学增塑剂来调节粘度。加入锌皂后再与促进剂MZ（巯基苯并噻唑锌盐）和松香各0.5份并用进行塑炼。这样便能使臭氧及氧呈非活性化，填充剂分散均匀。在塑炼后进行混炼时，再加入通常所用的防老剂、抗臭氧用的石蜡。

5. 喷霜

橡胶制品中的配合剂渗出到制品表面形成一层霜状物，此种现象称之为喷霜。喷霜层是呈非结晶状的，虽然在硫化前也会出现，但大多数是发生在制品硫化以后。当橡胶基体与喷霜物之间的溶解性存在很大差异时会发生喷霜（相分离）。石蜡、润滑剂、促进剂及其分解衍生物以及硫黄就是众所周知的实例。

对于未硫化胶料中的硫黄喷霜可采取的对策是使用不溶性硫黄，因未硫化胶料喷霜造成的典型质量问题就是胶料的粘性不够，特别是在轮胎生产过程中，会对未硫化部位的成型工艺造成障碍，而在注射成型中该问题几乎不存在。

一般来说，硫化制品的喷霜对制品的外观与质量有很大的影响，但像耐臭氧的石蜡，若不喷霜又显不出其效果。在解决喷霜问题时需要分析原始的喷霜物质。在硫化促进剂发生喷霜时，应改变硫化体系；当石蜡喷霜时，在胶料混炼时应将石蜡的配合量调整到以不喷霜的程度为宜；当润滑剂喷霜时，则需要检验润滑剂与橡胶的相溶性。以前面所述的石蜡为例，使用何种类型的润滑剂并进行恰当组合也是防

止喷霜的一种方法。

树脂型添加剂会起抑制喷霜的作用，这是由于树脂型添加剂混入聚合物基体后，能改变与配合成分之间的相容性的缘故。

6. 融合不良

在注射成型时，由于胶料流向不同，特别是在合流部位，会出现融合不理想的现象。融合不良是由于胶料流动的前端部分受到污染，或胶料流动性差，或胶料在融合前发生了焦烧现象，在制品表面会出现薄薄的流痕及折痕。

污染源自胶料中渗出的配合剂成分。作为预防措施，首先应考虑前面喷霜中所述的措施。其次，还与胶料粘模及因模具受到污染而造成的脱模不良有关。此时，可适当采用外脱模剂（如硅乳液），这种方法虽然简便易行，但却由于流痕被包在胶料中而导致融合不良。如果采用使脱模剂在模具表面上反应并固化的所谓半永久型脱模剂（例如用于注射成型的最适合短时间反应的“永久型 90”脱模剂），即可解决此难题，这种脱模剂还有助于胶料流动。

另外，在提高胶料流动性、缩短注射时间方面应根据胶料的种类，选择合适的流动性改性剂（可提高内部脱模性能，抑制模具污染）及有效的添加剂（如 STRUKTOL 润滑剂）。对于受到污染的模具，清洗要尽快完成，最节省时间的清洗方法是将模具直接安装在注射机上，无需卸下即能进行清洗。

7. 收缩

注射成型制品的缺点之一就是尺寸不稳定，其主要原因是模具材质与胶料的热胀系数不同，其中胶料的影响是主要原因。对于这个问题，可以采取降低模具温度（硫化温度）之类的措施，这样便会降低生产效率。有效的方法是添加加工助剂，降低胶料粘度，因为胶料的粘度多半与热膨胀系数有密切的关系。

8. 失真（畸变）

产生失真的原因有欠硫、焦烧等。另外，胶料流动性差，过量添加不能均匀填充的热塑性树脂以及以结晶聚合物为主的配合剂等因素都容易导致制品失真。失真会影响产品的尺寸和均匀性，解决的办法是延长硫化时间和改变硫化体系。由于焦烧本身带来较多的派生问题，所以很难进行调整。除了在硫化体系方面尽力调整外，使用加工助剂是简便易行的手段。如果适当地使用润滑剂则能够提高胶料的流动性，可以有效地避免制品失真。另外，像 CR 这样以结晶聚合物为主的胶料的不均匀填充也是造成畸变的原因。在配合大量树脂的情况下，硫化制品内橡胶基体与树脂之间产生的应力松弛不同，这样就导致了畸变，在这种情况下减少树脂的用量是不可取的，而应该改用补强性树脂。

9. 开模撕裂

开模撕裂的主要原因是胶料的热膨胀，模具温度过高或者使用对开模具，在厚制品或容易焦烧的胶料的飞边线及分离线处会裂开，开模时就会出现开模撕裂现象。在这种情况下，可提高锁模力，并了解胶料中是否填充过量。采用降低硫化温

度和延长硫化时间的方法能够抑制焦烧，有效降低膨胀率，但会影响制品的物理性能和生产效率。若向胶料中添加加工助剂，则有利于降低注射成型压力和增加充模率。另外，由于热胀系数与胶料的粘度有关，所以通过添加助剂也可有效地降低胶料粘度。

10. 粘模与模具污染

模具表面粗糙或者胶料中配合了容易析出的组分，或者欠硫，都会造成粘模现象。应采取的相应措施是，先找出原因进行分析，然后加以解决。由于不能立刻更改通常使用的胶料配方，所以多半是采取直接处理模具表面的方式，如对模具表面预先进行镀铬处理，这已是众所周知的常识，另外，还有用特弗隆涂层进行处理的方法。

如前所述的外脱模剂、半永久型（形成薄膜反应型）脱模剂具有能在现场进行处理的优点，被广泛采用。它能达到降低表面能的效果，使模具表面光滑，减少模具与胶料之间的摩擦，是一种非常简便易行的方法。

另外，通常采取的方法是，向胶料内添加内脱模剂（润滑剂）。内脱模剂含有界面活性成分，硫化时，界面活性成分向模具表面迁移，形成极薄的隔离层从而起到脱模作用。由于它在硫化温度下较为稳定，所以可以作为有效的防止模具遭受污染的措施。

由于欠硫是模具污染的元凶，所以探讨最佳的硫化条件是非常重要的。

综上所述，注射成型技术人员要面对由各种原因形成的许多技术问题。解决一个问题的重要前提是充分了解胶料配方与工艺流程，准确地查出其产生的原因。若查清了原因，虽然说不存在万能添加剂，但现在可供选择的合适的加工助剂很多，这对改善生产条件及纠正不良措施有明显的效果。

6.5 粉末注射成型

粉末注射成型（Powder Injection Molding，简称PIM）是将现代塑料注射成型技术引入粉末冶金领域而形成的一门新型粉末冶金近净成型技术。它是塑料成型工艺学、高分子化学、粉末冶金工艺学和金属材料学等多学科渗透与交叉的产物。

粉末注射成型完整的工艺过程如图6-18所示，包括配料、注射成型、脱脂和烧结4个步骤。首先，将粉末与起粘接作用的聚合物和石蜡或矿物油进行捏合，混合均匀成为颗粒材料，这种颗粒材料具有与塑料一样的可加工性，可以用塑料的注射成型工艺进行加工。注射成型得到的坯料在较低温度下脱脂（脱除粘结剂），然后在惰性气体保护下进行烧结。最后经过很少的后加工（如渗氮、研磨）或不需要后加工就可以得到成品。

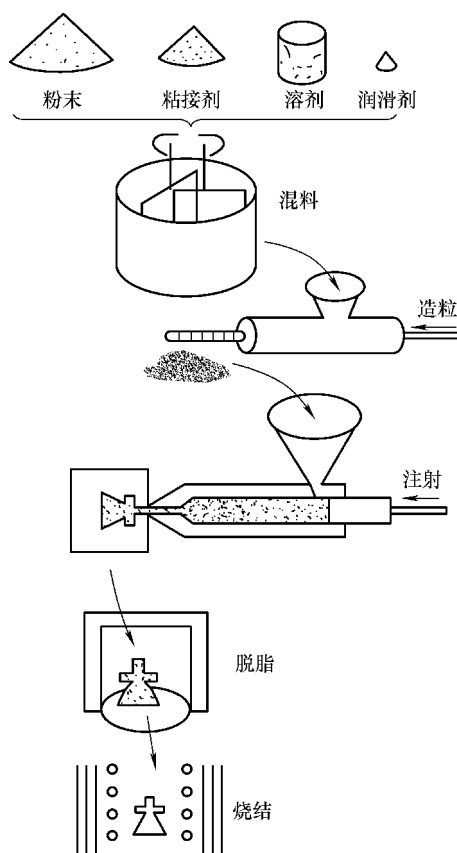


图 6-18 粉末注射成型工艺过程

6.5.1 制品设计

粉末注射成型制品的设计和常规的塑料注射成型制品或压铸制品的设计相似，只是由于注射成型材料性能不同，其尺寸与收缩率不同。在设计粉末注射成型制品形状时必须考虑到：① 模具型腔必须能够被注射料完全充满以形成制品的全部形状；② 注射料固化必须无损于零件成型坯；③ 成型坯必须可从模具中推出且不产生变形，并可进行进一步加工。

粉末注射成型制品的设计应注意以下几个方面：

(1) 脱模斜度 为便于从模具中取出成型的制品，制品壁都应带有脱模斜度，脱模斜度的大小由制品形状的复杂程度而定。为便于制作模具，一个制品上所有的脱模斜度应尽量相同。

(2) 壁厚 成型制品各处的壁厚应尽量均匀一致（如图 6-19 所示），壁厚不同会导致成型零件扭曲，产生内应力、空洞、开裂及凹陷，另外还可能导致收缩不均匀、影响尺寸精度。零件壁厚最好为 1.3 ~ 6.3mm。

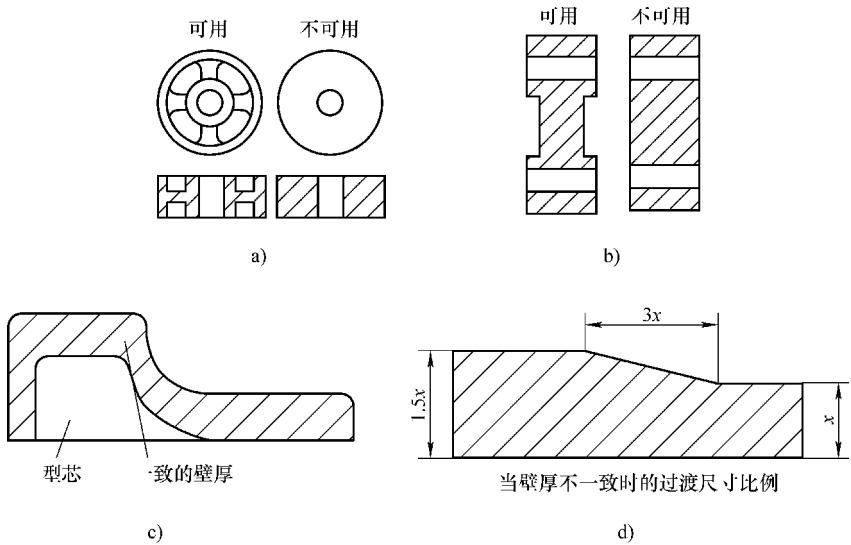


图 6-19 均匀一致的壁厚

(3) 孔 用型芯成型孔可将横截面减小到规定的范围之内，获得均一壁厚，减小材料消耗，并减少或避免切削加工。孔的方向最好平行于模具开模方向并垂直于分型面。最好采用通孔，不用盲孔，因为成型通孔的型芯可支撑在两端，而成型盲孔必须使用悬臂型芯。内部的连通孔应相互垂直，可能的话，应将孔做成 D 形，以便于型芯密封，如图 6-20 所示。

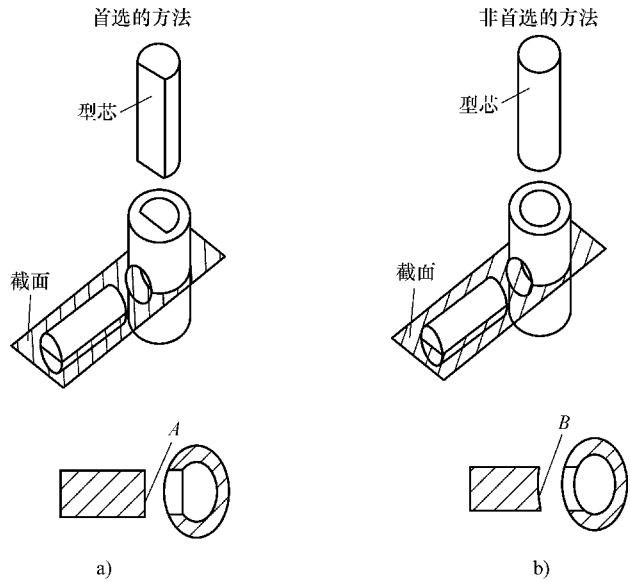


图 6-20 孔的相交

图 6-20a 中, *A* 处在型芯上提供了一个平的接触表面, 保证了良好的密封性。图 6-20b 中, *B* 处在型芯上提供了一个弯曲的接触表面, 导致该处过早地磨损, 产生较大的飞边。

(4) 加强筋 加强筋除用于增大薄壁的强度与刚度, 避免出现厚截面外, 还可以改善注射料的流动与限制变形。加强筋的厚度不得大于邻接壁的壁厚。在结构上需要较厚的加强筋时, 应用多条加强筋替代。加强筋可能导致邻接壁反面产生凹陷、翘曲变形等。图 6-21a 中, *A* 处没有加强筋, 接头的强度有可能降低, 在脱脂和烧结过程中有可能变形。图 6-21b 中, *B* 处增加了加强筋, 可以增加零件的强度, 并减小零件的变形。

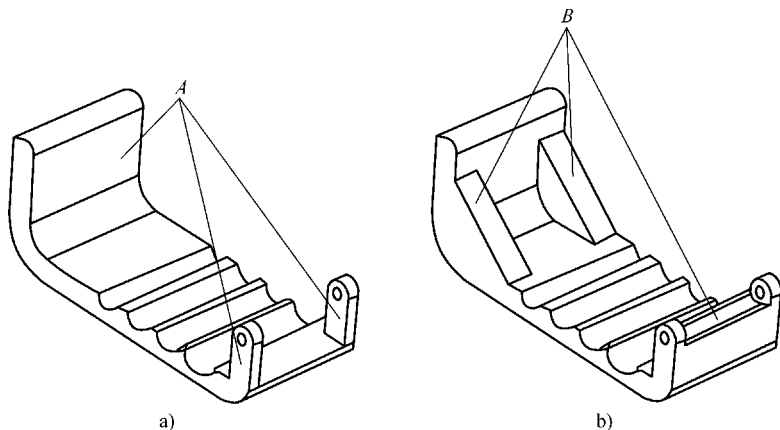


图 6-21 加强筋的使用

(5) 倒角与圆角 倒角与圆角的合理应用可减小零件转角处的应力, 对产品功能是有利的。倒角与圆角能够避免导致模具开裂或磨蚀尖角, 并有利于注射料流入模具型腔中, 因此对于注射成型工艺过程也是有利的。对于大多数金属粉末注射成型零件都推荐采用半径为 $0.4 \sim 0.8\text{mm}$ 的倒角。

(6) 尺寸精度与表面粗糙度 粉末注射成型工艺的优势之一是能够控制注射成型零件烧结时的收缩以获得精密公差。尺寸公差一般可保持在名义尺寸的 $\pm (0.3\% \sim 0.5\%)$ 范围之内, 下限为 $\pm 0.025\text{mm}$, 角度公差一般为 0.5° 。鉴于粉末颗粒的孔隙度较低, 金属粉末注射成型零件的表面粗糙度一般为 $Ra8\mu\text{m}$ 。

其他功能性与装饰性形状, 如标记、滚花、零件号及型腔号之类的形状细节都易于在模具中成型, 但不能成型于平行或接近平行于模具开模方向的模具零件表面上。

6.5.2 原材料的选择与配料

1. 粉末选择

理论上, 所有市场上可以烧结的粉末都可以用于粉末注射成型。常用的粉末有

Fe 合金、Fe-Ni 合金、不锈钢、Kovar 合金、W 合金、钛合金、Stellite Si-Fe 合金、镍基合金、硬质合金、永磁合金及氧化铝、氮化硅、氧化锆等陶瓷材料。常见的粉末材质见表 6-21。各种成型材料的基本性能见表 6-22。

表 6-21 粉末注射成型常用材质

材料体系	成分	材料体系	成分
低合金钢	Fe-2Ni, Fe-8Ni	硬质合金	WC-Co
不锈钢	316L, 17-4-PH	陶瓷	Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , SiO ₂
工具钢	42CrMo4, M2	高密度合金	W-Ni-Fe, W-Ni-Cu, W-Cu

表 6-22 几种典型的粉末注射成型材料的基本性能

材 料		密度 (g/cm ³)	硬度	拉伸强度/MPa	弯曲强度/MPa	伸长率 (%)	矫顽力 (A/cm)
铁基合金	98Fe ₂ Ni	7.41	87HRB	552	—	5.5	—
	98Fe ₈ Ni	7.50	88HRB	560	—	8	—
	95.5Fe ₂ NiCu0.5Mo	7.40	99HRB	682	—	3.3	—
不锈钢	304	7.42	42HRB	520	—	20	—
	316	7.60	42HRB	520	—	20	—
硬质合金	YG6	14.60	—	—	1460	—	173
	YG8	14.60	—	—	1680	—	124
	YT15	10.45	—	—	1140	—	117
钨合金	93% W	17.90	320HV30	920	—	6	—
	96% W	18.30	310HV30	900	—	10	—
	97% W	18.50	350HV30	880	—	6	—
陶瓷	ZrO ₂	—	—	—	233	—	—
	SBN ₄ Y ₂ O ₃ Al ₂ O ₃	—	—	—	380	—	—

PIM 工艺对粉末原料的要求一般较高，粉末的选择要有利于各个工艺环节，而这些要求往往是相互矛盾的。通常用于注射成型的粉末粒径为：碳化物 <1μm，氧化物 <3μm，金属 <30μm，瓷粉 <45μm。若粉末颗粒太大，会造成设备的磨损和制品被设备磨损物所污染。在选择粉末时，首先应考虑以下要求：

- 1) 不需要太多的聚合物就具有很好的注射成型流动性。
- 2) 烧结活性高（可以在较低温度下烧结）。
- 3) 收缩率恒定。

较小的粉末颗粒有利于预制坯在脱除粘结剂时保持一定的强度和在烧结时的致密化。较窄或较宽的粒度分布易于注射成型，且较宽粒度分布的粉末所需的粘结剂用量少，经注射成型得到的预制坯烧结性好，烧结尺寸变化小。为了保证注射预制

坯的形状尺寸,要求粉末颗粒的形状为近球形。

此外,粉末的含水率、比表面积也会影响产品的质量。含水率太高,影响粉末与粘结剂的粘接,在注射时容易导致粉末与粘结剂分离。这种分离将引起制品的内应力,从而易出现废品;粉末的比表面积既影响粉末与粘结剂的接触,也影响粉末的烧结活性。

2. 粘结剂体系的选择

粘结剂的作用是粘接金属或陶瓷粉末颗粒,使混合料在注射机机筒中加热时具有流变性和润滑性。另外,粘结剂能够在注射成型后和脱脂期间起到维持坯体形状的作用。因此粘结剂是粉末的载体,在粉末注射成型技术中起着相当关键的作用,粘结剂的设计与制备是 PIM 技术的核心,其加入与脱除是 PIM 的关键技术。

粘结剂应具有流动性好、注射坯保形性好以及易于脱除、无污染、无毒性、成本合理等特点。粘结剂通常是由低分子组分与高分子组分加一些必要的添加剂构成。低分子组分粘度小、流动性好,易于脱除;高分子组分粘度大、强度高,有利于注射坯的保形。

不同的材料体系所需求的粘结剂体系不同,根据粘结剂主要组分和性质不同,粘结剂体系可大致分为热固性塑料体系、热塑性塑料体系、水溶性体系等。最常用的是热塑性塑料体系。

(1) 热固性塑料体系 热固性塑料体系就是在粘结剂系统里引入了热固性聚合物,加热形成网状结构,冷却后变得永久干脆。此类聚合物很多,常见的有酚醛树脂和环氧树脂等,其优点是在脱脂过程中能减少成型坯体的变形以及提供反应烧结所需的大量的碳;缺点是流动性和成型性差,混料困难,脱脂时间长。如美国福特公司反应烧结 SiC 陶瓷粉末的注射成型就采用 47% (体积分数) 的酚糖醛-酚甲醛热固性共聚物为粘结剂,其他组分为 SiC (粉) 47% (体积分数),石墨 5% (体积分数),硬脂酸锌 1% (体积分数)。

(2) 热塑性塑料体系 热塑性塑料体系是在粘结剂系统里引入了热塑性聚合物,加热时热塑性聚合物在链长方向上以单一基团重复排列而不交叉。其粘度可根据聚合物相对分子质量的大小、分布以及成型温度来调节。此类聚合物比较常见,主要有石蜡 (PW)、聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)、无规聚丙烯 (APP)、聚苯乙烯 (PS)、聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA)、乙烯醋酸乙烯酯共聚物 (EVA)、丙烯酸乙酯共聚物 (EEA) 等。在该体系中为了提高粉末装载量,一般引入增塑剂、润湿剂和表面活性剂,如邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二乙酯、邻苯二甲酸二辛酯、硬脂酸、辛酸、微晶石蜡、钛酸酯、硅烷等。由于热塑性粘结剂体系流动性较好,并能通过选择其相对分子质量的大小及分布来调节脱脂阶段的热降解性,故得到广泛应用,成为目前的主流品种,如 PE 粘结剂的典型成分为 66% 石蜡 + 33% PE + 1% 硬脂酸 (质量分数)。

(3) 水溶性体系 水溶性粘接体系是从固态聚合物溶液 (SPS) 体系中发展起

来的粘结剂，主要由低相对分子质量的固态结晶化学物质构成，再加入少量聚合物。结晶化学物质受热时熔化，并将聚合物溶解，在其重结晶温度下溶液变成固态。通过调整聚合物的含量，可以自由调整 SPS 的粘度和强度。SPS 的最大优点是可以溶剂（包括水）选择性溶解化学物质，但在溶剂中溶解时易产生溶胀现象，造成坯体开裂。此类粘结剂主要有纤维素醚粘结剂、琼脂基粘结剂等，如 76% PEO + 23% PEW + 1% SA 粘结剂体系，其脱脂工艺为：20℃ 下用水洗 60 ~ 70min，浸出大部分 PEO，然后再进行热脱脂。

表 6-23 和表 6-24 分别列出了常用的粘结剂体系和各组分的性能。表 6-25 为各种粘结剂体系的优缺点比较。

表 6-23 几种典型的粘结剂体系

1	2	3	4	5	6	7	8
70% 石蜡， 20% 微晶 石蜡，10% 甲基乙基酮	67% 聚丙 烯，22% 微 晶石蜡， 11% 硬 脂酸	33% 石蜡， 33% 聚乙 烯，33% 蜂蜡，1% 硬脂酸	67% 石 蜡，20% 聚乙 烯， 10% 巴西 棕 桐 蜡， 3% 硬脂酸	45% 聚 苯 乙 烯， 45% 植 物 油，5% 聚 乙 烯，5% 硬脂酸	65% 环 氧 树 脂， 25% 石蜡， 10% 丁基 硬脂酸酯	25% 聚丙 烯，75% 花 生油	50% 巴西 棕榈蜡， 50% 聚乙烯

表 6-24 典型粘结剂组分的性能

材料	牌 号	$T_m/^\circ\text{C}$	平均相对分子质量	密度/(g/cm^3)	溶解度参数 δ
石蜡	Shell-120	75	367	0.75	15.19
	Okerin	108	500	0.70	14.20
蜂蜡	—	62 ~ 65	801	0.92	18.8
HDPE	NA-250	130	12500	0.93	16.3
LDPE	MN711-20	120	—	0.914	16.3
PP	GY545M	140 *	31850	0.905	16.3
PS	HF66	—	101400	1.06	18.7
PMMA	CM-211	—	—	1.19	19.06
PEG	PEG1500	40 ~ 50	1500	1.20	21.08
POM	—	175	—	1.42	22.6

注：* 等规 PP 的熔点应为 176℃，此处的 PP 可能是共聚物或共混物。

表 6-25 各种粘结剂体系的优缺点比较

体 系	主 要 组 分	优 点	缺 点
热塑性塑料 体系	PW、PP、PE	适用性好、流动性好、易于成 型、粉末装载量高、注射过程易 控制	脱脂时间长、工艺较复杂
热固性塑料 体系	环氧树脂、酚醛 树脂	注射坯的强度高、脱脂速度快	注射过程不易控制、适用 性差、缺陷多

(续)

体 系	主 要 组 分	优 点	缺 点
凝胶体系	甲 基 纤 维 素、 水、甘油、硼酸	有机物少、脱脂速度快	生坯强度低、脱脂困难
水溶性体系	纤维素醚、琼脂	脱脂速度快	粉末装载量小

热塑性的石蜡-聚烯烃粘结剂体系具有流变性较好、注射工艺范围宽等优点，并已被广泛应用。但因石蜡相变收缩大，注射和脱脂时会产生很大的内应力，因此只适宜注射小尺寸制件，而且对于该粘结剂体系的脱除一般采用热脱脂方法，脱脂速率相对较低。

以油基有机粘结剂制成的生坯强度低，保形性差，但其优点也很明显，在注射及冷却阶段无相变和收缩，并易溶于有机溶剂，适宜溶剂脱脂，从而可提高整个脱脂过程的速度。但溶剂脱脂所用的溶剂危害操作者健康，污染环境，不符合环保要求。

目前比较先进的粘结剂是聚醛树脂和水溶性粘结剂。德国 BASF 公司于 1996 年独立开发出一种由蜡和聚醛聚合物组成的新型粘结剂，它不但能使生坯强度提高，而且可将热脱脂的时间从过去的几天缩短到 2.5h。其重要成分聚醛聚合物能在一种气态催化剂（硝酸、草酸）的作用下很容易地分解成单体成分的甲醛（催化脱脂），聚合物直接由固态反应转化为气态，不产生液相，故不会使坯体因液相生成而产生缺陷，同时脱脂速度快，能连续地规模生产。但该生产系统设备昂贵，产生的甲醛污染环境。

水溶性粘结剂也是粘结剂发展的另一个新趋势，其主要优点是成本低、脱脂时间短、效率高。含水基粘结剂的注射混合料在制备较大尺寸零件时可采取先水基萃取脱脂，后热脱脂的组合脱脂工艺，以缩短脱脂时间，提高脱脂后坯体的尺寸精度。

3. 配料（捏合）

（1）配料方式 配料是将粉末与粘结剂进行混合制备成可用于注射成型的粒料的过程，是 PIM 工艺的重要工序。混合料的均匀程度直接影响其流动性，因而影响注射成型工艺参数，以至影响最终材料的密度及其他性能。实际上，从塑料加工的角度看，这一过程实际上就是塑料的制备过程。因此将粉末配制成为注射成型的原料，实际上就是高填充的塑料。配料要考虑相互矛盾的两个方面：从注射加工来说，材料必须具备比较好的流动性，因此填充料越少越好；从最终制品的要求来说，则希望聚合物越少越好。对于氧化铝粉末，粘结剂的质量分数约 15%；对不锈钢粉末，粘结剂质量分数约 6%。如此大的含量差别主要是由于氧化铝粉和不锈钢粉的密度不同。以体积计算，粉末至少应占 65%，显然粉末所占体积越大，烧结时的体积收缩越小。

配料方式一般有以下3种:

1) 熔态混合。将热塑性粘结剂放入有温度控制的混合器内,加热至熔融状态,然后按比例将经过合批的粉末原料放入熔融的粘结剂中充分地搅拌混合,直到获得非常均匀的类似牙膏状的混合料。

2) 溶剂混合。在室温下先将热塑性树脂和石蜡组成的粘结剂溶解在挥发性溶剂中,形成塑料溶胶物,然后用搅拌器与粉末原料混合,使粘结剂随着溶剂的蒸发均匀地沉积在金属粉末颗粒上。

3) 挤压连续混合。使用双螺旋挤压式切向混料器,它可以连续地搅拌和混合,混合料具有理想的流变特性,适合于中批量的生产。

(2) 配料设备 制备组织均匀、流动性优良的注射料是 PIM 工艺成功的关键,因此必须使用高效率的混合设备,保证混合料均匀一致,无团聚,不改变化学成分,不产生后续工艺无法消除的缺陷。目前广泛采用的混合设备有双螺杆挤出机、双行星混料机、单螺杆挤出机、活塞挤压机、双偏心轮混料器、Z 形叶轮混料器。

双螺杆挤出机由两根相互啮合且旋转方向相反的锥形螺杆组成,采用高温液压泵恒温加热,可使混合料沿加热的机筒形成均匀而薄的圆筒状产品。高温停留时间短,可防止两相分离及粘结剂与金属粉末的化学反应。剪切速率高,混合料均匀,各向同性,是实验室最常用的也是最成功的混料机,但设计制造成本高。

双行星混料机由两个相互垂直做行星运动的转子组成,由高温液压泵加热,通过热电偶传感器控制加热温度,加热均匀、快速且准确。装填容积可按比例扩大,清理方便,主要应用于粘结剂和金属粉末的最初高精度混炼。双行星混料机能够实现生产成本、生产能力和混合质量三者的最优化,广泛应用于 PIM 工业生产中。但对于亚微米级的细粉末来说,双行星混料机很难得到均匀的混合料。

Z 型叶轮混料器为卧式结构,核心部件为一对 Z 型叶片,主要有拌缸,拌桨,加热棒组成。拌桨通过浸泡在夹套内的导热油中的加热棒加热,热效高,耐腐蚀,能保证原料的化学性能。

密炼机适用于金属粉末与粘结剂的密炼。密炼机螺旋形转子是 20Cr 13 不锈钢铸件,硬度高,耐磨,耐腐蚀。通过特制的扭矩传感器装置、扭矩测试记录仪和物料温度记录仪,可记录密炼过程中物料温度、扭矩的变化情况,并能反映密炼过程中电流、速度等参数。输出轴转速可在 20 ~ 80r/min 范围内平滑调节,效率高,可满足不同材料不同配方的配料要求,能产生 0.1 ~ 0.25MPa 的压力并在此压力下进行捏合、搅拌和剪切,从而获得较好且均匀的组织,较高的生产率和良好的工作环境。

目前市场上也有混合好的、可供注射成型用的粒料,例如 BASF 公司的粉末注射成型料 (Catamold) 在欧洲市场就占有一定的市场份额,有的粉末生产企业也进入配料领域直接供应粉末注射料。

6.5.3 注射成型技术

1. 注射机

PIM 技术与塑料注射成型技术最大的相同点就是注射成型工序及其设备，即 PIM 技术可借用普通注射机（或对其加以技术改造）来进行金属粉末和粘结剂注射料的注射成型。随着新型注射工艺的不断发展，相应的注射设备不断涌现，如双回路注射机、双模板注射机，无拉杆注射机、全自动注射机、电磁动态注射机等。其中双模板注射机把塑化和注射分开，由挤出机塑化，柱塞注射，故其稳定均匀，计量准确。双模板、无拉杆注射机大大简化了注射机的锁模系统。全电动注射机以电动机械驱动结构代替液压动力传动系统，提高了扭矩，其传动速度和行程控制准确，具有很大的应用前景。电磁动态注射机将电磁场引起的机械振动场引入聚合物塑化计量、注射、充模和保压的全过程，在振动场的作用下，流体的流动性提高，注射压力降低，制品内应力减小，提高了塑化效果、制品质量和成型坯的尺寸精度，减少了缺陷的产生，为后续工序做好了组织结构和尺寸精度上的准备和保证。由于螺杆式注射机的注射参数能得到准确的控制，所以在 PIM 生产中被广泛应用。如通过对螺杆几何形状进行精心设计和特殊的表面涂覆可以有效地提高螺杆的耐磨性；通过多个分布均匀的加热器来控制机筒温度，单独控制注射压力和保压压力；通过液压定时或流量控制阀来控制螺杆的速度；通过反馈调节装置能准确地控制注射周期、螺杆前进时间以及闭模时间等。通过微处理器实现对压力，不同的注射行程、速度、回转次数以及输入能量的监测和在线控制，可进一步优化工艺参数，减少产品在注射过程中产生的缺陷，提高产品的精度和性能。

2. 成型模具

粉末注射成型理论上可以采用普通注射机和模具进行。但是由于材料的特殊性，即粉末与聚合物粘结剂混合料的导热性比塑料高，而流动性比塑料差，故用于粉末注射成型的模具也具有特殊的要求。

(1) 浇口 浇口的设计与普通注射成型的设置原则相同，即应该保证型腔的均匀充填和压力损失尽可能低。

(2) 流道 流道尺寸应适当放大，流道尽可能短且圆，从而降低压力损失。

(3) 排气 型腔应有很好的排气口。除设专用的排气口外，还可通过分型面和推杆的缝隙排气。

(4) 顶出 由于注射得到的坯料强度不高，脆性较大，顶出杆不能太少，尺寸不能太小，尽量使推出过程平稳，否则容易损坏制品。

(5) 脱模 为了便于脱模，模具表面尽可能光滑，脱模斜度约为 $1^{\circ} \sim 3^{\circ}$ 。

(6) 模具温度调节 模具温度控制要求比较精确（型腔内的温差不超过 $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$ ），除了合理布置冷却通道，采用冷却液冷却外，在某些部位（特别是制品的转角处）常常要设置局部加热。

3. 注射成型工艺过程

注射成型是 PIM 技术的主体工序，其工艺过程如图 6-22 所示。

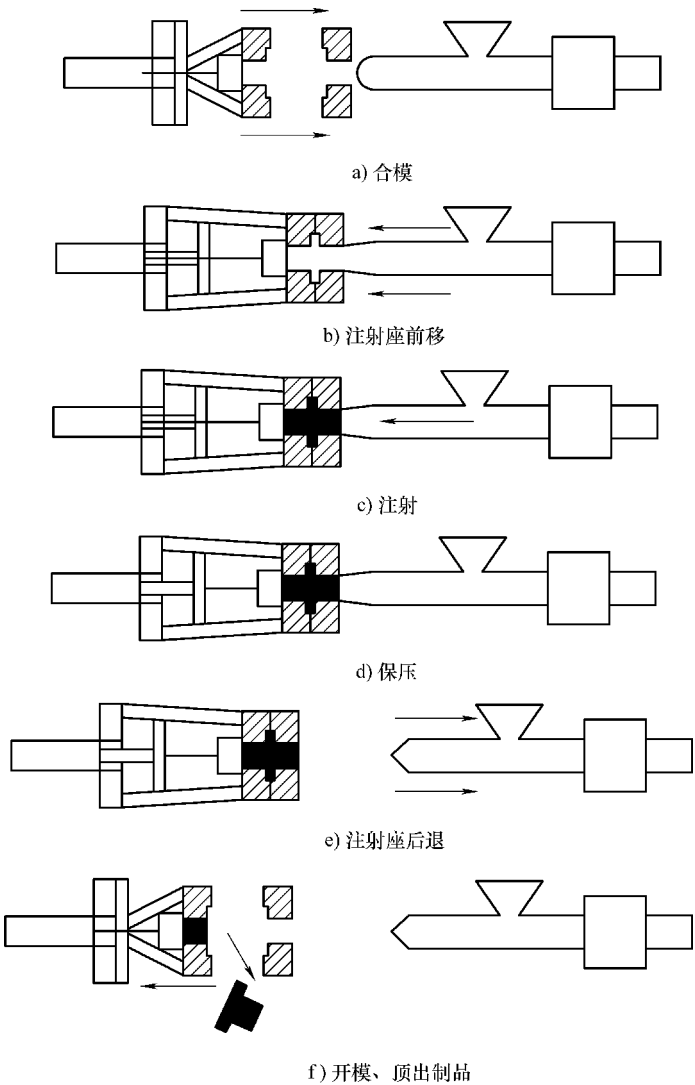


图 6-22 注射成型工艺过程示意图

注射成型是整个 PIM 工艺过程的关键工序，如果控制不当就会使产品形成很多缺陷，如裂纹、孔隙、焊缝、分层、粉末和粘结剂分离等，而这些缺陷直到脱脂和烧结后才能被发现，所以控制和优化注射温度、模具温度、注射压力、保压时间等成型参数对减少生坯质量波动，防止注射料中各组分的分离和偏析，提高产品成品率和材料的利用率至关重要。

注射过程是指把计量室中预塑好的注射料熔体注入到模具型腔的过程，也就是

注射料熔体经过喷嘴、流道和浇口向型腔流动的过程。从工艺流程上看可分为两个阶段：注射阶段和保压阶段，这两个阶段虽都属于熔体流动过程，但流动条件却有较大区别。

注射阶段是从螺杆推进熔体开始到熔体充满型腔为止。此时，螺杆头部对熔体所施加的压力（即注射压力）和螺杆推进熔体的速度（即注射速度）是注射成型的关键参数。在注射阶段，必须建立足够的速度和压力才能确保熔体充满型腔。注射压力过低，会导致型腔压力不足，熔体不能充满型腔；反之，如果注射压力过高，则会造成制品溢边、胀模等不良现象。

保压阶段是从熔体充满型腔开始到浇口冻封为止。注射阶段完成后，必须继续保持注射压力，维持熔体的补缩流动，一直持续到浇口冻封为止。因此保压阶段在保压压力的作用下，型腔中的熔体将得到冷却补缩和进一步的压缩和增密。如果保压压力不足，则会导致型腔压力过低。保压时间影响熔体的倒流，保压时间越短，型腔压力降低得越快，最终使型腔压力越低。研究表明，高压保压力（ $\geq 70\text{MPa}$ ）和长保压时间对于成型坯体的性质和表面质量均更为有利。

6.5.4 脱脂技术

1. 脱脂方法

脱脂就是采用一定的物理或化学方法，使成型生坯中的粘结剂组元全部脱除的过程。它是粉末注射成型过程中耗时最长的一步，也是最为关键的一个环节。如果脱脂过程控制得不好，很容易出现气泡、破裂、塌陷、变形等缺陷，影响最终产品的力学性能和尺寸精度。另外，许多在混合和注射时产生的缺陷也只有在脱脂后才会被发现，所以脱脂能否顺利完成，对于保证坯体质量、提高制品合格率、减少能耗等至关重要。

由于粘结剂体系的多样化，脱脂的方法也有多种。评价各种脱脂技术最重要的指标是脱脂时间，目前金属粉末注射成型的脱脂时间已由最初的几天缩短到几个小时。另外在脱脂时若能避免液相的生成，则可有效地控制生坯的变形，保证烧结后的尺寸精度。目前脱脂方法基本上可分为热脱脂、溶剂脱脂、虹吸脱脂、水基萃取脱脂、化学催化脱脂和超临界脱脂等。

（1）热脱脂 热脱脂是一种发展较早的脱脂方法，是将成型坯体加热到一定温度，使粘结剂蒸发或者分解生成气体小分子，气体分子通过扩散或渗透方式移动到成型坯体表面。它的原理是基于有机物分子的挥发和裂解。在脱脂初期，坯体内部形成连续空洞。热脱脂适合比较小的精密部件，适合于热脱脂的有机载体通常是石蜡、有机酸和聚烯烃的混合物。

热脱脂过程十分缓慢，对厚壁产品更是如此，因为脱脂时间与制品厚度的平方成正比。为了提高热脱脂效率，根据有机物对微波吸收特性的不同，采用微波加热脱脂，可以大大缩短脱脂时间。

(2) 溶剂脱脂 溶剂脱脂也称溶解萃取脱脂,是指用有机溶剂(如丙酮、庚烷、己烷等)溶解注射料中的有机物,随后再将溶剂排除的过程。其特点是溶解过程中坯体内产生连续的孔道,可以大大提高脱脂速率,缩短脱脂时间,同时,由于其中部分聚合物不溶解,脱脂时仍可保持坯体不变形,但它易产生溶胀现象,造成坯体开裂。虽然溶剂脱脂效率高且比较完全,但有机溶剂通常有毒或含有致癌物质,对操作者和环境都会产生不同程度的危害。

(3) 虹吸脱脂 虹吸脱脂是将生坯与多孔体接触,利用多孔体的毛细作用进行脱脂,这种脱脂方法提供了附加的支持体,即成型体外的粉末和多孔材料。这样脱脂过程中的变形将会大大减小,而且有机体能均匀一致地被虹吸出坯体。虹吸脱脂特别适用于使用低熔点、低粘度的有机载体体系的低压注射成型体。它的缺点是成本高,不易操作,有机载体粉末附着在金属或陶瓷坯体上难以清除,而且粘结剂体系有限。

(4) 水基萃取脱脂 水基萃取脱脂是在溶解萃取脱脂工艺的基础上经过改进而发展起来的一种新型的脱脂方法。脱脂过程分两个阶段进行,首先将坯体浸于水,水溶性的粘结剂通过水的滤取作用而被脱除,然后部分不溶于水的粘结剂可通过加热等其他方法脱除其中的某些聚合物。与传统的热脱脂、溶解萃取脱脂和虹吸脱脂相比,水基萃取脱脂具有脱脂速度快、脱脂过程中裂纹和缺陷形成少,而且烧结后的最终产品性能大幅度提高等优点。同时该方法安全可靠,操作简单,满足环保要求,不会危害操作者的健康。

水基萃取脱脂所用的粘结剂可分为两部分:一部分是水溶性的主粘结剂,目前使用最多的是 PEG(聚乙二醇);另一部分是不溶于水的辅助粘结剂。如氧化锆陶瓷注射成型所用的有机粘结剂的组成为 61% 的聚乙二醇 + 16% 氧化性的高密度聚乙烯 + 17% 聚乙烯醇缩丁醛 + 6% 硬脂酸。聚乙烯醇缩丁醛是聚乙酸乙烯酯、聚乙烯醇和丁醛的三元共聚物,羟基含量为 18% ~ 20%,乙酸酯基含量小于 25%,不溶于水,不发生溶胀作用,在主粘结剂 PEG 水溶液脱除时,它起骨架作用来保持坯体的强度。氧化性的高密度聚乙烯与 PEG 的相容性比一般聚乙烯要好得多,在热水中能保持坯体的强度和尺寸稳定性。而且氧化性的高密度聚乙烯粘度较低,能对聚乙烯醇缩丁醛造成的粘度升高起缓冲作用。硬脂酸能增加陶瓷粉体与有机体的相容性,起降低粘度的作用。

(5) 化学催化脱脂 化学催化脱脂是最近发展起来的一种脱脂工艺,最先是由德国的 BASF 公司发明的。化学催化脱脂的原理是利用一种催化剂把有机载体分子解聚为较小的可挥发的分子,这些分子比其他脱脂过程中的有机载体分子有较高的蒸气压,能迅速地扩散出坯体。

化学催化脱脂所采用的粘结剂体系一般是由聚醛树脂和起稳定作用的添加剂组成。在浓度大于 98.5% 的气态硝酸蒸气的催化作用下,聚醛类的解聚反应在 110 ~ 150℃ 之间快速进行,反应产物是气态甲醛单体。由于该反应是直接的气-固反应,

从而避免了热脱脂过程中由于生成液相而导致“生坯”软化，或由于重力、内应力或粘性流动的影响而产生变形等缺陷。催化脱脂从外向内的脱脂机制不产生裂纹和空洞，并且可以得到很高的脱脂速率。催化脱脂过程中，可在脱脂炉中引入高速惰性气流（氨气、氩气、氮气及其混合物）以加速小分子的扩散，调节脱脂速率。但由于催化脱脂中是用硝酸等强酸作催化剂，对炉子结构及操作方式有更高的要求，所以要用特殊结构的脱脂炉。催化脱脂也有其固有的缺点，目前适合于催化脱脂的有机载体体系只有聚醛类，因此有机载体体系的选择受到了很大的限制。

（6）超临界脱脂 超临界脱脂的基本原理是当气体处于超临界状态时，其性能介于液体和气体之间的单一相态，具有和液体相近的密度，粘度虽高于气体但明显低于液体，扩散系数为液体的 10 ~ 100 倍，因此对注射成型坯体有较好的渗透性和较强的溶解能力，能将坯体中的粘结剂提取出来。由于 CO₂ 的临界温度比较低（31.1℃），临界压力也不高（7.2 MPa），且无毒，无臭，无公害，价格低廉，所以在科研和生产中常使用 CO₂ 超临界流体。CO₂ 超临界脱脂不仅脱脂速度快，而且最终产品的性能也最好。使用超临界技术的唯一缺点是涉及高压系统，大规模使用时其工艺过程的技术要求较高，设备成本也较高，但由于它优点甚多，仍受到重视。

脱脂过程的关键问题是粘结剂的分解和脱除应该由外及里逐渐进行，否则，内部粘结剂分解产生的压力容易导致坯料开裂。去除粘结剂所用的时间与制品厚度的平方成正比，制品越厚，脱脂时间越长。几种常用脱脂工艺的优缺点对比见表 6-26。

表 6-26 几种脱脂工艺的优缺点比较

脱脂工艺	优点	缺点
热脱脂	理论发展成熟，工艺简单，价格低，不需特殊设备	脱脂速率低（< 1mm/h），仅适于小型器件，炉温控制困难，有缺陷
溶剂脱脂	效率高，脱脂时间短	工艺复杂，需特殊设备，且对环境和人体有害，有变形
虹吸脱脂	脱脂时间短	有机载体粉末附着在坯体上难以清除，粘结剂体系有限
催化脱脂	可将脱脂速率提高到 1 ~ 2mm/h，适于壁厚器件，无变形	脱脂分解气体有毒，需特殊设备并进行酸化处理，成本高
水基萃取脱脂	安全可靠，操作工序简单并满足环保要求，脱脂速度快	粘结剂体系有限
超临界脱脂	脱脂速度快	操作复杂，技术要求较高，涉及高压系统
微波脱脂	加热速度快，无温度梯度和热应力，节省能量	加热过程很难控制

2. 脱脂设备

随着 PIM 技术的发展，各种粘结剂体系和脱脂方法的开发利用，对脱脂时间和脱脂效率要求的提高，不断有新型的脱脂设备问世。根据各种生产规模的需要和实

际的生产情况，可以按照脱脂的方法将其分为热脱脂炉，溶剂脱脂炉、虹吸脱脂炉、催化脱脂炉；也可以根据设备的工作方式，把脱脂设备分为批料式催化脱脂炉和连续式脱脂-烧结一体炉。

(1) 批料式催化脱脂炉 德国的克莱默（CREMER）公司基于聚醛树脂脱脂新工艺开发研制的批料式催化脱脂炉包括一台批料式脱脂炉和一台炉床提升式烧结炉。批料式脱脂炉包括炉体、注酸装置、废气烧除装置及相应的控制机构，其脱脂原理如图 6-23 所示，将金属注射成型型坯放在脱脂炉的预加热区的 N_2 气氛下加热至 $86^{\circ}C$ 后移入催化脱脂区初步脱脂，通过清洁室再在烧结炉的第一加热区脱除残余的粘结剂。随后可在氮气、氢气、氩气、分解氨等气氛的作用下进行烧结。该设备工作温度 $120 \sim 140^{\circ}C$ ，脱脂周期 6h，使用硝酸或草酸作催化剂。

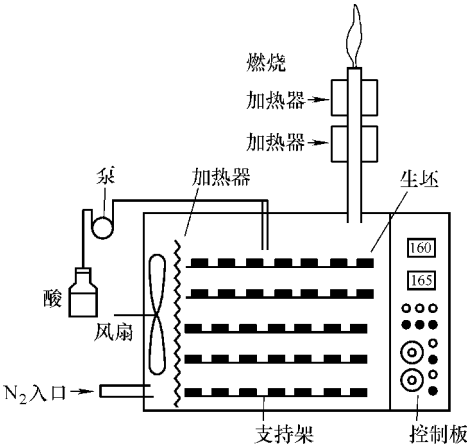


图 6-23 批料式催化脱脂炉工作原理

炉床提升式烧结炉被视为纯批料炉向连续炉的一个过渡。加热室进料前保持在 $300^{\circ}C$ ，通过控制机构旋转炉床，可获得均匀的温度分布。加热元件是钼丝，最高烧结温度达 $1650^{\circ}C$ 。脱脂烧结是在保护气氛下进行的，产生的废气在炉顶烧除。烧结之后，零件在加热室内自然冷却至 $800^{\circ}C$ ，然后炉床降下进入冷却室，降到约 $60^{\circ}C$ 时出料，开始下一循环。此炉装料室为 30L，非常适合注射成型小零件的小批量生产工作。

(2) 连续式脱脂-烧结一体炉 为了实现脱除剩余粘结剂和烧结工序之间全连续操作，德国 Cremer 公司开发出了 MIM-MASTER 烧结系统，即连续式脱脂-烧结炉，如图 6-24 所示。此系统由一台连续催化脱脂炉和一台连续烧结炉及附属装置

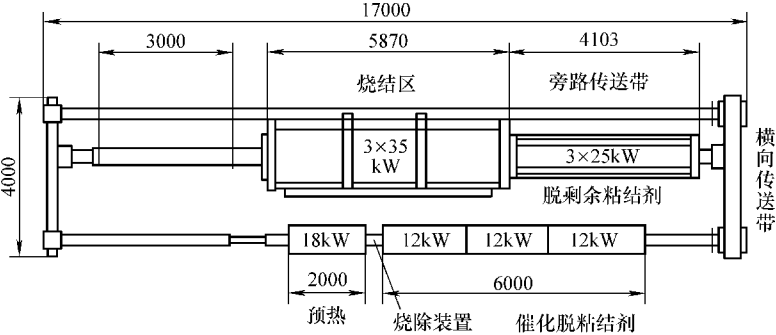


图 6-24 MIM-MASTER 烧结系统

组成。附属装置包括废气烧除、气体对流干燥装置、旁路运输带、注酸系统、电气控制柜和全过程控制（PTC）系统等。PIM 型坯在惰性或还原性气氛中完成脱除剩余粘结剂、预烧结和烧结过程。当 PIM 零件出炉后，料舟自动送入回送装置，由人工取下已处理过的零件，并将待处理的零件装上料舟，送入脱脂炉，从而实现连续工业化生产。

（3）真空热脱脂炉 对于石蜡基粘结剂体系来说，热脱脂是最常用的，也是最重要的脱脂方法。湖南英捷高科技有限公司自行研制的真空脱脂炉可适用于金属和陶瓷粉末制品烧结前的脱脂和预烧结。该真空脱脂炉由炉体、捕集系统、真空系统、充气系统、外循环冷却系统、电气控制系统等部分组成。炉体采用高温电热合金带作为发热材料，额定工作炉温为 950℃，最高试验炉温 1100℃，额定工作压力可达 1Pa，充气压力（绝对压力）为 0.15MPa。

6.5.5 烧结技术

1. 烧结方法

烧结也是粉末注射成型的一个重要环节。脱脂结束后，坯体尺寸与预制品几乎没有差别，即为多孔质成型体，密度较低，因此需要通过高温烧结使产品达到全致密或接近全致密化。

烧结方法有多种，按压力不同，可分为常压烧结和加压烧结；按工作方式可分为间断式烧结（每次装卸料须停炉）和连续式烧结（装卸料可在不降温的情况下进行）；按加热方式大体上可分为电阻加热烧结和感应加热烧结，它们又可分为对烧结体直接加热和间接加热两种烧结形式；按烧结温度不同，可分为中温烧结（900~950℃）和高温烧结（1100~1700℃）；按保护气氛的不同又可分为空气烧结、氢气烧结（如钼丝炉烧结、不锈钢管式氢气炉烧结）、真空烧结等。常用的烧结方法是真空烧结。

2. 烧结设备

（1）真空烧结炉 在工业应用中，真空烧结炉的工作温度一般在 600~2200℃，真空度在 0.0001~1Pa。零件在真空中加热或烧结的优点是零件易脱气、脱硫、脱氧及使有害杂质蒸发分离，避免零件氧化，但真空烧结炉工作效率较低，热损耗较大，加工成本高，操作控制和维修较难。近年来，在粉末冶金工业和粉末注射成型工艺中，真空烧结炉的应用越来越广泛，如卧式真空炉呈水平放置，它又可分为间断式和连续式两种。卧式连续式真空炉能在高温、高真空下连续进出舟皿，炉头、炉尾的延伸管内增设真空隔离插板，使延伸管内形成独立的三个真空室。炉门采用真空关闭，利用隔离插板使充气、抽真空、进料端推舟进料、出料端出料连续完成，防止空气进入炉体，从而满足各真空度的要求并实现自动控制。

目前，我国用于烧结钎铁硼产品的真空烧结炉基本上都是引进的。湖南英捷高科技研发的 VSF350 型真空烧结炉已投入生产并广泛应用在硬质合金、不

锈钢和高密度等 PIM 零部件的烧结中。

(2) 卧式推杆式烧结炉 卧式推杆式烧结炉的结构如图 6-25 所示。最高使用温度为 1700℃，工作温度为 1500℃，功率为 40kW。由炉体、炉尾、冷却系统、炉温控制系统组成。可在氢气、氩气、氮气等保护性气氛下还原各种金属粉末及烧结 PIM 产品。

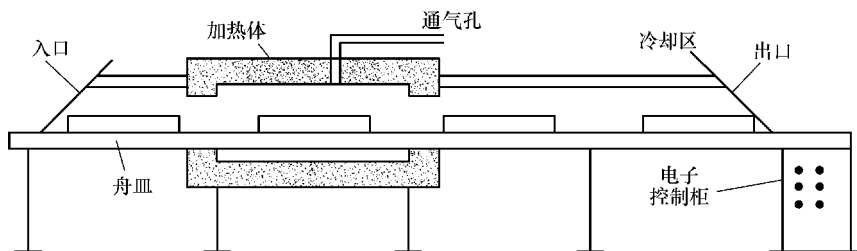


图 6-25 卧式推杆式烧结炉的结构

炉体由两根炉管组成：第一根炉管是低温带，温度为 200 ~ 800℃，用电熔高纯刚玉管制成，加热元件是 Cr20Ni80 合金带；第二根炉管的最高工作温度达 1700℃，加热丝为钼丝，炉丝能在高温（1400 ~ 1600℃）下稳定工作。安装在两个加热带炉管中间的热电偶测温仪对炉温进行自动检测和控制。由于炉温较高，在烧结时可选用的舟皿材料只有石墨、钨、钼。实际上，因钨、钼成本太高，故多用石墨舟皿。只有在烧结高密度合金或纯钨材料时才采用钼舟。

3. 产品后处理

在粉末注射成型产品生产工艺中，部分产品在烧结后还需进行后续处理，以进一步提高产品的性能和质量。后处理设备与粉末冶金常用的后处理设备相同，但在 PIM 产品的后处理工序中，依据要达到的性能要求不同，所采用的后处理方式也各不相同。在实际生产中，经常用到的后处理方式有研磨、喷砂、表面处理（蒸汽处理、渗碳、碳氮共渗）、浸油及热处理等。研磨可去除零件型孔、型腔、薄壁、成型表面的飞边；喷砂可对烧结或热处理过的零件表面进行粗糙表皮、氧化表皮的清理；蒸汽处理也称发蓝处理，多用于铁基 PIM 产品及粉末冶金产品中，可进一步提高致密度和防锈性能；热处理可修整高温烧结后的零件的氧化表面，进一步消除空隙和烧结应力。

6.5.6 影响粉末注射成型制品质量的因素

1. 注射成型工艺的影响

注射成型是获得所需形状的预成型坯的过程，是整个工艺过程的关键。因为粉末注射成型产品的缺陷大部分都是在注射成型过程中形成的，如裂纹、空洞、分层、粉末与粘结剂分离等，而这些缺陷往往要在脱脂和烧结完成以及注射应力被释放后才能发现。缺陷形成的原因除原料粉末不合格、粘结剂选择不当、注射料混炼

不合格等因素外，主要取决于注射成型时的工艺条件，所以控制和优化注射成型工艺参数对于提高产品成品率和材料的利用率至关重要。

注射成型过程包括注射和保压两个阶段，其中涉及的工艺参数主要有温度（机筒温度、喷嘴温度、模具温度）、压力（注射压力、保压压力和背压压力）和时间（注射时间、保压时间和冷却时间）。在实际生产中，由于注射料成分不同，产品形状各异，各项参数也不尽相同。

（1）温度 机筒与喷嘴温度的设定与控制对注射成型制品的质量有重要影响。机筒温度是指机筒表面的加热温度，一般为 $150 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 。根据注射料在机筒内的塑化机理，分三段加热：第一段——固体输送段，是靠近进料口的部分，温度要低些，有冷却水冷却，防止物料架桥，保证较高的固体输送效率；第二段——压缩段，是物料处于压缩状态并逐渐熔融的阶段，温度设定比第一段要高出 $20 \sim 25^{\circ}\text{C}$ ；第三段——均化段，是物料全部熔融的阶段，预塑开始时，该段对应于螺杆均化段，在预塑终止后形成计量室储存塑化好的物料。一般来讲，第三段的温度比第二段要高出 $20 \sim 25^{\circ}\text{C}$ ，以保证物料处于熔融状态。

模具温度是指与制品接触的型腔表面的温度，它直接影响到制品在型腔中的冷却速度。对于金属粉末的注射成型，由于物料的热导率比较大，物料很容易冷却，因而模具温度要更高一些，甚至高达 140°C 。如果模具温度太低，转角处的熔体会过快冷却，容易发生欠注现象；太高则可能使粘结剂失效，引起飞边，而且冷却时间要加长。

一般来说，注射成型温度必须高于粘结剂组分中最高熔点温度，脱模温度必须低于其共结晶温度。

（2）压力 注射成型压力对充模速度影响较大，其上限由产生喷射、坯件粘模、飞边和锁模力决定。注射压力的设定值一般在 $30 \sim 200\text{MPa}$ 之间（常用的压力范围为 $80 \sim 120\text{MPa}$ ），保压切换点（即注射压力向保压压力的转换点）设置在熔体充满模具的 $95\% \sim 98\%$ 时。如果保压压力低，没有足够的压力填实模具来补偿冷却收缩，则制品表面易出现缩孔；反之，保压压力太高，则会阻碍脱模。典型的注射压力曲线如图 6-26 所示。

（3）时间 成型时间与型腔大小、充模时间和冷却时间有关，短则几秒，长则数分钟。充填时间一般控制在 $0.5 \sim 1.0\text{s}$ ，冷却时间与构件壁厚有关。

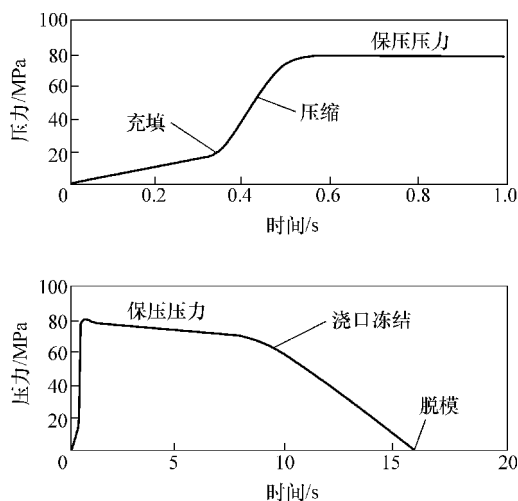


图 6-26 粉末注射成型的典型压力曲线

粉末注射成型对工艺条件的控制精度要求比普通塑料注射成型高得多,稍有偏差就有可能导致制品缺陷。要获得理想的充模过程和无缺陷制品,注射工艺参数的合理选择极为重要。

注射成型时难免有一些粘结剂会被吸附在模具表面,一般经过 24h 生产以后,需要中断生产,对模具(包括所有活动机构,如顶杆、定位销等)进行彻底清洁。

2. 脱脂工艺的影响

脱脂过程是 PIM 最困难和耗时较长的一道工序,是影响制品质量和制造成本的关键步骤。影响脱脂过程的因素主要有气氛、压力和温度。在一定的气氛压力下脱脂,可缩小有机物挥发及分解产生的有效体积,从而减少由于体积膨胀引起的坯体开裂。

目前 PIM 常采用溶剂脱脂和热脱脂结合的方法。合理设计溶剂脱脂的温度和热脱脂升温速率以及保证脱脂-烧结设备具有良好的温度稳定性和均匀性,可以避免 PIM 制品在该工序中出现缺陷。大量的研究表明,热脱脂成功与否的关键在于控制脱脂温度,在低温阶段(150 ~ 350℃)要低速升温(1℃/min),避免试样产生变形和其他缺陷。

3. 烧结工艺的影响

随着烧结温度的提高,体积扩散和界面扩散的作用更加明显。在高温下,由于部分液相的产生,在粉末颗粒间形成烧结颈,物质通过表面张力作用引起的流动或原子扩散迁移进入该区域,使烧结试样致密化。但如果烧结设备和烧结试样内部温度分布不均匀、粉末成分不一致或者烧结过程中液相过多,容易造成试样各向异性收缩,甚至坍塌。虽然通过延长烧结时间、提高烧结温度并在低压条件下可得到接近理论密度的 PIM 制品,但是延长烧结时间和提高烧结温度也容易造成烧结试样变形、坍塌以及由于晶粒长大而晶界数量减少,致使位错滑移阻力减小,材料性能降低。

烧结气氛一般采用保护气氛、氢气还原气氛和真空烧结等。合理选择烧结气氛不仅可以避免杂质混入烧结试样,保证其物理力学性能,还可以提高粘结剂的热解挥发,减小制品碳含量。通常根据烧结试样不同来选择烧结气氛。

粉末注射成型技术作为一种粉末冶金零件净成型和近致密化的高新技术,在成型复杂形貌的小型零部件方面,相比传统的加工技术,有明显的经济技术优势。但是该技术包含多道工序,工艺参数较多,制品的质量受到各个工艺参数的影响较大,特别是采用该成型技术制备不同组分材料时,确定各个工艺参数是粉末注射成型技术的一大难点。随着当今科技的发展,各种先进的分析测试技术及模拟软件被用于粉末注射成型工艺研究,为该技术的进步提供了极大的帮助,相信粉末注射成型技术在材料行业中的应用将越来越广泛。

第7章 注射成型制品的质量分析与检验

7.1 注射制品的质量分析

在注射成型过程中，制品的质量与所用塑料原料质量、注射机的类型、模具的设计与制造、成型工艺参数的设定与控制、生产环境和操作者的状况等有关，其中任何一项出现问题，都将影响制品的质量，使制品产生缺陷。

制品的质量，包括制品的内在质量和表面质量（也称表观质量）两种。内在质量影响制品的性能，一般是指通过测试才能反映的性能指标；表面质量影响制品的价值，只要通过肉眼观察就清楚了。由于制品的表面质量是内在质量的反映，凡能引起制品内在质量的因素，往往也同时引起制品的表面质量，因此要保证注射制品的质量，必须从控制制品内在质量着手。

影响制品质量的因素很多，本节主要介绍影响内在质量的内应力、收缩性、熔接强度、冲击强度和透明度及主要外观缺陷，如欠注、凹陷、翘曲、熔接痕、尺寸不稳定等。

7.1.1 内应力

1. 内应力的产生和类型

注射成型制品产生内应力的原因有两个，首先是由于塑料大分子在成型过程中形成不平衡构象，成型后不能立即恢复到与环境条件相适应的平衡构象所产生的。此外，当外力使制品产生强迫高弹变形时，也会产生内应力。根据产生内应力的原因不同，注射成型制品中可能存在以下四种形式的内应力，即取向应力、温度应力、收缩应力和脱模应力。

（1）取向应力 当处于熔融状态下的塑料被注入模具时，注射压力使聚合物大分子链伸展、形变，沿流动方向发生取向。由于模具温度较低，熔体很快冷却下来，使取向的大分子链来不及恢复到自然状态（即解取向），就被冻结在模具内而形成了内应力。取向应力对制品的力学性能和尺寸稳定性都有影响。

注射成型工艺参数对取向应力的影响如图 7-1 所示。从图 7-1 中可知，熔体温度对取向应力影响最大，提高熔体温度有助于降低熔体粘度，从而使得剪切应力和取向程度降低；提高模具温度，冷却速率慢，有利于大分子解取向，会使取向应力减小；延长注射和保压时间，取向应力增大，直至浇口“冻结”而终止。

（2）温度应力 它是因温差引起制品冷却时收缩不均匀而产生的。当熔体进

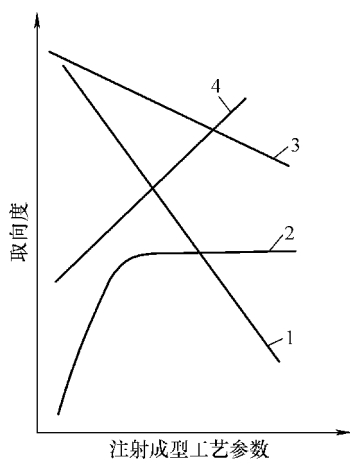


图 7-1 取向应力与注射成型工艺参数的关系

1—熔体温度 2—保压时间 3—模具温度 4—注射压力

入温度较低的模具型腔时，靠近型腔壁的熔体迅速冷却而固化，于是分子链被冻结。由于凝固的聚合物层导热性很差，阻碍制品内部继续冷却，以至于当浇口冻结时，制品中心部分的熔体还有未凝固的部分，而这时注射机已无法进行补料，结果在制品内部因收缩产生拉伸应力，在制品表层则产生压缩应力。

制品厚度不均或制品带有金属嵌件都易产生取向应力和温度应力，所以嵌件和浇口应设置在制品壁较厚处。

(3) 收缩应力 注射成型过程中，塑料分子本身的平衡状态受到破坏，并形成不平衡体积时的应力，如结晶性塑料的晶区与非晶区界面产生的内应力，或结晶速度不同、收缩不一致产生的应力等。聚合物的结晶区与结晶度都是由高分子材料的特性所决定的，所以这种内应力较难克服。

(4) 脱模应力 与脱模时制品的变形有关的应力。模具设计不合理、脱模操作不当、模具温度控制不当等都会使制品脱模时变形而产生内应力。

四种应力中取向应力和温度应力对制品的物理性能影响最大。而收缩应力是最难消除的应力，脱模应力虽不能彻底消除，但可通过调整使其降到最低。

2. 内应力对制品的影响

制品中内应力的存在会严重影响制品的力学性能和使用性能。例如聚苯乙烯制品易带分布不均的内应力，使制品在使用过程中会形成细微裂纹，使光学性能变差、表面出现“银纹”、制品变浑浊。内应力还会使注射制品的力学性能出现各向异性。平行于流动方向上力学性能高，垂直于流动方向上力学性能低，使制品的性能不均匀，从而影响制品的使用。特别是当制品受热、与有机溶剂和能加速制品开裂的一些介质作用时，制品更易出现开裂现象，并且开裂程度随温度的升高而加大。因此必须采取措施消除和分散内应力。

3. 内应力的控制

制品的内应力不可避免，只能在成型过程中尽量使内应力减少到最小或使内应力分布均匀。注射成型制品中内应力的控制可从以下几方面着手。

(1) 塑料原材料

- 1) 加工时要选用纯净的塑料原料，因为杂质的存在，易使制品产生内应力。
- 2) 当塑料的平均相对分子质量较高、相对分子质量分布范围较窄时，制品中产生的内应力较小（但必须考虑到材料的可加工性）。
- 3) 多组分的塑料在加工时，各组分应分散均匀，否则易产生应力集中。
- 4) 结晶型塑料在成型中加入成核剂（如聚丙烯中加入成核剂己二酸）后，可使结晶更完善，形成的球晶体积小、数量多，制品的内应力小。

(2) 制品设计 为减小内应力，在设计制品时应做到以下几点。

- 1) 制品的表面积与体积之比尽量小，因为比值小的厚制品，冷却缓慢，内应力较小。
- 2) 制品的壁厚应尽量均匀，壁厚差别大的制品，因冷却不均匀而容易产生内应力，对厚薄不均匀的制品，在厚薄结合处，尽量避免直角过渡，而应采用圆弧过渡或阶梯式过渡。
- 3) 当塑料制品中带有金属嵌件时，嵌件的材质最好选用铜或铝，而且加工前要预热，以防因材料的线胀系数不同而产生内应力。
- 4) 在制品的造型上，尽量采用曲面、双曲面，这样不仅美观，而且也能减少变形，可很好地吸收冲击能使制品内应力减小。

(3) 模具设计 在模具设计过程中应注意以下几个方面的问题。

- 1) 浇口的尺寸和位置。浇口小，保压时间短、封口压力低、内应力较小；浇口设置在制品的厚壁处，则注射压力和保压压力低、内应力小。
- 2) 流道。流道大，则注射压力低、注射时间短、内应力小。
- 3) 模具冷却系统。设计模具的冷却系统时，应保证制品的冷却均匀一致，这样制品的内应力小。
- 4) 顶出系统。顶出装置的顶出面宜大些，可使内应力较小。
- 5) 脱模斜度。模具应具有一定的脱模斜度，使制品脱模顺利，产生的内应力小。

(4) 成型工艺条件

1) 温度。注射温度对制品内应力影响最大，因热塑性塑料的取向程度随注射温度的提高而减小，所以适当提高注射机的机筒温度，不但可以保证物料塑化良好，各组分分散均匀，而且还可降低收缩率，减小内应力；模具温度升高，制品的冷却速度缓慢，大分子取向程度降低，内应力也会降低。

2) 压力。较高的注射压力易产生较大的剪切应力，使大分子的取向程度增大，内应力增大。所以适当降低成型时的注射压力和保压压力，有利于减小制品的取向

应力。

3) 时间。保压时间长, 模内压力由于补压作用而提高, 熔体会产生较大的剪切作用, 使分子取向程度增加, 制品的内应力增加。适当缩短保压时间, 有利于减小制品内应力。

4) 注射速度。注射速度对制品内应力的影响较之温度和压力等因素的影响要小得多, 通常当注射速度较低时, 制品易产生熔接痕, 取向作用较低; 而注射速度过高时, 制品表面质量差, 且制品内应力也较大, 所以最好采用变速注射, 即快速充模, 低速保压, 快速充模可减少熔接痕, 低速保压可减小分子取向, 这样内外温差也小, 制品的内应力较低。

5) 热处理。制品的内应力还可通过热处理的方法消除。热处理的实质是使塑料大分子中的链段、链节有一定的活动能力, 使冻结的弹性变形得到松弛, 取向的分子回到无规状态, 同时也使结晶高聚物的结晶完善, 从而使制品的内应力减小。

4. 内应力的检查方法

内应力的检查方法主要有以下两种。

(1) 溶剂浸渍法 溶剂浸渍法是将 PS、PC、聚砜、聚苯醛等塑料所注射成型的制品浸入某些溶剂 (如苯、四氯化碳、环己烷、乙醇、甲醇等) 之中, 以制品发生开裂破坏所需的时间来判断应力的大小, 时间越长则应力越小。此法简单方便, 工厂中普遍采用, 但对制品是破坏性的检测。经过溶剂浸泡过的制品即使没有开裂, 也不能作为正品使用。

(2) 仪器法 常用偏振光检验法, 即将制品置于偏振光镜片之间, 观察制品表面彩色光带面积, 以彩色光带面积的大小来确定制品内应力大小, 如果观察到的彩色光带面积大, 说明制品内应力大。此法对制品没有破坏性, 经过检测的制品照常能用, 但需要昂贵的仪器。

7.1.2 收缩性

1. 收缩过程

注射成型制品的尺寸一般都小于模具的型腔尺寸, 这是因为塑料在成型过程中体积发生了变化。通常把塑料制品从模具中取出, 尺寸发生缩减的性能称为收缩性。注射制品在成型过程中产生的收缩, 按发生收缩时的条件和特征不同, 可分为三个阶段, 第一、二阶段的收缩主要在模具内进行, 从充模时开始到脱模时结束, 称为模塑收缩性; 第三阶段是在脱模以后进行的, 一直到制品冷却到环境介质的温度为止 (一般为 24h), 称为后收缩性。

第一阶段的收缩主要发生在浇口凝固之前, 即保压阶段。在保压期内, 物料温度下降、密度增加, 最初进入模具型腔内的物料体积缩小, 但由于此时机筒仍不断地将塑料熔体压入型腔, 补偿了型腔内物料体积的减小, 型腔内制品质量的增加和塑料熔体的不断压实, 可一直进行到浇口凝封为止。因此型腔内塑料的收缩率受保

压压力和保压时间的控制,即保压压力越大、保压时间越长,则制品的收缩率越低。在适当的保压压力和保压时间下,第一阶段的收缩可以完全得到补偿。

第二阶段的收缩是从浇口处的塑料熔体凝固后开始的,直至脱模时为止。在该阶段已无熔体进入型腔,制品的质量也不会再改变。此时,非结晶型塑料的收缩是按体胀系数进行的,收缩的大小取决于模具温度和冷却速率,模具温度低,冷却速率快,分子来不及松弛即被冻结,因此制品的收缩小;而结晶型塑料的收缩主要取决于结晶过程,结晶度提高,则制品密度增加、体积减小、收缩增大。在该阶段中,影响结晶的因素仍是模具温度和冷却速率,模具温度高,冷却速率慢,结晶完全,因此收缩大,反之则收缩小。

第三阶段的收缩是从脱模后开始的,属自由收缩。此时,制品的收缩率取决于制品脱模时的温度与环境温度之差,也取决于线胀系数。温差越大,材料线胀系数越大,自由收缩越大。制品脱模后的后收缩有90%是在脱模后的6h内完成的,10天内完成几乎全部的剩余收缩。所以测定的制品收缩率一般是指脱模后24h内的收缩率,以后的收缩可忽略不计。

2. 影响收缩的因素

影响塑料制品收缩性的因素主要有以下几方面:

- (1) 塑料材料 包括塑料材料的结晶性、相对分子质量及其分布、有无填充剂等。
- (2) 注射成型工艺条件 包括熔体温度、模具温度、注射压力、注射速度、保压时间等。
- (3) 制品设计 包括制品的厚度、形状及有无嵌件等。
- (4) 模具结构 包括模具中浇口的设置、流道的尺寸及模具的冷却等。
- (5) 设备选择 包括设备类型、控制精度等。

3. 收缩的控制

制品收缩性的控制,可从以上介绍的影响因素入手。

(1) 塑料材料 选择相对分子质量大小适当且分布均匀的塑料材料;选择流动性好、熔体流动速率低的聚合物;选用有增强剂或填料的复合材料;对结晶性塑料,提供减小结晶度和稳定结晶度的条件。

(2) 制品设计 在能确保强度、刚度要求的前提下,适当减小制品的厚度;尽量保证制品的厚度均匀;带有加强筋的制品,可减小收缩;制品的几何形状尽量简单、对称,使收缩均匀;采用边框补强可减小收缩;金属嵌件的使用要合理,尺寸大的嵌件要预热。

(3) 模具设计 适当加大浇口截面积;尽量缩短内流道,减小流长比;模具冷却水孔的设置要合理,分布要均匀,冷却效率要高。

(4) 注射机 机筒和喷嘴的温度控制系统应稳定、可靠,精度要高;所用螺杆的塑化能力高、塑化质量均匀、计量准确;能实现注射压力和速度的多级控制;合模机构的刚性、锁模力要大;注射机油温稳定、压力和流量的波动范围小。

(5) 成型工艺 在实际生产中,一旦原料、制品、注射机与模具确定后,只有从工艺因素入手控制塑料制品的收缩率。

1) 注射压力。在注射成型过程中,熔体是在一定的温度和压力作用下充入模具型腔,并一直继续到浇口凝固为止。浇口凝固时的压力称为“封口压力”。封口压力对制品的收缩起决定性作用。一般来说,封口压力大则制品的收缩率减小。

2) 熔体温度。无论是从聚合物的结晶、取向机理,还是从 $P-V-T$ 状态方程上看,制品在保压流动阶段和冷却定型阶段的收缩都随熔体温度的升高而增加。

3) 模具温度。模具温度只对浇口在封闭后的收缩起主导作用,它通过分子的冻结影响型腔表面冻结层的厚度。降低模具温度可使冻结层快速加厚,制品收缩率减小。

4) 充模速率。该参数对收缩量的影响比较复杂。从分子结构形态的角度来看,提高充模速率会加强分子取向作用,同时也加强了结晶作用。取向作用会加大收缩,结晶会减小收缩。由于充模速率的加大,有助于加大熔体在浇口冻封前的充模时间,相对地延长了补料时间,所以充模速率对收缩率总的影响与模腔压力对收缩率的影响是一致的,即充模速率增加使收缩率降低。

例如使 POM 收缩率最小的最佳工艺参数为:熔体温度 190°C , 注射时间 15s, 冷却时间 20s, 模具温度 20°C , 背压 1.2MPa。

7.1.3 熔接痕与熔接强度

1. 熔接痕的形成

熔接痕(也称熔合纹)是指注射成型制品上经常出现的一种线状痕迹,是注射成型过程中两股料流的汇集处。当制品成型时采用多浇口或有孔、嵌件及制品厚度不均匀时,容易形成熔接痕。熔接痕的存在使制品的力学性能变差,对制品冲击强度的影响最为明显。

2. 熔接痕的种类

最常见的熔接痕有两种:一种是在充模开始时形成的,称为早期熔接痕;另一种是在充模终止时形成的,称为晚期熔接痕。如图 7-2 所示为产生两种熔接痕浇口位置

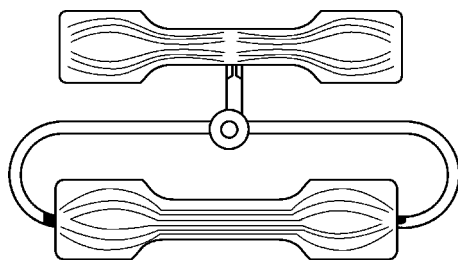


图 7-2 测定熔接痕强度用的哑铃形试样的浇口位置

上一早期熔接痕浇口位置 下一晚期熔接痕浇口位置

的位置。当两个浇口沿轴向配置在哑铃形试样两端时,形成的熔接痕为晚期熔接痕。当两个浇口沿垂直于哑铃轴线的方向并排配置时,导致的熔接痕为早期熔接痕。晚期熔接痕的接缝强度随注射温度的提高而急剧增大,早期熔接痕强度只能决定于熔接痕的存在情况和取向程度,很难用改进工艺条件的方法得以提高。

3. 熔接强度

注射成型制品在受到外力作用时,常在熔接痕处发生破坏,这是由于料流熔接处的力学强度低于其他部位的缘故。力学强度降低的原因是料流在经过一段流程后,其温度有所降低,当两股料流汇合时,相互熔合性变差了;结晶型塑料在熔接处不能形成完全结晶;在两股料流间夹杂了气体或杂质,使接触面积减小,导致熔接强度下降。

4. 控制熔接强度的措施

对于可能产生熔接痕的制品来说,提高熔接强度的措施如下:

(1) 提高熔体温度和模具温度 由于低温熔体的料流汇合性能较差,易形成熔接痕。因此适当提高机筒温度、喷嘴温度及模具温度,有利于提高熔接强度。

(2) 提高注射压力 有利于熔体克服流道阻力,并使熔体在高压下熔合,增加了熔接处的密度,使熔接强度提高。

(3) 提高注射速率 注射速率的提高,将减少熔体汇合前的流动时间,热耗减少,并加强了剪切生热,使熔体温度回升,从而提高了熔接强度。尤其是对剪切敏感的塑料材料,提高注射速率更有利于提高熔接强度。

(4) 进行热处理 注射成型制品经热处理后,有利于释放成型过程中在料流熔接处形成的内应力,使熔接强度提高。

(5) 其他方面 除成型工艺参数外,制品厚度的增加、脱模剂的正确使用、模具的排气良好、原料的充分干燥以及金属嵌件的预热等,都有利于提高熔接强度。

7.1.4 冲击强度

该性能指标与制品使用的关系密切。注射成型制品冲击强度的各向异性明显。在实际生产中,一方面要提高其冲击强度,另一方面要减少冲击强度的各向异性。

控制冲击强度的工艺因素主要有以下四个方面:

(1) 注射速率 注射速率过大或过小都会使冲击强度下降;使用较大的注射速率对提高冲击强度有利。如果注射速率过低,由于剪切速率过低,在流动方向不会产生冻结取向。因此提高某些制品的冲击强度的办法是采用较高的注射速率。如果注射速率过高,则冲击强度反而下降。其原因是由于剪切速率过高,会产生剪切应力结晶,若制品有一边较薄、一边较厚的情况,则较厚的一边由于冷却速率较低,结晶度较高,对冲击强度的影响较大。

(2) 型腔压力 模具型腔压力过大或过小也都会使冲击强度下降。在成型过程中,最佳型腔压力会使冲击强度明显提高。型腔压力的提高使冲击强度提高的原

因主要体现在型腔内的空气被完全排除。

(3) 熔体温度 熔体温度过高会使冲击强度下降, 其原因是物料有分解现象。当然, 熔体温度过低也会使冲击强度下降, 其原因是物料中有塑化不良的现象。熔体温度的高低对制品取向程度也有相当大的影响。较高的熔体温度有利于减小取向度, 即减少了各向异性。

(4) 模具温度 对于结晶型塑料, 模具温度的高低对冲击强度的影响主要体现在结晶度上。当结晶度高, 使球晶尺寸增大时, 会使制品的冲击强度下降。对于非结晶型塑料来说, 主要体现在取向结构、取向程度等方面。

7.1.5 透明性

1. 透明性的表征

透明性又称为透明度, 用“雾度”、“透光率”和“黄色指数”表征。

(1) 雾度 透明或半透明塑料的内部或表面由于光漫射造成的云雾状或浑浊的外观, 它以前向散射的光通量与透过光通量的百分率表示。

(2) 透光率 透过透明或半透明体的光通量与其入射光通量的百分率。具体参阅 GB/T 2410—2008《透明塑料透光率和雾度的测定》。

(3) 黄色指数 在标准光源下以氧化镁标准白板作基准, 从试样对红、绿、蓝三色光的反射率(或透过率)计算所得的表示黄色深浅的一种量度。具体参阅 HG/T 3862—2006 塑料黄色指数试验方法。

2. 塑料透明性的控制因素

控制塑料透明性的因素有以下几方面:

(1) 塑料材料 透明塑料不能共混, 如 PS、PMMA、PC、AS 都是透明塑料, 但不能将它们共混。如果将它们进行共混, 形成 PS-AS、PMMA-AS、PS-PMMA 几种共混物, 那么这几种共混物的透明性都不如单独的某种塑料的透明性好。其原因是每种透明塑料之间的“折射率”各不相同。当然更不能将透明塑料与不透明塑料共混来制得透明塑料。

(2) 注射成型工艺条件 适宜的工艺参数是制造透明塑料制品的必要条件。温度过高, 会使塑料发黄; 温度过低, 使塑料塑化不良, 也会使塑料制品的透明度下降。压力过高或过低都会对透明度带来不良的影响, 主要体现在制品的表面光泽度方面。物料在机筒中的停留时间太长, 物料会变色。如果原料中的水分太大, 也会影响制品的透明度。机筒清理的程度对制品的透明性也有直接影响, 另外, 颜料的选择和浓度、生产环境、透明制品的后期管理等都会影响制品的透明度。

7.1.6 注射成型制品的表面缺陷与处理

1. 欠注

(1) 产生原因 欠注又称充填不足、制品不满或注射不满等, 是指注射制品

成型不完全。产生欠注的主要原因有：塑料材料的流动性太差；成型工艺参数控制不当；模具浇注系统设计不合理、型腔排气不畅；注射机选型不当；制品结构设计不合理等。欠注有两种表现形式，即大面积欠注和微小欠注。大面积欠注使制品残缺，这是人们所重视的；然而微小欠注几乎不影响制品的形状，但影响了制品的性能，这是容易被人们所忽视的。

（2）控制方法

1) 材料方面。加工时要选用流动性好的塑料材料，也可在树脂中添加改善流动性的助剂。此外应适当减少原料中再生料的掺入量。

2) 成型工艺条件方面。

① 适当提高机筒温度。机筒温度升高后有利于克服欠注现象，但对热敏性塑料，提高机筒温度会加速物料分解。

② 保持足够的喷嘴温度。由于喷嘴在注射过程中与温度较低的模具相接触，因此喷嘴温度很容易下降，如果模具结构中无冷料井或冷料井太小，冷料进入型腔后，阻碍了后面热熔体的充模而产生欠注现象，因此喷嘴必须加热或采用后加料的方式。

③ 适当提高模具温度。模具温度低是产生欠注的重要原因，如果欠注发生在开机之初尚属正常，但成型几模后仍不能注满，就要考虑采取降低模具冷却速度或加热模具等措施。

④ 提高注射压力和注射速度。注射压力低则充模长度短，注射速度慢则熔体充模慢，这些都会使熔体未充满模具就冷却，失去流动性。因此提高注射压力和注射速度，都有利于克服欠注现象，但要注意防止由此而产生的其他缺陷。

3) 模具方面。适当加大流道及浇口的尺寸，合理确定浇口数量及位置，加大冷料井及改善模具的排气等都有利于克服欠注现象。

4) 设备方面。选用注射机时，必须使实际注射量（包括制品流道及溢边的总质量）不超过注射机塑化量的85%，否则会产生欠注现象。

5) 检查供料情况。料斗中缺料及加料不足，均会导致欠注。一旦发现欠注，首先要检查料斗，看是否缺料或是否在下料口产生了“架桥”现象。此外，加料口处温度过高，也会引起下料不畅。一般来说，料斗座要通冷却水冷却。

6) 检查预塑量是否到位。

2. 溢边

溢边又称飞边，是充模时，熔体从模具的分型面及其他配合面处溢出，经冷却后形成。尽管制品上出现溢边后，不一定就成为废品，但溢边的存在影响制品的外观和尺寸精度，并增加了去除溢边的工作，严重时会影响制品脱模、损坏模具等，因此必须防止。

（1）产生原因 产生溢边的原因主要有三个，即注射机选用不当、模具有缺陷、成型工艺条件控制不合理。

(2) 控制方法

1) 设备方面。当制品的投影面积与型腔平均压力之积,超过了所用注射机的额定锁模力后,应考虑更换锁模力大的注射机。对液压曲柄合模装置,检查合模后曲柄是否伸直、模板是否平行、拉杆是否变形不均匀等。

2) 模具方面。提高模具分型面、镶嵌面、滑动型芯贴合面及顶杆等处的精度,保证贴合紧密;提高模具刚性,防止模板变形;合理安排流道,避免出现偏向性流动(一边缺料,另一边出现溢边);成型熔体粘度低、流动性好的物料时,必须提高模具的制造精度。

3) 成型工艺条件方面。适当降低机筒、喷嘴及模具温度;适当降低注射压力和注射速度;适当减少加料量。

由于防溢边所采用的成型工艺条件与防欠注正好相反,因此在具体实施时要调节好,即选用既不产生溢边,又不出现欠注的最佳成型工艺条件。如果在工艺条件的控制上两者不能兼得的话,首先应保证不欠注,然后采取其他方法克服溢边。

3. 银纹

银纹是挥发性气体分布在制品表面而形成的,是加工中常见的一种表面缺陷。

(1) 产生原因 银纹有三种类型,即水汽银纹、降解银纹和空气银纹。水汽银纹是因为物料含水量高而形成的,它一般是不规则地分布在整个制品的表面;降解银纹是物料受热分解形成的,降解银纹的密度和数量一般是沿制品的壁厚分布;空气银纹是因为充模速度快,裹入空气而形成的,其分布比较复杂,一般以浇口位置附近居多。

(2) 控制方法

1) 材料方面。物料要充分干燥,尤其是易吸湿的物料,不仅干燥要彻底,而且要防止使用过程中的再吸湿,这样可消除水汽银纹;对于降解银纹的消除,要尽量选用粒径均匀的树脂,以防塑化时受热不均,并要筛除原料中的粉屑,减少再生料的用量。

2) 成型工艺条件方面。对于降解银纹,要适当降低机筒及喷嘴的温度,缩短物料在机筒中的停留时间,以防物料受热分解。另外,降低注射压力和注射速度,也可防止物料因剪切剧烈而分解。对于水汽银纹,可采用适当增加预塑时的背压和使用排气式注射机等方法消除。对于由于空气而产生的银纹,可通过增加预塑背压、降低注射速度、加强模具排气及合理设计浇口等措施消除。

此外,液体助剂的存在及脱模剂的使用不当等也会产生银纹,具体操作时应注意。

4. 缩痕与凹陷

(1) 缩痕与凹陷形成 缩痕是凹陷的轻度表现形式,凹陷是缩痕的发展。这是一种极普遍的表面缺陷,对于注射制品来说是不可避免的。它通常发生在厚壁、凸台及内嵌件上。形成的原因如下:当浇口中的塑料熔体凝固时,型腔中较厚部位

中心层的熔体还没有凝固；当这部分熔体继续冷却时，外界已没有料进行补充，然而内部料还要冷却收缩，此时只有将表层已经凝固的料层往里层拉，其结果就形成了缩痕与凹陷（如图 7-3 所示），同时产生了内应力，这是任何注射制品都无法避免的。实际生产中的目标就是如何将缩痕与凹陷减轻到最低限度，满足质量和使用的要求。

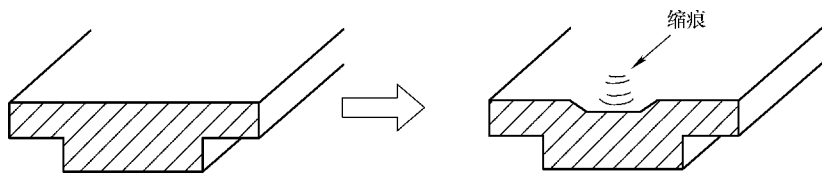


图 7-3 形成缩痕与凹陷的部位

(2) 缩痕与凹陷太大的原因 原料的收缩率太大、注射成型工艺参数控制不当、制品的壁厚或壁厚不均匀、模具设计不合理等都会产生缩痕与凹陷。

(3) 控制方法

1) 材料方面。尽量选用收缩性小的原料；加强原料的干燥；在原料中加入适量的润滑剂，改善熔体流动性；减少再生料的用量；选用含有增强填料的原料。

2) 成型工艺条件方面。提高注射压力和注射速度，延长保压时间，适当增加供料量，降低模具温度及加强模具冷却等，都可减轻制品的凹陷。当嵌件周围出现凹陷时，应设法提高嵌件温度。

3) 模具方面。增加浇口和流道尺寸，以减小熔体流动阻力，使充模顺利；改善模具排气条件；浇口应设置在壁厚部位；流道中要开设足够容量的冷料井，以免冷料进入型腔而影响充模；合理布置冷却水道，特别是制品壁厚较大的部位，要加强冷却。

4) 设备方面。提高注射机的塑化能力，保证成型工艺条件的稳定。此外，采用气辅注射也可消除凹陷。

5) 制品设计方面。尽量减小壁厚，避免壁厚不均匀；制品形状要简单、对称；必要时可在制品表面增加一些装饰花纹，以掩盖出现的凹陷。

6) 修模。当对制品表面平整度有较高要求时，将可能凹陷的型腔表面向里凹一些，如图 7-4 所示。图 7-4a 的型腔上部是平面的，注射成型的制品就出现了凹陷，若将型腔的上部做成如图 7-4b 所示的形状，则可避免凹陷。至于 W 和 δ 的数值，要在实践中反复修模和反复试模才能确定。

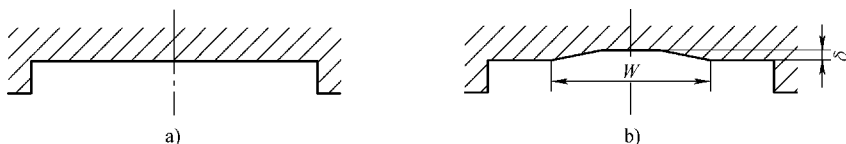


图 7-4 避免凹陷的型腔形状

注意两点：其一， δ 的数值开始要取得小些，不能一下太大，否则就可能造成该型腔的报废；其二，型腔中凹进去的部件在长度方向上也要在中间的位置。

5. 尺寸不稳定

(1) 产生原因 成型时原料的变动或原材料及助剂选用不当，成型工艺参数的波动或设置得不合理，模具产生故障或模具冷却不均匀，注射机工作不正常，测试方法或条件不一致，制品脱模时受力不匀等都会使尺寸不稳定。

(2) 控制方法

1) 材料方面。换料要谨慎。同种树脂及助剂，由于产地和批号不同，其收缩率也不同，换料时要进行检测，发现问题及时解决。选用原料时要做到：树脂颗粒应大小均匀，原料要充分干燥，严格控制再生料的加入量。

2) 成型工艺条件方面。成型工艺条件要严格控制，不能随意变动。如果成型后制品的尺寸大于所要求的尺寸，应采取的措施为：适当降低熔体温度和注射压力、减少注射和保压时间、提高模具温度、缩短冷却时间，以提高制品收缩率，使制品尺寸变小；如果制品尺寸小于规定值，则采取与上述相反的成型工艺条件。

3) 模具方面。在设计模具时，要保证浇口、流道设置的合理性，对尺寸要求较高的制品，型腔数目不宜过多，以1~2个为宜，最多不超过4个。在模具制造过程中，要选用刚性好的材料，并保证模具型腔及各组合件的精度。如果成型的塑料易分解且分解气体具有腐蚀性时，模具型腔所用材料必须要耐腐蚀；如果成型的塑料组分中有无机填料或采用玻璃纤维增强时，模具型腔必须使用耐磨材料。

4) 设备方面。检查注射机可能出现的问题，如注射机的塑化量、加料系统、加热系统、液压系统、温控系统及线路电压等是否正常、稳定，一旦发现异常，必须及时排除。

5) 尺寸的测量。注射制品的尺寸，必须按标准规定的方法和条件进行测量。

6) 环境。消除应力集中现象，避免应力开裂的环境，必要时可进行热处理。

7) 模外固定冷却。将刚出模的制品套在预制好的木模中进行冷却，再从木模上脱下。

6. 开裂或龟裂

(1) 产生原因 注射成型工艺控制不当造成的制品中内应力太大、制品脱模不良、溶剂的作用等都会产生开裂。

(2) 控制方法

1) 成型工艺条件方面。采取有利于消除内应力的成型工艺条件，如适当提高机筒温度和模具温度，降低注射压力，缩短保压时间等，可减少或消除开裂或龟裂。

2) 模具方面。制品在脱模时，由于脱模力过大或脱模力不均衡而产生开裂或龟裂。因此必须改善脱模条件，具体措施为：降低模具型腔的表面粗糙度；适当增加脱模斜度；顶杆应布置在脱模阻力最大的部位以及能承受较大顶出力的部位；尽

量使顶出力平衡；合理使用脱模剂。

3) 注意制品的使用环境。由于制品中残存较大的内应力，当它们在存放和使用过程中接触某些介质（如溶剂等）之后，也易产生开裂或龟裂。

4) 进行热处理。龟裂与开裂有本质区别。龟裂不是空隙状的缺陷，而是高分子沿应力作用方向的平行排列，经热处理后可以消除。热处理方法为：把制品置于热变形温度附近（低于热变形温度 5℃ 左右）处理 1h，然后缓慢冷至室温。

7.2 注射制品的质量检验

7.2.1 外观检验

制品的外观是指制品的造型、色调、光泽及表面质量等凭人的视觉感觉到的质量特性。制品的大小和用途不同，外观检验标准也不相同，但检验时的光源和亮度要统一规定。外观质量的判断标准由制品的部位而定，可见部分（制品的表面与装配后外露面）与不可见部分（制品里面与零件装配后的非外露面）有明显的区别。塑料制品的外观质量不用数据表示，通常用实物表示允许限度或做标样。标样（限度标准）最好每种缺陷配一个样。

外观检验的主要内容如下：

(1) 熔接痕 熔接痕的明显程度是由深度、长度、数量和位置决定的，其中深度对熔接痕明显程度的影响最大。可用限度一般均参照样品，根据综合印象判断。深度一般以指甲划，感觉不出为合格。

(2) 凹陷 将制品倾斜一个角度，能清楚地看出凹陷缺陷，但通常不用苛刻的检验方法，而是通过垂直目测，判断凹陷的严重程度。

(3) 料流痕 制品的正面和最高突出部位上的料流痕在外观上不允许存在，其他部位的料流痕明显程度根据样品判断。

(4) 银丝（气痕） 白色制品上的少量银丝不明显，颜色越深，银丝越明显。白色制品上的银丝尽管不影响外观，但银丝是喷漆和烫印中涂层剥落的因素。因此需喷漆和烫印的制品上不允许有银丝存在。

(5) 白化 白化是制品上的某些部位受到过大外力的结果（如顶出位置），白化不仅影响外观，而且也降低了强度。

(6) 裂纹 裂纹是外观缺陷，更是强度上的弱点，因此制品上不允许有裂纹存在。裂纹常发生在浇口周围、尖角与锐边部位，对以上部位应重点检查。

(7) 杂质 透明制品或浅色制品中，各个面的杂质大小和数量需明确规定。如侧面允许有 5 个直径 0.5mm 以下的杂质点，每两点之间的距离不得小于 50mm 等。

(8) 色彩 按色板或样品检验，不允许有明显色差和色泽不匀现象。

(9) 光泽 光泽度按反射率或粗糙度样板对各个面分别检验。以机壳塑件为例, 制品外观要求较高, 为此, 正面和最高突出部位的光泽度应严格检查。具体参阅 GB/T 8807—1988 《塑料镜面光泽试验方法》。

(10) 透明度(折射率) 透明制品最忌混浊。透明度一般通过测定光线的透过率, 按标样检验。具体参阅 GB/T 2410—2008 《透明塑料透光率和雾度的测定》。

(11) 划伤 制品出模后, 在工序周转、二次加工及存放中相互碰撞划伤, 有台阶和棱角的制品特别易碰伤。正面和突出部位的划伤判为不合格品, 其他部位按协议规定。

(12) 浇口加工痕迹 用尺测量的方法检验浇口加工痕迹。

(13) 溢边(飞边) 制品上不允许存在溢边, 产生溢边的制品要用刀修净, 溢边加工痕迹对照样品检验。不允许有溢边加工痕迹的面上一旦出现溢边, 应立即停产检查原因。

(14) 文字和符号 文字和符号应清晰, 如果擦毛或缺损、模糊不清, 则不但影响外观, 而且缺少重要的指示功能, 影响使用。

7.2.2 尺寸检验

制品尺寸检验的主要内容如下:

(1) 尺寸检验方法 测量尺寸的制品必须是在批量生产中的注射机上加工, 用批量生产的原料制造, 因为上述两项因素变动后, 尺寸也会跟着变化。

测量尺寸的环境温度需预先规定, 制品在测量尺寸前先按规定进行试样状态调节。精密制品应在恒温室内 (23 ± 2) °C 下测量。

检验普通制品的尺寸, 取一个稳定工艺参数下成型的制品, 对照图样测量。

精密制品的尺寸检验是在稳定工艺条件下连续成型 100 件, 测量其尺寸并画出统计图, 确认在标准偏差的 3 倍标准内, 中间值应在标准的 1/3 范围内。

测量制品尺寸的量具常用钢直尺、游标卡尺、千分尺、百分表等。必须注意的是测量金属用的百分表等, 测量时的接触压力高, 塑料易变形, 最好使用测量塑料专用的量具。量具和测量仪表要定期鉴定, 贴合格标签。

测量塑料制品时要做好记录, 根据图样或技术协议判断合格与否。

工厂内对于精度要求不高的制品尺寸, 多用自制测量工具, 如卡板等, 但要保证尺寸精度。

(2) 自攻螺纹孔的测量 自攻螺纹孔必须严格控制, 太小, 自攻螺钉拧入时凸台开裂; 太大, 则螺钉掉出, 常用量规检验(过端通过, 止端通不过)。自攻螺纹孔直径的公差一般为 $0.05 \sim 0.1 \text{ mm}$ 。用量规检验时要注意用力大小, 不能硬塞。

(3) 配合尺寸的检验 两个以上零件需互相配合使用时, 同零件间要有互换性。配合程度以两个零件配合后不变形, 轻敲侧面不松动落下为好。

(4) 翘曲零件的测量 把制品放在平板上用塞尺测量, 小制品用游标卡尺

(不要加压)测量。

(5) 工具显微镜检验尺寸 这是不接触制品的光学测量,属于精密测量方法,制品在测量中不变形。缺点是需要一定的温度环境中测量,设备价格昂贵,是精密制品测量中不可缺少的方法。

7.2.3 强度检验

(1) 冲击强度 塑料制品在冬季容易开裂的原因是温度低,大分子活动空间减少、活动能力减弱,因此塑料冲击强度变小。从实用角度出发,用落球冲击试验为好。该法是将试样水平放置在试验支架上,使 1kg 重的钢球自由落下冲击试样,观察是否造成损伤,求 50% 的破坏能量,并由落下的高度表示强度。凸台、熔接痕周围、浇口周围等都是冲击强度弱的部位。

(2) 跌落试验 检验装配后的塑料制品强度或检验制品在运输过程中是否会被振裂,可进行跌落试验。

(3) 弯曲试验 测定制品刚性的实用试验方法,用挠度表示,具体参阅 GB/T 9341—2008《塑料 弯曲性能的测定》。

测试浇口部位的强度时,对浇口部位加载荷,直至发生裂纹的载荷为浇口强度。

(4) 自攻螺钉凸台强度 用装有扭矩仪的螺钉旋具把自攻螺钉拧入凸台,直至打滑时测出的扭矩即为自攻螺钉凸台强度。如打滑时凸台上出现裂纹,则该制品判为不合格。自攻螺钉的强度与刚性有关,且随温度而变化,温度升高,强度下降。

(5) 蠕变与疲劳强度 在常温下塑料也会疲劳和蠕变,制品疲劳的界限不明显,必须预先做蠕变试验认定。蠕变试验使用蠕变试验仪,具体参阅 GB/T 11546.1-2008《塑料 蠕变性能的测定 第1部分:拉伸蠕变》。

(6) 冷热循环 作为制品综合强度试验,冷热循环试验十分有效,试样可以是单件制品,也可以是组装后的塑料制品。冷热循环试验中制品发生周期性伸缩,产生应力破坏。

冷热循环试验用两台恒温槽,一台为 65℃,另一台为 -20℃。先把试样放入 -20℃ 槽内 1h,然后立即移入 65℃ 槽 1h,以此作为 1 个循环,一般进行 3 个循环试验。大部分制品在第 3 个循环中受到破坏,有条件的最好多做几个循环(如 10 次循环)。

7.2.4 老化试验

(1) 气候老化 塑料的老化是指塑料在加工、储存和使用过程中,由于自身的因素,加上外界光、热、氧、水、机械应力以及微生物等的作用,引起化学结构的变化和破坏,逐渐失去原有的优良性能。

塑料发生老化大致有四种原因：光和紫外线、热、臭氧和空气中的其他成分、微生物，老化的机理是从氧化开始。

制品使用环境（室内或室外）对耐气候要求是完全不同的。室内使用的制品处于阳光直射的位置也应考虑耐气候性要求。

制作灯具之类的光源塑料制品，尽管是室内使用，也要符合耐气候性中的耐光性要求。具体参阅 GB/T 16422.2—1999《塑料实验室光源暴露试验方法 第2部分：氙弧灯》。

（2）环境应力开裂 环境应力开裂是指塑料试样或部件由于受到应力和与之相接触的环境介质的作用，发生开裂而破坏的现象。发生环境应力开裂现象需要几个条件，首先是“应力集中”或“缺口”，同时还需要弯曲应力或外部应力；其次是外部活化剂，即环境介质，如溶剂、油和药物等。应力开裂情况根据塑料种类、内应力程度及使用环境不同而显著不同。在常用的塑料中，PE 是易发生环境应力开裂的塑料。

应力开裂试验方法有 1/4 椭圆夹具法、弯曲夹具法、蠕变试验机法和重锤拉伸法等，其中较简单的方法是弯曲夹具法和重锤拉伸法。

弯曲夹具法是固定试样的两端，用螺钉顶试样的中心部位，加上弯曲强度试验 30% 左右的负载为应力，当变形稳定、应力逐渐缓和时，在制品上涂以溶剂、油或药物等观察一周以上，内应力大的制品大体上一周时间发生应力开裂。

重锤拉伸法是将重锤吊在塑料试样上，与简单的蠕变试验方法相同，初载为拉伸强度 30% 左右的应力，试验中负载恒定。

具体参阅 GB/T 1842—2008《塑料 聚乙烯环境应力开裂试验方法》。

附 录

附录 1 部分国产注射机的技术参数

项目/型号			LS-80			LS-110			LS-150			LS-200			LS-260		
			A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
注射装置	螺杆直径	mm	34	36	38	36	38	42	42	45	48	45	50	55	52	57	62
	理论注射容积	cm ³	122	137	152	183	204	249	270	310	353	333	412	498	509	612	724
	注射质量	g	113	128	142	170	190	230	246	283	322	305	371	455	458	551	651
	注射速率	cm ³ /s	64	72	80	83	92	113	115	132	150	120	145	178	170	205	240
	塑化能力	g/s	12	14	16	16	18	21	19	22	25	21	26	30	26	31	35
	注射压力	MPa	180	160	144	170	154	145	203	117	156	220	178	147	198	166	140
锁模部分	锁模力	kN	800			1100			1500			2000			2600		
	移模行程	mm	280			300			360			430			510		
	拉杆内行程	mm	340×340			355×350			420×420			460×460			570×570		
	最大模厚	mm	340			400			485			525			675		
	最小模厚	mm	100			110			150			180			200		
	顶出行程	mm	60			60			115			130			130		
	顶出力	kN	20.2			20.2			45.2			70			70		
油泵最高压力		MPa	16			16			16			16			16		
其他	电机功率	kW	7.5			11			15			18.5			22		
	电热功率	kW	6.85			6.85			7			11			14.26		
	总功率	kW	14.35			17.85			22			29.5			36.26		
	油箱容积	L	122			140			230			260			380		
	机器质量	t	3			3.5			4.1			6.2			9		
	外形尺寸	m	3.5×1.3×1.5			3.8×1.3×1.5			4.5×1.3×1.6			5.0×1.5×1.8			5.6×1.5×2.0		

(续)

项目/型号			LS-80U			LS-110U			LS-150U			LS-200U			LS-260U			LS-310U		
			A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
注射装置	螺杆直径	mm	34	38	42	38	42	45	42	45	48	45	50	55	55	60	65	60	65	70
	理论注射容积	cm ³	136	170	208	204	249	286	270	310	353	330	410	495	570	678	796	749	879	1020
	注射质量	g	150	187	228	224	274	314	297	341	388	365	450	545	627	745	875	823	966	1122
	注射速率	cm ³ /s	71	88	108	92	113	130	157	180	205	120	145	178	190	227	265	260	305	354
	塑化能力	g/s	16	20	23	19	25	28	26	30	34	25	30	35	28	33	38	36	42	48
	注射压力	MPa	180	154	144	154	145	132	203	117	156	220	178	147	176	149.8	127	212	181	156
锁模部分	锁模力	kN	800			1100			1500			2000			2600			3100		
	移模行程	mm	280			300			360			430			510			600		
	拉杆内行程	mm	340×340			355×350			420×420			460×460			570×570			620×620		
	最大模厚	mm	245			276			340			386			536			586		
	最小模厚	mm	50			50			90			116			136			136		
	顶出行程	mm	60			60			115			130			130			130		
	顶出力	kN	20.2			20.2			45.2			70			70			70		
油泵最高压力		MPa	16			16			16			16			16			16		
其他	电机功率	kW	7.5			11			15			18.5			22			30		
	电热功率	kW	4			4			4.4			5			6.5			7		
	总功率	kW	11.5			15			19.4			23.5			28.5			37		
	油箱容积	L	122			140			230			260			380			430		
	机器质量	t	3			3.5			4.1			6			9			11		
	外形尺寸	m	3.4×1.3×1.5			3.8×1.3×1.5			4.5×1.3×1.6			5.0×1.5×1.8			5.6×1.5×2.0			6.0×1.5×2.1		

附录 2 塑料原料名称中英文对照表

塑料类别	中 文 学 名	俗 称	英 文 学 名	英文简称	主要用途
聚乙烯类	低密度聚乙烯	高压聚乙烯	Low Density Polyethylene	LDPE	包装胶袋，胶花，胶瓶，电线，包装物等
	高密度聚乙烯	低压聚乙烯	High Density Polyethylene	HDPE	包装，建材，水桶，玩具等
改性聚乙烯类	乙烯-醋酸乙烯酯	橡胶胶	Ethylene-Vinyl Acetate	EVA	鞋底，薄膜，板片，通管，日用品等
	氯化聚乙烯		Chlorinated Polyethylene	CPE	建材，管材，电缆绝缘层，重包装材料

(续)					
塑料类别	中文学名	俗称	英文学名	英文简称	主要用途
聚丙烯类	聚丙烯	百折胶	Polypropylene	PP	包装袋, 拉丝, 包装物, 日用品, 玩具等
	氯化聚丙烯		Chlorinated Polypropylene	PPC	日用品, 电器等
聚苯乙烯类	通用聚苯乙烯	硬胶或透苯	General Purpose Polystyrene	PS	灯罩、仪器壳罩、玩具等
	高冲击聚苯乙烯	不脆胶或改苯	High Impact Polystyrene	HIPS	日用品、电器零件、玩具等
改性聚苯乙烯类	丙烯腈-丁二烯-苯乙烯	超不碎胶	Acrylonitrile Butadiene Styrene	ABS	电器用品外壳, 日用品, 高级玩具, 运动用品
	丙烯腈-苯乙烯	AS料 (SAN料)	Acrylonitrile Styrene	AS (SAN)	日用透明器皿, 透明家庭电器用品等
	丁二烯-苯乙烯	BS (BDS) K料	Butadiene Styrene	BS (BDS)	特种包装, 食品容器, 笔杆等
	丙烯酸-苯乙烯-丙烯腈	ASA料	Acrylonitrile Styrene acrylate copolymer	ASA	适于制作一般建筑领域、户外家具、汽车外侧视镜壳体
聚酰胺类	聚酰胺6	尼龙6	Polyamide-6	PA6	轴承, 齿轮, 油管, 容器, 日用品
	聚酰胺66	尼龙66	Polyamide-66	PA66	机械, 汽车, 化工, 电器装置等
	聚酰胺9	尼龙9	Polyamide-9	PA9	机械零件, 泵, 电缆护套
	聚酰胺1010	尼龙1010	Polyamide-1010	PA1010	绳缆, 管材, 齿轮, 机械零件
丙烯酸酯类	聚甲基丙烯酸甲酯	亚加力或有机玻璃	Polymethyl Methacrylate	PMMA	透明装饰材料, 灯罩, 挡风玻璃, 仪器表壳
丙烯酸酯共聚物	甲基丙烯酸甲酯-苯乙烯	改性有机玻璃 372#, 373#	Polymethyl Methacrylate-Styrene	PMS	高抗冲要求的透明制品
	甲基丙烯酸甲酯-乙二烯		Methyl Methacrylate-Butadiene	MMB	机器架壳, 框及日用品等
聚碳酸酯类	聚碳酸酯	防弹玻璃或不碎玻璃	Polycarbonate	PC	高抗冲的透明件, 作高强度及耐冲击的零部件
聚甲醛	聚甲醛	赛钢	Polyoxymethylene (Polyformaldehyde)	POM	耐磨性好, 可以作机械的齿轮, 轴承等

(续)					
塑料类别	中 文 学 名	俗 称	英 文 学 名	英文简称	主要用途
纤维素类	硝化纤维塑料	赛璐珞	Cellulose Nitrate	CN	眼镜架, 玩具等
	醋酸纤维素	醋片	Cellulose Acetate	CA	家用器具, 工具手柄, 容器等
	乙基纤维素		Ethyl Cellulose	EC	工具手柄, 体育用品等
饱和聚酯	聚对苯二甲酸乙二醇酯	涤纶树脂 (的确良)	Poly (Ethylene Terephthalate)	PET	轴承, 链条, 齿轮, 录音带等
	聚对苯二甲酸丁二醇酯		Poly (Butylene Terephthalate)	PBT	机械和运输用零件
聚氯乙烯类	聚氯乙烯	PVC	Poly (Vinyl Chloride)	PVC	制造棒, 管, 板材, 输油管, 电线绝缘层, 密封件等
氟塑料类 PVF	聚四氟乙烯	塑料王	Polytetrafluoro ethylene	PTFE	高频电子仪器, 雷达绝缘部件
	聚全氟代乙丙烯	F46	Fluorinated ethylene propylene	FEP, F46	高频电子仪器, 雷达绝缘部件
	聚三氟氯乙烯	F3	Polychlorotrifluorethylene	PCTFE	透明视镜, 阀管件等
	可溶性聚四氟乙烯	铁氟龙	Polytetrafluoro ethylene	Teflon, PFA	化工配件、机械零件、电线保护膜, 可塑性成型
	四氟乙烯-乙炔共聚	F40 或聚氟乙烯	Ethylene tetrafluoroethylene	ETFE	化工配件、机械零件、电线保护膜
	聚偏氟乙烯		Polyvinylidene fluoride	PVDF	化工配件、机械零件、电线保护膜, 电缆电容器薄膜、长寿命耐候性建筑涂料可塑性成型
	聚氟乙烯		polyvinyl fluoride	PVF	主要制作薄膜和涂料, 用于建筑、交通和包装等
聚砒类	聚砒		Polysulfone	PSU (PSF)	电器零件, 结构件, 飞机及汽车零件等
	聚醚砒		Polyethersulfone	PES	电器零件, 结构件, 飞机及汽车零件等
	聚芳砒		Polyarylsulfone	PAS	可用作 C 级绝缘材料制造电子电器零件, 代替金属、陶瓷等材料制造机械零件

(续)					
塑料类别	中文学名	俗 称	英文学名	英文简称	主要用途
氯化聚醚类	氯化聚醚		Chlorinated Polyethers	PENTON (CPT)	代替不锈钢, 氯塑料等材料
聚苯醚	聚苯醚		Poly (phenylene oxide)	PPO, MPPO	较高温度下工作的齿轮, 轴承, 化工设备及零部件
聚苯硫醚	聚苯硫醚		Poly (phenylene sulfone)	PPS	耐热性优良, 电器零件, 汽车零件, 化学设备
聚醚酮	聚醚醚酮		poly (ether-ether-ketone)	PEEK	耐化学品、电线被覆、高温接线柱、凸轮
聚亚胺	结晶型聚酰亚胺		Polyimides	PAI	耐高温、自润滑、耐磨的太空、电子、飞机零件, 汽车零件
	非结晶型聚酰亚胺		Polyimides	PEI	耐高温、自润滑、耐磨的太空、电子、飞机零件, 汽车零件
	热固性双马来酰亚胺		Polyimides	BMI	耐高温、自润滑、耐磨的太空、电子、飞机零件, 汽车零件
液晶聚合物	自增强聚合物		Self-reinforced polymer	LCP	微波炉灶容器, 电子电器和汽车机械零件
聚甲基戊烯-1	聚甲基戊烯-1	TPX	Polymethylpentene	PMP	
酚醛塑料	苯酚-甲醛树脂	电木粉	Phenol-Formaldehyde	PF	无声齿轮, 轴承, 钢盔, 电机, 通信器材配件等
氨基塑料	脲甲醛树脂	电 玉 尿素	Urea-Formaldehyde	UF	生活用品, 电机壳, 木材粘结剂等
	三聚氰胺甲醛树脂	科学瓷, 美腊密	Melamine-Formaldehyde Resin	MF	食品, 日用品, 开关零件等
	苯胺-甲醛树脂		Aniline—Formaldehyde Resin	AF	
环氧树脂	环氧树脂	万能胶	Epoxide Resin	EP	汽车拖拉机零件, 船身涂料
聚氨酯	聚氨酯树脂		Polyurethane Resin	PU	鞋底, 椅垫床垫, 人造皮革, 油漆

(续)

塑料类别	中 文 学 名	俗 称	英 文 学 名	英文简称	主 要 用 途
硅树脂	硅氧烷		Silicone	SI	橡胶制品, 脱模剂, 乳液弹性体, 清漆涂料等
不饱和 聚酯	醇酸树脂		Alkyd Resin	AK	涂料, 玻璃钢, 装饰件, 地板, 纽扣等
	烯丙基树脂		Allyl Resin	DAP	

附录 3 常用单位、名称及换算值

名称及符号	许 用 单 位	非许用单位
长度 l, L	米 (m) 海里 (n mile) = 1852m	1 埃 (Å) = 10^{-10} m 1 μ = 10^{-6} m 1 英寸 (in) = 0.0254m 1 码 (yd) = 0.9144m
面积 A (S)	平方米 (m ²) 公顷 (hm ²) = 10^4 m ²	1 平方英寸 (in ²) = 6.4516×10^{-4} m ² 1 亩 = 666.6m ²
体积 V	立方米 (m ³) 升 (L, l) = 10^{-3} m ³	立方英寸 (in ³) = 1.63871×10^{-5} m ³ 英加仑 (UKgal) = 4.54609L
时间 t	秒 (s) 分 (min) = 60s 时 (h)	
速度 v	米每秒 (m/s) 节 (kn) = 0.514444m/s	英尺每秒 (ft/s) = 0.3048m/s
转速 n	转每分 (r/min)	
质量 m	千克 (公斤) (kg) 吨 (t) = 10^3 kg	磅 (lb) = 0.453592kg 盎司 (oz) = 28.3495g
密度 ρ	千克每立方米 (kg/m ³) 千克每升 (kg/L)	磅每立方英尺 (lb/ft ³) = 16.0185kg/m ³
压力 p	帕 [斯卡] (Pa) = 1N/m ²	毫米汞柱 (mmHg) = 133.322Pa 标准大气压 (atm) = 1.01325×10^5 Pa
功率 P	瓦 [特] (W) = 1J/s	1kW = 1.34hp, 1hp = 745.700W
热力学温度 T 摄氏温度 t	摄氏度 (°C) $t = T - T_0$ 式中 $T_0 = 273.15$ K K - 开 [尔文]	$1^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \div 1.8$, $1^{\circ}\text{F} = ^{\circ}\text{C} \times 1.8 + 32$

附录 4 筛孔尺寸与对应的标准目数

筛孔尺寸/mm	标准目数/目	筛孔尺寸/mm	标准目数/目
4. 75	4	0. 355	45
4. 00	5	0. 300	50
3. 35	6	0. 250	60
2. 80	7	0. 212	70
2. 36	8	0. 180	80
2. 00	10	0. 150	100
1. 70	12	0. 125	120
1. 40	14	0. 106	140
1. 18	16	0. 090	170
1. 00	18	0. 0750	200
0. 850	20	0. 0630	230
0. 710	25	0. 0530	270
0. 600	30	0. 0450	325
0. 500	35	0. 0374	400
0. 425	40		

参考文献

- [1] 王兴天. 注塑成型技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1989.
- [2] 马之庚, 陈开来. 工程塑料手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [3] 戴伟民. 塑料注射成型 [M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [4] 张增红, 熊小平. 塑料注射成型 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [5] 王加龙. 热塑性塑料注塑生产技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [6] 李祖德. 塑料加工技术应用手册 [M]. 北京: 中国物资出版社, 1997.
- [7] 齐贵亮. 注射成型新技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2011.
- [8] 周达飞, 唐颂超. 高分子材料成型加工 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2000.
- [9] 周殿明. 注射成型中的故障与排除 [M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2007.
- [10] 桑永. 塑料材料与配方 [M]. 2 版. 北京: 化学工业出版社, 2009.
- [11] 周殿明. 塑料成型与设备维修 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [12] 刘廷华. 塑料成型机械使用维修手册 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- [13] 陈锋. BMC 模塑料及其成型技术 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2003.
- [14] 骆志高, 陈嘉真. 塑料成型工艺及模具设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [15] 申开智. 塑料模具设计与制造 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [16] 曹丽平, 赵祝和. 塑料模具设计步骤与实例精解 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2010.
- [17] 张广成. 塑料成型加工技术讲座 (2): 常用塑料品种简介 [J]. 电子工艺技术, 1994 (2): 36-40.
- [18] 张广成. 塑料成型加工技术讲座 (3): 成型物料的配制 [J]. 电子工艺技术, 1994 (3): 37-42.
- [19] 申长雨, 陈静波, 刘春太, 等. 塑料成型加工讲座 (第二讲): 塑料添加剂及成型物料配制 [J]. 工程塑料应用, 1999, 27 (4): 25-28.
- [20] 李彩虹. 塑料成型加工技术与装备的研究现状及发展 [J]. 南京工业职业技术学院学报, 2005, 5 (2): 85-87.
- [21] 吴刚. 高分子材料成型加工技术的进展 [J]. 广东化工, 2008, 35 (9): 3-7.
- [22] 邢文. 注射成型技术进展 [J]. 现代塑料加工应用, 2002, 14 (4): 33-37.
- [23] 苗迎春. 透明聚丙烯的注射成型技术 [J]. 塑料科技, 2000 (1): 15-16.
- [24] 齐杰. 硬质聚氯乙烯的注塑工艺 [J]. 现代塑料加工应用, 2001, 13 (5): 28-29.
- [25] 魏妍丽, 冯永军, 杨树新. 硬质聚氯乙烯注射模塑工艺研究 [J]. 广东塑料, 2005 (4): 33-34.
- [26] 陈瑞燕. 聚苯乙烯塑料注塑工艺探讨 [J]. 广东化工, 2008, 35 (4): 50-52.
- [27] 田学军. PMMA 注射成型工艺及优化 [J]. 工程塑料应用, 2005, 33 (8): 22-24.
- [28] 郭国谊. PMMA 成型工艺分析 [J]. 模具工业, 2006, 32 (7): 64-68.
- [29] 于庆来. 注射 PMMA 成型中的温度控制 [J]. 汽车运输, 1999, 25 (5): 30-31.
- [30] 王秀英 段凯旋. “ABS” 塑料的注塑工艺 [J]. 科普田园, 1991 (2): 26-28.
- [31] 袁喜昌. ABS 塑料注塑工艺分析 [J]. 机械工人 (冷加工), 2005 (2): 42.

- [32] 赵丹阳, 宋满仓, 王敏杰. 透明 ABS 制品的注射成型技术研究 [J]. 模具工业, 2002 (9): 32-34.
- [33] 常洁君, 邹承沂. 阻燃性 ABS 塑料的注塑成型 [J]. 合成树脂及塑料, 1990 (2): 31-32.
- [34] 吴利英. 聚碳酸酯的注射成型工艺 [J]. 工程塑料应用, 2003, 31 (10): 22-24.
- [35] 高风吉. 聚砜 (PSF) 注射成型工艺 [J]. 工程塑料应用, 1989 (1): 24-26.
- [36] 张甲敏, 连照勋. 聚砜注塑工艺及制品缺陷对策 [J]. 工程塑料应用, 2010, 38 (2): 26-28.
- [37] 李惠元. 影响聚砜制品表面质量的原因分析和预防措施 [J]. 工程塑料应用, 2004, 32 (2): 22-26.
- [38] 吴晓风. 聚苯硫醚工程塑料的成型 [J]. 机床电器, 1995 (2): 15-17.
- [39] 袁华. 聚苯硫醚的特性分析及其注塑成形研究 [J]. 新技术新工艺, 2005 (9): 33-34.
- [40] 王明福, 陈建光. 聚苯硫醚的成型加工技术 [J]. 工程塑料应用, 2002, 30 (8): 20-22.
- [41] 陶国源. 聚醚醚酮的成型加工 (上) [J]. 广东塑料, 2006 (1-2): 29-32.
- [42] 陶国源. 聚醚醚酮的成型加工 (下) [J]. 广东塑料, 2006 (3): 30-33.
- [43] 王凯, 詹茂盛, 高生强. 可熔体加工热塑性聚醚亚胺研究进展 [J]. 宇航材料工艺, 2004 (3): 5-11.
- [44] 张露, 张雯, 张凯. 热塑性聚醚亚胺 [J]. 绝缘材料, 2001, 34 (3): 25-28.
- [45] 胡海青. 热固性塑料注塑成型综论 [J]. 塑料科技, 2001 (3): 41-46.
- [46] 胡海青. 热固性塑料注射成型 (一) 基本热固性塑料注射成型 [J]. 热固性树脂, 2001, 16 (1): 48-53.
- [47] 胡海青. 热固性塑料注射成型 (二) 无流道热固性塑料注射成型 [J]. 热固性树脂, 2001, 16 (2): 50-52.
- [48] 胡海青. 热固性塑料注射成型 (三) 热固性塑料无流道注压成型 [J]. 热固性树脂, 2001, 16 (3): 49-51.
- [49] 胡海青. 热固性塑料注射成型 (四) 反应注射成型 (RIM) 与增强反应注射成型 (RRIM) [J]. 热固性树脂, 2001, 16 (4): 45-48.
- [50] 胡海青. 热固性塑料注射成型 (五) 液体注射成型 (LIM) [J]. 热固性树脂, 2001, 16 (5): 47-49.
- [51] 胡海青. 热固性塑料注射成型 (六) 模塑料注射成型 [J]. 热固性树脂, 2001, 16 (6): 46-48.
- [52] 邹继强. 热固性塑料成型模具的设计与制造 [J]. 模具工程, 2005 (4): 40-42.
- [53] 邹继强. 热固性塑料成型模具的设计与制造 (二) [J]. 模具工程, 2005 (5): 51-52.
- [54] 邹继强. 热固性塑料成型模具的设计与制造 (三) [J]. 模具工程, 2005 (6): 25.
- [55] 肖秀芝. 浅述 BMC 注射成型技术 [J]. 塑料加工, 2003, 38 (5): 15-18.
- [56] 万传伟. 热塑性弹性体注塑特性研究 [J]. 中国材料科技与设备, 2008 (3): 84-85.
- [57] 张汝义. 注射成型热塑性弹性体 [J]. 天津橡胶, 2000 (1): 16-19.
- [58] 陶国源. 苯乙烯系热塑性弹性体及其注射重叠成型 [J]. 广东塑料, 2005 (12): 34-39.
- [59] 张燕媛, 潘长禄. 结构发泡成型技术 [J]. 现代塑料加工应用, 2000, 12 (6): 28-30.
- [60] 吴如洁. 工程结构发泡注射技术及其应用 [J]. 塑料通讯, 1997 (4): 15-19.
- [61] 傅志红, 彭玉成, 王洪. 微孔塑料成型技术及关键步骤 [J]. 塑料, 2003, 32 (4): 46-51.

- [62] 周国发, 张升军. 微孔发泡注射成型与传统注射成型的对比分析 [J]. 中国塑料, 2008, 22 (2): 52-56.
- [63] 杨桂英. 微孔泡沫注射成型 [J]. 国外塑料, 2003 (3): 19-22.
- [64] 许忠斌, 吴舜英, 黄步明, 等. 微孔塑料注射成型机理及其技术发展动向 [J]. 轻工机械, 2003 (4): 24-27.
- [65] 孙阳, 刘廷华. 微孔塑料的注射成型研究进展 [J]. 塑料, 2006, 35 (1): 88-92.
- [66] 谭艳雄. 微孔泡沫注塑成型 [J]. 橡塑机械时代, 2007 (12): 16-17.
- [67] 张娜, 张毅, 王久芬. 液晶聚合物的研究进展 [J]. 工程塑料应用, 2002, 30 (8): 53-56.
- [68] 周坤鲁, 卢翔, 岳艳梅. 液晶聚合物成型技术探讨 [J]. 工程塑料应用, 2003, 31 (11): 18-20.
- [69] 张瑞华. 液晶聚合物成型技术探讨 [J]. 广西轻工业, 2007, 23 (4): 39-40.
- [70] 王明福, 朱从师. 液晶聚合物的注射成型技术 [J]. 现代塑料加工应用, 2003, 15 (5): 29-31.
- [71] 叶春葆. 橡胶的注射成型 [J]. 世界橡胶工业, 2005, 32 (9): 22-29.
- [72] 张惠敏. 橡胶注射成型技术 [J]. 特种橡胶制品, 2005, 26 (5): 34-36.
- [73] 白好胜. 橡胶注射成型中的问题及其对策 [J]. 世界橡胶工业, 2006, 33 (2): 27-29.
- [74] 尹清珍, 吴乃壮, 张慧敏. 橡胶注射成形加工技术初步研究 [J]. 模具工业, 2003 (7): 50-52.
- [75] 黄娜斌, 江波. 橡胶注射成型技术及其设备 [J]. 橡塑技术与装备, 2007, 33 (7): 32-37.
- [76] 钟世云. 粉末注射成型技术及其发展 [J]. 中国塑料, 2005, 19 (11): 12-19.
- [77] 钟世云. 粉末注射成型技术进展 [J]. 塑胶工业, 2007, 10 (4): 41-43.
- [78] 刘斌, 何亮, 瞿金平. 金属粉末注射成形关键工艺与模具设计 (一) [J]. 模具工程, 2004 (1): 1-9.
- [79] 李伟, 史庆南, 裴和衷, 等. 粉末注射成型工艺参数对产品性能的影响 [J]. 材料开发与应用, 2008, 23 (1): 30-34.

○ ISBN 978-7-111-36940-0

○ 策划编辑：曲彩云

○ 封面设计：赵颖喆

上架指导：工业技术 / 机械工程

地址：北京市百万庄大街22号

电话服务

社服务中心：(010)88361066

销售一部：(010)68326294

销售二部：(010)88379649

读者购书热线：(010)88379203

邮政编码：100037

网络服务

门户网：<http://www.cmpbook.com>

教材网：<http://www.cmpedu.com>

封面无防伪标均为盗版

ISBN 978-7-111-36940-0



9 787111 369400 >

定价：49.00元