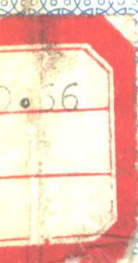


塑料成型加工原理

上册

吴崇周 编著



吉林科学技术出版社

塑料成型加工原理

上册

编著： 吴 崇 周

审校： 秦 文
黄 锐

吉林

社

内 容 提 要

《塑料成型加工原理》分上下两册出版，上册包括第一至五章，下册包括第六至十章。

上册比较全面地叙述了高聚物的流变性、热物理性质、热力学性质和传热学基础以及熔体在各种流道中的流动规律。为了结合实际，对各种挤出成型机头的型腔尺寸进行了理论的计算和设计。为了便于运用，书中附有较多的例题，并作了解答。

本书可供从事高分子加工特别是塑料成型加工的工程技术人员，橡塑机械设计人员和工作者阅读，也可供高分子合成的工作者和大专院校有关专业的师生参考。

塑料成型加工原理

(上册)

吴崇周 编著

米

吉林科学技术出版社出版

长春市斯大林大街91号

四川省简阳县印刷厂印刷

吉林科学技术出版社书刊发行中心发行

米

开本：787×1092× $\frac{1}{32}$ 印张：15.5 印数1~4,000 字数：333千字

1986年5月第一版第一次印刷

统一书号：13376·39，定价3.70元

序 言

我国的塑料工业随着石油化学工业的迅速发展特别是高分子合成材料工业的迅速发展正处于急速发展的时期。值此，为对我国塑料工业的发展起到一点微薄的作用，通过近十年的蕴酿，特编著了这本《塑料成型加工原理》。

塑料成型加工的方法主要有挤出成型、注射成型、压延成型等。无论哪种成型方法都是在一定的热、力环境下完成的。具体说，在加热或冷却的条件下塑料的变形与流动是赋予制品一定形状的主要过程，乃至贯穿了成型加工的始终；而变形与流动的条件除受力而外，加热或冷却无疑也贯穿了成型加工的始终。由于高分子材料固有特性所伴生的热物理、热力学、形态学、力化学以及热化学等等性质的变化，不仅给塑料的变形与流动增添了丰富的内容，而且还给制品的性能以很大影响。这些就给本书内容的安排奠定了基础。

《塑料成型加工原理》是把塑料专业的主要基础课程：高等数学、化工原理、物理化学、高分子化学、高分子物理学等紧密结合起来，采用定量或半定量的方式进行阐述。全书共分十章，第一、二章介绍了熔体的流动特性及流动过程的弹性表现，第三章介绍了塑料成型加工的热学基础，第四章讲述了熔体在各种简单几何流道中的流动，第五至九章定量论述了各种挤出机头型腔尺寸、挤出辅机的参数、螺杆的挤出量和功率、压延机的力、能参数以及注射成型有关问题的计算和设计方法，第十章抓住聚氯乙烯的复杂配方的特点重点介绍聚氯乙烯壁纸和窗用塑料，并对聚烯烃为主的

织布、交叉复合膜、光降解型农用地面复盖薄膜等典型品种作了讲述。

本书适合于从事高分子加工特别是塑料加工的工程技术人员和工作者阅读，也可供高分子合成的工作人员和高等院校有关专业的师生参考。

本书的第一、二、四章由中国科学院应用化学所秦汶付研究员审校，其余各章由成都科技大学塑料加工教研室主任黄锐付教授审校。

本书能与广大读者见面，在此特向中国科学院长春应用化学研究所秦汶付研究员、成都科学技术大学黄锐付教授和吉林科学技术出版社以及简阳印刷厂表示衷心感谢。并对主要参考文献的作者：伊藤公正、伊藤胜彦、笠岛正行(日)，В.Н.Красовский、В.В.Догданов、Ю.С.Липатова(苏)等表示谢意。

因作者水平所限，加之又是在工作之暇完成的。书中难免有不当或错误之处，谨诚恳地希望广大读者批评指正。

吴崇周

一九八五年八月于津

目 录

序 言

第一章 聚合物熔体的流动特性	(1)
第一节 变形与流动	(1)
一、变形与流动的分类	(1)
二、几种典型的流体	(2)
(一) 牛顿流体	(2)
(二) 非牛顿流体	(3)
第二节 切粘度	(11)
一、切粘度的测定方法	(11)
(一) 同轴圆筒旋转粘度计	(11)
(二) 转子粘度计	(12)
(三) 锥板粘度计	(13)
(四) 毛细管粘度计	(15)
(五) 落球式粘度计	(17)
(六) 平行板塑性仪	(18)
二、影响切粘度的因素	(52)
(一) 剪切敏感性	(25)
(二) 温度感敏性	(26)
(三) 静压力	(38)
(四) 分子量和分子量分布	(44)
(五) 支化	(45)
(六) 熔体结构	(48)

(七) 填料·····	(51)
(八) 共聚物·····	(52)
(九) 共混物·····	(53)
第三节 非牛顿指数·····	(54)
一、非牛顿指数·····	(55)
二、活化能估价非牛顿指数·····	(56)
第四节 流动摩擦热·····	(67)
一、园管流道内的温度分布·····	(67)
(一) 牛顿流体·····	(68)
(二) 幂数流体 ($\beta = 0$) ·····	(70)
(三) 幂数流体 ($\beta \neq 0$) ·····	(74)
二、狭缝流道内的温度分布·····	(79)
(一) 温度分布估算方程的推导·····	(80)
(二) 计算示例·····	(87)
第五节 拉伸粘度·····	(92)
一、拉伸粘度·····	(92)
二、拉伸粘度的测定方法·····	(93)
三、影响拉伸粘度的因素·····	(94)
(一) η_E 与 e 的关系·····	(94)
(二) η_E 与温度的关系·····	(96)
(三) 拉伸方式·····	(98)
参考文献	
第二章 流动过程的弹性表现 ·····	(101)
第一节 入口效应·····	(101)
一、流线收敛角·····	(102)

二、压力降·····	(104)
(一) 入口区的压力降·····	(104)
(二) 稳流区的压力降·····	(105)
(三) 出口压力降·····	(105)
三、管长修正·····	(105)
(一) 同径异长法·····	(106)
(二) 异径异长法·····	(107)
(三) 巴格勒法·····	(108)
四、管长修正的判别·····	(109)
五、端末修正系数·····	(111)
六、各种树脂的端末修正系数·····	(114)
第二节 挤出胀大与法向应力·····	(117)
一、挤出胀大·····	(117)
(一) 挤出胀大机理·····	(118)
(二) 影响挤出胀大的因素·····	(119)
(三) 胀大比的测定和计算·····	(125)
二、法向应力·····	(128)
(一) 法向应力的测定·····	(129)
(二) 法向应力的应用·····	(138)
第三节 不稳定流动·····	(140)
一、熔体破坏的机理·····	(142)
(一) 雷诺湍流理论的否定·····	(142)
(二) 取向理论·····	(142)
(三) 熔体破坏·····	(143)
(四) 熔体临界能量·····	(143)
(五) 粘附-滑移理论·····	(144)

(六) 压力振荡流动	(144)
(七) 弹性雷诺数	(148)
二、影响不稳定流动的因素	(149)
(一) 分子参数	(149)
(二) 工艺参数	(150)
(三) 口模结构和材质	(156)
四、滑移速度的测定	(158)
(一) 滑移速度的公式推导	(158)
(二) 测定滑移速度的实验设计	(161)

参考文献

第三章 塑料加工的热学基础 (169)

第一节 热力学基础 (169)

一、热力学一般关系式 (169)

二、流动过程的能量平衡 (184)

(一) 定常流动过程 (184)

(二) 不定常流动过程 (193)

第二节 聚合物的热物理性质 (195)

一、比热 (196)

二、导热系数 (199)

三、比容 (202)

第三节 聚合物的热力学性质 (208)

一、膨胀与压缩 (209)

二、状态方程 (210)

三、热焓和熵 (215)

四、成型加工需要的热量 (219)

第四节 传热学的数值解和图式解 (230)

一、数值解	(230)
(一) 定常导热	(230)
(二) 不定常导热	(237)
(三) 伴有对流的 热传导	(239)
(四) 伴有相变的 导热	(243)
二、图式法求解	(251)
(一) 一维不定常 导热	(251)
(二) 比热、密度和 导热系数随温度变化的 场合	(254)

参考文献

第四章 熔体在简单几何流道内的流动	(263)
第一节 园形口模	(264)
一、切应力	(264)
二、速度分布	(265)
三、流量	(266)
四、表观流动度	(267)
五、剪切速率	(267)
六、表观粘度	(268)
七、口模设计	(268)
第二节 狭缝口模	(271)
一、切应力	(272)
二、速度分布	(272)
三、流量	(273)
四、表观流动度	(273)
五、剪切速率	(274)
六、压力降的计算	(275)

第三节	非平行流道	·····	(277)
一、	锥形流道	·····	(277)
二、	锥形流道的图解法	·····	(279)
三、	楔形流道	·····	(281)
第四节	非规则流道	·····	(284)
一、	近似算法(一)	·····	(284)
二、	近似算法(二)	·····	(290)
第五节	厚度均一的异型流道	·····	(293)
第六节	复合熔体的流动	·····	(296)
一、	复合熔体在圆管中的流动	·····	(297)
二、	复合熔体在平行狭缝口模中的流动	·····	(301)
(一)	牛顿流体	·····	(302)
(二)	幂数流体	·····	(305)
三、	复合熔体的流变学实验	·····	(308)
四、	复合挤出的不均匀性	·····	(314)
	参考文献		
第五章	挤出机头型腔尺寸的计算	·····	(318)
第一节	T型机头	·····	(320)
一、	熔体在机头内的流动	·····	(320)
(一)	歧管内的流动	·····	(320)
(二)	模唇内的流动	·····	(322)
二、	模唇长度和间隙一定的场合	·····	(322)
三、	模唇间隙一定,长度变化的场合	·····	(328)
四、	模唇长度一定,间隙变化的场合	·····	(333)
五、	设置节流棒的场合	·····	(336)
第二节	鱼尾式机头	·····	(341)

一、扇形区的流动	(342)
二、模唇尺寸一定的场合	(343)
三、模唇间隙一定, 长度变化的场合	(347)
四、模唇长度一定, 间隙变化的场合	(353)
五、设置阻力块的场合	(355)
第三节 衣架式机头	(360)
一、熔体在机头内的流动	(361)
(一) 歧管内的流动	(361)
(二) 扇形区的流动	(364)
(三) 模唇区的流动	(365)
(四) 歧管半径	(368)
二、考虑停留时间的近似解	(370)
(一) 理论分析	(370)
(二) 数据处理	(374)
(三) 设计之一	(381)
三、考虑停留时间的严密解	(384)
(一) 理论分析	(384)
(二) 设计之二	(389)
四、影响均匀度的因素	(391)
(一) 歧管半径	(392)
(二) 扇形尺寸	(393)
(三) 模唇	(394)
(四) 歧管直线逼近数	(395)
(五) 歧管末端压力	(396)
(六) 熔体流变学特性	(396)
(七) 温度	(397)

第四节 挤管机头	(400)
一、幂数流体	(401)
(一) $K \leq \rho \leq \lambda$	(402)
(二) $\lambda \leq \rho \leq 1$	(403)
二、假塑性流体	(407)
第五节 电线电缆机头	(410)
一、平行板法	(410)
(一) 板间有最大速度	(411)
(二) 板间无最大速度	(422)
二、环隙法	(431)
(一) 环隙间有最大速度	(432)
(二) 环隙间无最大速度	(441)
三、机头设计	(447)
(一) 剪切速率的计算	(447)
(二) 锥角的确定	(449)
(三) 设计步骤	(452)
第六节 分配螺杆机头	(461)
一、机头螺槽内的流动	(463)
(一) 矩形流道	(463)
(二) 修饰的矩形流道	(465)
(三) 平行板流道	(469)
(四) 平行板间有环流的流道	(475)
二、熔体在机头模唇内的流动	(477)
三、挤出制品的均匀性	(479)

参考文献

第一章 聚合物熔体的流动特性

第一节 变形与流动

一、变形与流动的分类⁽¹⁾

实践告诉我们，要把聚合物加工成需要的制品和制件，总是通过变形和流动来实现的。可以说，变形与流动贯穿了成型加工的始终。了解一般材料变形与流动的特点，有助于对聚合物在加工过程变形和流动认识的深化，有助于进行塑料机械的合理设计和成型工艺的拟定以及对产品质量的正确分析。

把变形按理想的虎克定律来表示材料的弹性行为和用理想的牛顿定律来描写粘性行为并进行组合，可以表示出各种流变学模型。见图1-1。

关于图1-1的几点说明：

① γ 是应变， τ 是应力， t 是时间；

②实线曲线表示材料在应力作用下的变化，虚线表示去除应力的行为；

③带*的曲线， $\gamma \sim t$ 或 $\dot{\gamma} \sim \tau$ 其中一条可为直线，不能两条都为直线，否则成为牛顿流体或宾汉流体；

④上栏的图线表示在一定温度和应力下，应变与时间的关系，下栏图线表示对应的 $\dot{\gamma}$ 与 τ 的关系， $\dot{\gamma} = \frac{d\gamma}{dt}$ 。

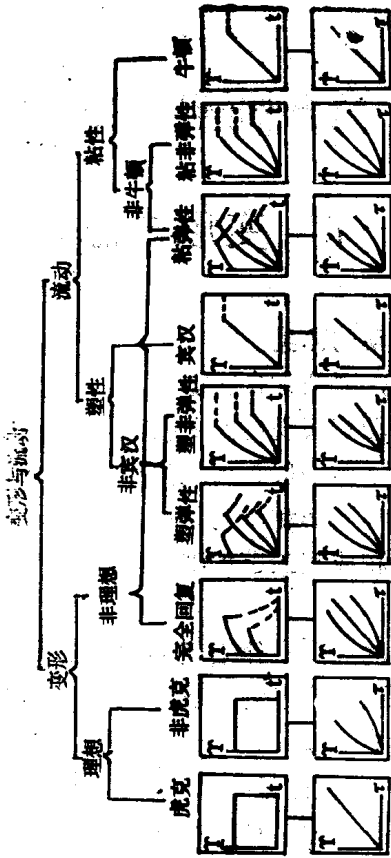


图 1-1 变形与流动

二、几种典型的流体

(一) 牛顿流体

牛顿流体是理想的粘性流体。它即便在无限小应力的作用下也无屈服值。在静止状态也没有固有形状；一旦受到应力的作用，就流动；去除应力，不能复原。而且在流动中由粘性产生的内摩擦力成为流动的阻力。

流速不太大呈现层流流动的液层，在液层之间存在速度梯度，这样的流动规律用著名的牛顿定律来描写。即速度梯度 $\dot{\gamma}$ 与切应力 τ 在一定温度下呈直线关系：

$$\tau = \eta_N \dot{\gamma} \quad 1-1$$

式中， η_N ——牛顿度 $\left(\frac{\text{达因}}{\text{厘米}^2 \cdot \text{秒}}\right)$ ，

τ ——切应力 $\left(\frac{\text{达因}}{\text{厘米}^2}\right)$ ，

$\dot{\gamma}$ ——速度梯度 $\left(\text{秒}^{-1}\right)$ 。

把遵从(1-1)式的流动叫做牛顿流动，具有这种流动特性的流体叫牛顿流体。切应力与剪切速率（或称速度梯度）的曲线称为流动曲线。牛顿流体的流动曲线是通过原点的直线如图1-2 a所示。在一定温度下，牛顿液体有如下关系。

$$\left(\frac{\partial \tau}{\partial \dot{\gamma}}\right)_T = \eta_N \quad (\text{常数})$$

$$\left(\frac{\partial \eta_N}{\partial \tau}\right)_T = 0 \quad \text{或} \quad \left(\frac{\partial \eta_N}{\partial \dot{\gamma}}\right)_T = 0$$

(二) 非牛顿液体

凡是流动行为不遵从(1-1)式流动的流体统称为非牛顿流体。从聚合物加工特别是塑料成型的需要出发，介绍如下几种流体。

1、幂数流体

聚合物熔体的流动行为，还不能用一个严密的关系式描写。但是每一种单元加工过程或者具体到每一个品种的加工

所跨越的剪切速率范围好在不是太宽；目前多采用既简单又可行的经验式，即Ostwald〔3〕于1925年提出的所谓幂数定律。常用的有如下形式。

$$\dot{\gamma} = k\tau^m \quad 1-2$$

$$= \frac{1}{\eta_e} \tau^m \quad 1-3$$

$$\tau = \mu \dot{\gamma}^n \quad 1-4$$

式中， $m = \frac{1}{n}$ 称为非牛顿指数或流动指数

各符号的意义介绍如下，在定温下，(1-2)式对 τ^m 求导，流动度表示如下：

$$k = \left(\frac{\partial \dot{\gamma}}{\partial \tau^m} \right)_{\tau} \left[\left(\frac{\text{达因}}{\text{厘米}^2} \right)^{-m} \cdot \text{秒}^{-1} \right] \quad 1-5$$

(1-3)式对 $\dot{\gamma}$ 求导，相当粘度表示为：

$$\eta_e = \left(\frac{\partial \tau^m}{\partial \dot{\gamma}} \right)_{\tau} \left[\left(\frac{\text{达因}}{\text{厘米}^2} \right)^m \cdot \text{秒} \right] \quad 1-6$$

(1-4)式对 $\dot{\gamma}^n$ 求导，稠度表示成：

$$\mu = \left(\frac{\partial \tau}{\partial \dot{\gamma}^n} \right)_{\tau} \left(\frac{\text{达因}}{\text{厘米}^2} \cdot \text{秒}^n \right) \quad 1-7$$

如果把(1-2)和(1-4)式仿照牛顿定律重排

$$\dot{\gamma} = (k\tau^{m-1}) \tau \quad 1-8$$

$$\tau = (\mu \dot{\gamma}^{n-1}) \dot{\gamma} \quad 1-9$$

令表现流动度： $k' = k\tau^{m-1}$ 1-10