

化学工业出版社

塑料成型加工丛书

模压 成型技术

梁国正 主编
顾媛娟



塑料成型加工丛书

模压成型技术

梁国正 顾媛娟 主编

化学工业出版社

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

模压成型技术/梁国正, 顾媛娟主编. —北京: 化学工业出版社, 1999. 6

(塑料成型加工丛书)

ISBN 7-5025-2489-4

I. 模… II. 梁… III. 塑料成型-模压 IV. TQ320.66

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 06497 号

塑料成型加工丛书

模压成型技术

梁国正 顾媛娟 主编

责任编辑: 龚浏澄 白艳云

责任校对: 马燕珠

封面设计: 郑小红

*

化学工业出版社出版发行

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

新华书店北京发行所经销

北京市管庄永胜印刷厂印刷

三河市前程装订厂装订

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 11 字数 308 千字

1999 年 6 月第 1 版 1999 年 6 月北京第 1 次印刷

印数: 1—5000

ISBN 7-5025-2489-4/TQ · 1126

定 价: 20.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责调换

前 言

模压成型是塑料加工成型领域中应用历史最悠久的工艺之一。它具有生产工艺成熟、设备和模具简单、易于成型大型制品、可利用多腔模提高小制件的产量等优点，在机械、电器、交通运输和日常生活等诸多领域得到了广泛的应用。随着科学技术的不断进步，模压成型也在不断发展和完善，每年都有数以万计的文献发表，材料、新设备、新技术不断涌现。在历届的国际塑料加工会议上模压成型技术都占有很重要的地位。因此，模压成型技术又是一个年轻、充满活力并具有广阔应用前景的塑料加工技术。

我们查阅国内外大量文献资料，特别是积极吸收最新科技成果并结合多年的实际工作经验编写此书，另外，本书在编写过程中参阅了国内许多老前辈的论著和书目，因有的老前辈通讯地址变更未能取得联系，在此对老前辈表示衷心的感谢。

全书共分十章，其中第一、五章由梁国正编写，第二章由张明习编写，第三章由陈祥宝编写，第四章由顾媛娟编写，第六章由顾媛娟编写，第七章由裴顶峰编写，第八章由高兰宁编写，第九、十章由李忠明编写。全书由梁国正同志主编。

考虑到各章、节的相对独立性和完整性，书中个别地方有一些重复，请读者谅解。此外，限于编者的学术水平和编著经验，书中定有不足以至差错之处，切望得到广大读者的批评和指正。期望此书的出版对于我国模压成型技术的发展起到积极的推动作用。

编者

1998.10

内 容 提 要

本书对塑料的模压成型技术作了全面系统的介绍,阐述详细,通俗易懂。全书共分十章,主要内容有:概论、原材料、模压料的制备、模压料的流变行为、模压成型工艺、常见热固性树脂模压料的性能、热塑性树脂模压料的性能、模压产品设计、模具制造和常用设备等。

本书可供从事塑料模压成型技术方面的有关生产、加工和应用部门的工程技术人员、管理干部和工人阅读,也可作为从事塑料研究方面的科技人员与高等院校师生参阅。

目 录

第一章 概论	1
一、模压工艺简介	1
二、模压成型工艺分类	2
三、模压成型工艺的发展史	7
四、模压成型工艺的特点	14
五、模压制品的性能	16
六、模压工艺的地位及应用	18
第二章 模压料用原材料	22
第一节 树脂体系	22
一、树脂	22
二、稀释剂和交联剂	33
三、引发剂和固化剂	35
四、阻聚剂	38
五、树脂的选用及存放	38
第二节 增强材料	40
一、玻璃纤维及其制品	41
二、高硅氧纤维	44
三、其他纤维	44
四、表面处理剂	46
第三节 填料	50
一、概述	50
二、填料的选择原则	51
三、填料的种类	53
第四节 脱模剂	55
第五节 增稠剂	58
一、增稠剂种类及用量	58
二、增稠机理	61

三、增稠剂载体	62
四、影响增稠的因素	63
第六节 着色剂	64
第七节 低收缩添加剂	66
第三章 模压料的制备	69
第一节 模塑粉的制备	69
一、干法生产	69
二、湿法生产	75
第二节 胶布的制备	76
一、玻璃布的浸渍上胶	77
二、胶布的干燥	79
第三节 团状模塑料 (DMC) 和散状模塑料 (BMC) 的制备	81
一、常用配方	81
二、制备过程	82
第四节 片状模塑料 (SMC) 的制备	87
一、SMC 配方	87
二、生产工艺	87
三、SMC 性能的测定方法	95
第五节 吸附预成型坯的制备	99
一、配方	99
二、预成型用粘结剂	99
三、预成型用设备	100
四、预成型对设备的要求	105
五、预成型工艺的几个有关问题	108
第六节 短纤维模压料的制备	111
一、短纤维模压料的典型配方	111
二、制备	112
三、短纤维模压料制备过程中主要控制的几个因素	119
第七节 其他模塑料的制备	120
一、ZMC 模塑料注射技术	120
二、高强度片状模塑料 HMC、XMC	122
三、厚模塑料 TMC	124
第八节 模压料的存放	127

第九节 模压料的性能测试	128
第四章 热固性模压料在模具中的流动、热行为及纤维取向	134
第一节 模压料及其在模具中的流动行为	134
一、模压料的流动性	134
二、模压料在模具中的流动理论	137
三、影响模压料流动性的因素	144
四、流动性的测定方法	147
第二节 热传递和固化	152
一、充模过程的热传递	152
二、固化反应动力学	155
三、热传递和固化	157
四、模具的热设计	162
五、残余应力	164
第三节 纤维取向	166
一、纤维在稀溶液中的取向	166
二、纤维在高纤维含量悬浮液中的取向	168
三、纤维取向的测试技术	170
四、流动过程中的纤维破坏	173
五、纤维取向对机械性能的影响	174
第五章 模压成型工艺	175
一、概述	175
二、压制前的准备	175
三、模压成型工艺	186
四、常用模压料的成型工艺	193
五、模压工艺中易出现问题及解决方法	210
第六章 主要热固性树脂模压料的性能	215
一、酚醛树脂	215
二、氨基树脂	225
三、不饱和聚酯树脂	228
四、环氧树脂模塑料	232
五、有机硅树脂	233
六、烯丙酯树脂	235
第七章 热塑性树脂的模压成型	237

一、聚烯烃	237
二、聚氯乙烯系列	241
三、聚苯乙烯系列	243
四、丙烯酸树脂系列	245
五、氟塑料	246
六、聚酰亚胺	251
七、聚砜类聚合物	256
八、聚苯硫醚	258
九、聚醚醚酮	259
十、聚苯酯	261
十一、聚苯	262
十二、聚苯并咪唑	263
十三、其他芳环聚合物	264
第八章 模压制品设计	265
一、脱模斜度	265
二、壁厚	267
三、圆角	269
四、加强筋与凸台	271
五、嵌件	274
六、孔与侧凹	276
七、螺纹设计	278
八、尺寸精度	279
第九章 模压成型模具	281
第一节 概述	281
一、压模结构	281
二、压模的分类	283
第二节 影响模压成型模具的因素	285
第三节 模压成型模具与压机的关系	290
第四节 压模成型零件设计	293
一、型腔总体设计	294
二、压模成型型腔配合形式	297
三、成型零件设计	299
四、加料室设计	306

第五节 结构零件	308
一、导向零件	308
二、脱模机构	310
三、抽芯机构	313
第六节 加热装置与计算	316
一、电加热	317
二、蒸汽或过热水加热	319
三、煤气或天然气加热	319
第十章 模压成型设备	321
一、液压机的工作原理与分类	321
二、液压机的性能参数	323
三、液压机的结构	327
四、液压机的传动系统	330
五、液压机的使用与维护	334
主要参考文献	342

第一章 概 论

一、模压工艺简介

模压成型工艺是将一定量的模压料（粉状、粒状或纤维状等塑料）放入金属对模中，在一定的温度和压力作用下成型制品的一种方法。在模压成型过程中需加热和加压，使模压料熔化（或塑化）、流动充满模腔，并使树脂发生固化反应。其原理是把加压、赋形、加热等过程依靠被加热的模具的闭合而实现。

模压成型工艺是塑料加工工艺中最古老的成型方法。由于其使用历史长，成型技术已相当成熟，目前在热固性塑料和部分热塑性塑料（氟塑料、超高分子量聚乙烯、聚酰亚胺等）加工中仍然是应用范围最广而居主要地位的成型加工方法。模压热固性塑料时，置于型腔中的热固性塑料在热的作用下，先由固体变为熔体，在压力下熔体流满型腔而取得型腔所赋予的形状，随着交联反应的进行，树脂的分子量增大，固化程度随之提高，模压料的粘度逐渐增加以至变为固体，最后脱模成为制品。热塑性塑料的模压，在前一阶段的情况与热固性塑料相同，但是由于没有交联反应，所以在流满型腔后，须将模具冷却使其熔融塑料变为具有一定强度的固体才能脱模成为制品。由于热塑性塑料模压时模具需要交替地加热与冷却，生产周期长，因此热塑性塑料制品的成型一般选用注射模塑法更为经济，只有在模塑较大平面的塑料制品或因热塑性塑料的流动性差难于用注射模塑法时才采用模压成型。

在模压料充满模腔的流动过程中，不仅树脂流动，增强材料也要随之流动，所以模压成型工艺的成型压力较其他工艺方法高，属于高压成型。因此，它既需要能对压力进行控制的液压机，又需要高强度、高精度、耐高温的金属模具。

用模压工艺生产制品时，模具在模压料充满模腔之前处于非闭合

状态。用模压料压制制品的过程中，不仅物料的外观形态发生了变化，而且结构和性能也发生了质的变化，但增强材料基本保持不变，发生变化的主要是树脂。因此，可以说模压工艺是利用树脂固化反应中各阶段的特性来实现制品成型的过程。当模压料在模具内被加热到一定温度时，其中树脂受热熔化成为粘流状态，在压力作用下粘裹纤维一道流动直至填满模腔，此时称为树脂的“粘流阶段”。继续提高温度，树脂发生化学交联，分子量增大。当分子交联形成网状结构时，流动性很快降低直至表现一定弹性。再继续受热，树脂交联反应继续进行，交联密度进一步增加，最后失去流动性，树脂变为不溶不熔的体形结构，到达了“硬固阶段”。模压工艺中上述各阶段是连续出现的其间无明显界限，并且整个反应是不可逆的。

模压成型工艺具有生产效率高，制品尺寸精确，表面光洁，价格低廉，多数结构复杂的制品可一次成型，不需要辅助加工（如车、铣、刨、磨、钻等），制品外观及尺寸的重复性好，容易实现机械化和自动化等优点。模压工艺的主要缺点是模具设计制造复杂，压机及模具投资高，制品尺寸受设备限制，一般只适合制造大批量的中、小型制品。

二、模压成型工艺分类

模压成型工艺的种类很多，主要可分为下面几类。

1. 模塑粉模压法

模塑粉模压法是塑料成型方法中最古老的一种，迄今已有一百多年的历史，在注射成型出现以前，模压是生产热固性塑料制品的唯一方法。就是在目前，虽然注射成型已经发展成与挤出成型并列的塑料界两大技术，但由于热固性塑料品种不多，并且难于注塑，模压法仍是塑料成型的一个重要分支。

模塑粉主要由树脂、填料、固化剂、固化促进剂、着色剂和脱模剂等多种组分按不同配方制成。其中所用的树脂主要是热固性树脂如酚醛树脂、环氧树脂、氨基树脂等。另外，分子量大、流动性差、熔融温度很高的难于注射、挤出成型的热塑性树脂也可制成模塑粉。

模塑粉和其他模压料的主要区别在于前者配方中没有增强材料，模制品强度较低，主要用于次受力件，二者的成型工艺基本相同。

2. 吸附预成型坯模压法

吸附预成型法是指在成型模压制品之前，预先将玻璃纤维纺制成与模压制品结构、形状、尺寸相一致的坯料，然后将其放入金属对模内与液体树脂混合，加温、加压成型纤维增强塑料的一种工艺过程。另外，在压制前使短切原纱成型毡在一预制实体模型上进行预切割和层间结合制成坯料再进行压制的工艺，也可属预成型法。

与其他工艺相比，它的主要特点是材料成本较低，制造形状较复杂的制品比较经济，容易调节制品厚度和实现自动化，可埋入装饰材料或连接件。但全工艺过程设备费用较高，对人的操作技能依赖性较强，并且制品厚度一般仅在 6mm 以内。

吸附预成型工艺可采用较长的短切纤维，并且在模压制品中可实现较高的玻璃纤维含量，因而使制品具有优良的物理机械性能。但是，在预成型坯的模压工艺过程中，纤维基本上不发生流动，因而不能采用这种工艺制造结构上比较复杂的制品。这种工艺仅适合于生产深度及外形尺寸较大的大型部件或形状不十分复杂而又要求强度较高的短切纤维模压制品。

3. 团状模塑料和散状模塑料模压法

团状模塑料（简称 DMC）又称预混料，是一种纤维增强热固性模塑料，在玻璃纤维无捻粗纱 1949 年问世以后才开始得以应用并在 50 年代获得迅速的发展。通常 DMC 是由不饱和聚酯树脂、短切纤维、填料、颜料、固化剂等混合而成的一种油灰状成型材料。它在仅足以产生流动和压紧材料的压力下就可模压，且没有副产物产生。由于这类预混料所用的树脂主要是采用聚酯树脂，因此，它又被称为“聚酯料团”或“流动混合物”。

DMC 成型工艺的特点是可成型任意尺寸大小和截面形状的制品，可模制嵌件、连接件、孔洞和螺纹，制品的尺寸精确，材料价格便宜，生产效率高，性能易调节，工艺十分优良甚至可成型重达 90kg 的制品。但制品的机械强度不高，表面质量欠佳，往往有严重的收缩波纹；另外，由于料团处于半湿状态，使加料方式受到一定的限制，容易出现熔接线等弊病。

这些弊病由于散状模塑料（即化学增稠的低收缩型预混料，简称 BMC）的出现，已逐渐得到克服。聚酯树脂的化学增稠作用使散状模塑料的流动性更好，低收缩添加剂的使用，大大改善了聚酯制品的外观。与其他工艺方法相比，散状模塑料的特点如下：可整体成型形状复杂的制品；成型速度快，适合大批量生产；能成型嵌件、孔洞、螺纹、筋和凸台等结构；制品的耐热性、耐燃性、耐腐蚀性、耐冲击性、电绝缘性、耐电弧性、耐漏电性能优良；制品外观、尺寸精度和稳定性好；价格低廉。

DMC 和 BMC 模制品的应用很广，目前已在电器、仪表、化工、运输、军工等领域中获得广泛的应用。

4. 片状模塑料模压成型法

片状模塑料（简称 SMC）是在 60 年代初发展起来的一种“干法”制造玻璃纤维增强聚酯制品的新型模压用材料。其物理形态是一种类似“橡皮”的夹芯材料，“芯子”由经树脂糊充分浸渍的短切玻璃纤维（或毡）组成，上下两面为聚乙烯薄膜所覆盖，以防止空气，灰尘，水汽及杂质等对材料的污染和聚酯树脂交联剂苯乙烯的挥发损失。树脂糊里含有聚酯树脂、引发剂、化学增稠剂、低收缩率添加剂、填料、脱模剂、颜料等组分。

片状模塑料的模压工艺过程，主要包括片状模塑料的制备和成型两部分。模压成型过程与一般模压料的模压过程相似，但属于干法成型。

片状模塑料综合了 DMC（或 BMC）的优良成型性和吸附预成型制品的良好强度，而同时又克服了后者的弱点。它的主要优点如下：

①操作处理方便，由于增稠剂的化学增稠作用，使 SMC 处于不粘手状态，从而避免了一般预成型工艺那样的粘滞性所带来的麻烦；

②生产效率高，成型周期短，成本低，生产过程及成型过程容易实现自动化；

③成型时树脂粘度下降不大，流动性好，使玻璃纤维能同树脂一起流动，即使成型结构复杂的制品也能实现增强材料的均匀分布，从而获得物理性能优良的制品；另外也能实现制品变厚度、带嵌件、孔

洞、凸台、筋、螺纹等，尤其适应大面积薄壁制品的成型；

④制品的尺寸稳定性好，表面平滑、有光泽，纤维浮出少，从而简化了后处理工序；

⑤制品重现性好，不易受操作者和外界条件的影响；

⑥增强材料在模压制造及成型过程中均无损伤，长度均匀，制品强度高；

⑦各工序的材料损耗小；

⑧成型时的作业环境好，没有湿法作业所引起的环境污染和玻璃纤维毛的飞扬的缺点。

片状模塑料工艺的缺点是设备造价高，设备操作及过程控制比较复杂，对产品设计，尤其是筋的设计亦有较高的要求。

片状模塑料的应用十分广泛，其主要的应用领域有：运输工业、电器工业和家具工业等方面。

值得指出的是，在片状模塑料系统中，使用化学增稠剂来控制整个成型过程各个阶段的粘度变化。化学增稠剂与不饱和聚酯树脂混合后，二者发生相互作用，使树脂在没有产生凝胶的情况下，实现分子量的“增加”，从而使树脂粘度产生上千倍的增长。但是在高温高压下树脂仍有良好的流动性，使玻璃纤维能随树脂相一同产生均匀流动并充满模腔，从而使片状模塑料获得预混料团那样良好的流动能力。所以，SMC能成型具有良好质量的带有深筋和凸起部结构的复杂制品。

为了改善制品的表面质量和外观，在片状模塑料的树脂系统中，还特别加入了低收缩添加剂。

由于片状模塑料的组成比较复杂，每种组分的种类、质量、性能及其配比对片状模塑料的生产工艺、成型工艺及最终制品的性能、价格都有很大的影响，因此，合理的进行组分、用量、配比的选择，对于制造优良的片状模塑料及其制品具有十分重要的意义。

5. 高强度短纤维料模压成型

高强度短纤维料模压成型是一种在我国广泛使用的工艺方法。它主要用于制备高强度异形制品，也用来制造一些具有特殊性能要求的制品（如耐热、防腐），树脂主要有酚醛树脂、环氧树脂、改性环氧树

脂等类型。混料操作中,为了更好地实现浸渍,常需加入各种非活性稀释剂(溶剂),以调节树脂的浸渍粘度。这些溶剂在浸渍后期均须大部分除去。为了获得高性能制品模具多采用半溢式或不溢式结构。

与前几种模压工艺相比,该成型工艺过程所需的成型温度较高(一般为 $160\sim 170^{\circ}\text{C}$),成型压力大(一般所需的单位压力在 $200\sim 300\text{MPa}$ 的范围内,上限值可达 500MPa ,下限值至少也需 100MPa)。玻璃纤维的含量高达 60% 以上,玻璃纤维的长度随制造方法的不同可按制品的性能要求、结构和尺寸而定。对于短纤维模压料,纤维的短切长度一般为 $30\sim 50\text{mm}$,最短不应小于 15mm 。树脂体系多为单组分或双组分。一般很少加入粉状填料,在个别情况下也可加入某种色料。

短纤维模压制品在机械、运输、化工、电器、军事等领域得到了广泛的应用。

6. 定向铺设模压成型

所谓定向铺设是指模压制品成型前使玻璃纤维沿制品主应力方向取向的铺设过程。如果把这种定向铺设后之预定形坯进行模压,成型制品,则这种成型工艺称之为定向铺设模压成型。

定向铺设模压成型能充分发挥增强材料的强度特性,通过纤维的精确排列与控制可预测制品各向强度及在应力条件下的置信度。制品性能重复性好,工艺过程对操作者技能的依赖性小,并且能提高制品中的纤维含量(增强材料重量可达 70% 左右)。但由于增强材料在成型过程中,几乎不发生长程流动,因此这种工艺最适于制造形状不是十分复杂的大型高强度模压制品。

7. 层压模压法

层压模压法是介于层压与模压之间的一种边缘工艺,是用浸过树脂的玻璃布(或其他织物)裁成所需形状,在金属对模中层叠铺设,加热加压成型模压制品的一种方法。此法常用于大型薄壁制品或一些形状简单及特殊要求的三向制品。

8. 缠绕模压法

缠绕模压法是用浸过树脂的纤维或布(带),通过专用缠绕机在一定张力、温度下缠绕在芯模(模型)上,再在金属对模中进行加温加

压成型的一种方法。此法是在缠绕与模压工艺的基础上发展起来的,适用于特殊要求的三向制品或管材等。

9. 织物模压法

织物模压法是将预先织成与制品形状相同的织物浸渍树脂后,在金属模具中加热加压成型模压制品的一种方法。常见的是三向织物模压法,由于纤维的配置能根据受力情况安排,因此,这种方法所生产的模压制品层间剪切强度明显提高,质量比较稳定。但是此种方法工艺比较复杂,成本较高,仅适用于特殊要求的模压制品。

10. 毡料模压法

毡料模压法是用树脂浸渍玻璃纤维毡,然后烘干为预浸毡,再经裁剪成所要求的几何形状放入金属模具中,加热加压成型模压制品的一种方法。这种方法的主要工序是预浸毡的制备和模压成型。它的特点介于预混法和预浸法之间,适用于形状较简单、厚度变化不大的薄壁大型模压制品。

11. 碎布料模压法

碎布模压法是用碎的玻璃布、棉布、棉纱等下脚料,浸渍树脂胶液,经烘干制成模压料,然后在金属模具中模压制品的方法。此法适用于结构简单、强度要求不高的制品。

三、模压成型工艺的发展史

1. 古代的压制工艺

几千年前中国人利用压制工艺造纸,中世纪时压制工艺用于制造各种各样的天然树脂。在美国利用模压工艺的历史可以追溯到18世纪,他们把动物的角放入煮沸的水中塑化而后压平,分离成一块块薄的皮。

大约在1760年,美国的压制工艺是靠手力来加压的,到19世纪,楔形压力用于压制动物的角和模压橡胶。1818年 Mcpherson Smith 发明了世界上第一台手工操作的螺旋压机,并取得了专利。19世纪60年代多腔体压机出现,在美国南北战争中用于银板照相,它们带给了塑料模压工艺一个良好的发展契机。

2. 早期模压方法的发展