

中等专业学校教材

塑料成型加工工艺

李钟猛 阎亚琳 编

国防工业出版社

塑料成型加工工艺

李钟猛 阎亚琳 编

江苏工业学院图书馆
藏书章

国防工业出版社

内 容 简 介

本书结合电子工业的特点, 主要介绍塑料成型加工的基本原理和工艺操作技术。全书分六章, 包括塑料概论、压制成型、注射成型、挤出成型、发泡成型以及二次加工等内容。

本书内容简明扼要, 通俗易懂, 可作为工模具设计与制造专业、机械加工专业以及有关职业技术中学教材, 也可供有关工程技术人员和技术工人参考。

塑料成型加工工艺

李钟猛 阎亚琳 编

*

国防工业出版社出版

(北京市车公庄西路老虎庙七号)

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168 1/32 印张6³/₈ 166千字

1989年9月第一版 1989年9月第一次印刷 印数: 0,001—2,280册

ISBN 7-118-00587-3/TH·35 定价: 1.55元

出版说明

根据国务院关于高等学校教材工作分工的规定，我部承担了全国高等学校工科电子类专业课教材的编审、出版的组织工作。从一九七七年底到一九八二年初，由于各有关院校，特别是参与编审工作的广大教师的努力和有关出版社的密切配合，共编审出版了教材 159 种。

为了使工科电子类专业教材能更好地适应社会主义现代化建设培养人才的需要，反映国内外电子科学技术水平，达到“打好基础、精选内容，逐步更新、利于教学”的要求，在总结第一轮教材编审出版工作经验的基础上，电子工业部于一九八二年先后成立了高等学校《无线电技术与信息系统》、《电磁场与微波技术》、《电子材料与固体器件》、《电子物理与器件》、《电子机械》、《计算机与自动控制》，中等专业学校《电子类专业》、《电子机械类专业》共八个教材编审委员会，作为教材工作方面的一个经常性的业务指导机构，并制定了一九八三~一九八五年教材编审出版规划，列入规划的教材、教学参考书、实验指导书等共 217 种选题。在努力提高教材质量，适当增加教材品种的思想指导下，这一批教材的编审工作由编审委员会直接组织进行。

这一批教材的书稿，主要是从通过教学实践、师生反映较好的讲义中评选择优和从第一轮较好的教材中修编产生出来的。广大编审者，各编审委员会和有关出版社都为保证和提高教材质量作出了努力。

这一批教材，分别由电子工业出版社、国防工业出版社、上海科学技术出版社、西北电讯工程学院出版社、湖南科学技术出版社、江苏科学技术出版社、黑龙江科学技术出版社和天津科学技术出版社承担出版工作。

限于水平和经验，这一批教材的编审出版工作肯定还会有许多缺点和不足之处，希望使用教材的单位、广大教师和同学积极提出批评建议，共同为提高工科电子类专业教材的质量而努力。

电子工业部教材办公室

前 言

本教材系由电子工业部中专电子机械类专业教材编审委员会工模具设计与制造专业编审小组评选审定，并推荐出版。

本教材由成都无线机械学校李钟猛担任主编，武汉无线电工业学校胡延祺担任主审。编审者都是根据工模具设计与制造专业编审小组审定的编写大纲进行编写和审阅的。

本课程教学参考学时数为 50 学时。全书分六章，第一章介绍塑料工业发展概况、塑料的特点和用途、塑料的组成和分类、塑料的工艺性能、热固性塑料主要品种和热塑性塑料主要品种；第二、三、四、五、六章分别论述了压缩成型和传递成型、注射成型、挤出成型、发泡成型以及热成型、机械加工、焊接、粘接、着色、金属镀饰等成型加工方法的基本原理、成型设备、工艺装备、工艺参数、操作技术等。

全书着重分析各种成型加工方法的基本原理，成型设备及工艺装备的选用，工艺参数的控制以及操作技术的基本知识，对于塑料成型加工工艺的发展动态也作了一定介绍。

本教材由李钟猛编写第一、二、三、五、六章，阎亚琳编写第四章，李钟猛统编全稿。林柏清为本书绘制了全部插图，上海二轻机械学校张子龙、天津无线机械学校刘榴等为本书提供了许多宝贵意见，在此表示诚挚的感谢。

由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免存在一些缺点和错误，殷切希望广大读者批评指正。

目 录

第一章 塑料概论	
§ 1-1 塑料工业发展概况	1
§ 1-2 塑料的特点和用途	3
§ 1-3 塑料的组成和分类	5
§ 1-4 塑料的工艺性能	9
§ 1-5 热固性塑料主要品种	20
§ 1-6 热塑性塑料主要品种	27
第二章 压制成型工艺	56
§ 2-1 概述	56
§ 2-2 压制成型原理	57
§ 2-3 压制成型工艺过程	59
§ 2-4 压制成型的三大因素	66
§ 2-5 预压和预热	70
§ 2-6 液压机选用	73
§ 2-7 冷压烧结成型	76
第三章 注射成型工艺	80
§ 3-1 注射成型原理	80
§ 3-2 注射成型工艺过程	82
§ 3-3 注射成型的工艺条件	90
§ 3-4 注射机选用	98
§ 3-5 热固性塑料注射成型工艺	105
第四章 挤出成型工艺	108
§ 4-1 概述	108
§ 4-2 挤出设备	109
§ 4-3 几种制品的挤出成型工艺	115
第五章 发泡成型工艺	130
§ 5-1 概述	130
§ 5-2 物理发泡法	132

§ 5-3 化学发泡法	138
第六章 塑料的加工工艺	142
§ 6-1 概述	142
§ 6-2 塑料的热成型	142
§ 6-3 塑料的机械加工	157
§ 6-4 塑料的焊接	169
§ 6-5 塑料的粘接	177
§ 6-6 塑料的着色	183
§ 6-7 塑料的金属镀饰	191
参考文献	197

第一章 塑料概论

§ 1-1 塑料工业发展概况

塑料工业是一门年轻的新兴工业，如从 1909 年酚醛树脂工业化生产算起，仅仅只有七十多年的历史，但塑料成为工程材料应用至今还不过三十多年的历史，塑料工业真正获得大发展只不过是近二十多年的事情。

塑料工业的发展历史虽然很短，但其发展速度相当惊人。据统计，1909 年全世界塑料产量只有 20kt，1930 年达 100kt，1960 年达 6400kt，1985 年就猛增到 7647kt。从 1950 年以来，世界塑料产量增长几乎是每隔 4~5 年就翻了一番。有人估计，1988 年世界塑料产量将突破 0.1Mkt 大关，到本世纪末将达到 0.35 Mkt。

几十年前，塑料还只能作为象牙、玳瑁、宝石、牛骨等制件的代用品，可是到现在，它已成为许多工业部门不可代替的工程材料，而且这种崭新的合成材料，正在飞速地追赶钢铁工业，大有后来居上之势。有人预言，20 世纪人类将跨入“塑料时代”。

本世纪 20 年代以前主要是发展热固性塑料，从 30 年代起，逐步转向以发展热塑性塑料为主，在六十年代工程塑料已成为研究中心，发展很快，应用范围日益扩大。同时，芳杂环的耐高温塑料也向前推进了一步。目前，国外正式生产的塑料品种已有 300 多种，其中主要的只有 50~60 种。聚乙烯、聚氯乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、氨基塑料、酚醛塑料等是一类产量较大、用途较广、成本较低的通用塑料，其产量将保持持续上升的趋势；尼龙、聚甲醛、ABS、聚碳酸酯、聚砜、聚苯醚等工程塑料，正向着扩大生产，降低成本，改进性能，开拓用途方面发展。

随着塑料产量的提高、品种的增多、应用的扩大，促进了塑

料成型加工工艺的不断发展,相继出现了浇铸成型、模压成型、粉末成型、层压成型、传递成型、挤出成型、注射成型、压延成型、发泡成型、热成型等方法,塑料的机械加工、焊接、粘接、彩饰、金属镀饰等加工工艺也取得很好的进展。目前,塑料成型加工工艺正朝着高速、高效、自动化方向发展。同时,电子计算机、高频、微波、红外线、超声波、放射线、激光等先进技术也将进一步应用于成型加工中去。

塑料生产的发展和应用领域的扩大,也促进了塑料成型设备和成型模具的不断发展。目前,塑料成型设备正朝着大型化、微型化、高速化、自动化、精密化方向发展;塑料成型模具朝着高效率、高精度、高寿命方向前进。在成型设备和模具设计及制造方面也引入了CAD/CAM先进技术。

从很多历史记载和出土文物证明,我国是最早使用塑料的国家。远在两千年以前,我国人民已经掌握了完整的脱胎漆器工艺,并在建筑上应用了麻布增强的油漆。

解放前,我国塑料工业基本上是个空白点,仅能生产酚醛塑料、氨基塑料等少数几个品种,而且设备简陋,效率极低,原材料也靠进口。

解放后,我国塑料工业从无到有,从小到大,今天已发展成为一个初具规模的工业体系。目前,我国塑料产量从1949年的230 t增加到1985年的2300kt,并一跃据世界第七位。许多过去进口的塑料,有的试制成功,有的投入成批生产,在品种上基本齐全。而且还根据我国实际情况,利用国产资源,独创了一种新型尼龙品种。即尼龙1010,并广泛用于工业部门。全国塑料制造厂星罗棋布,塑料加工厂遍布全国各地。近年来,我国的塑料成型设备的生产能力和产品质量大有提高,达到相当水平,如3200cm³大型注射成型机、数控热固性塑料注射成型机、电子计算机群控注射成型机等新产品,为我国塑料成型技术的发展创造了有利条件。我国石油化学工业的飞速发展,为塑料工业奠定了雄厚的物质基础。

§ 1-2 塑料的特点和用途

由于塑料具有木材那样的轻盈，钢铁那样的强度，石头那样的坚硬，铜那样的韧性，黄金那样的稳定，玻璃那样的透明，橡胶那样的弹性等特点，因此塑料在国民经济中各个部门获得越来越广泛的应用。

塑料是一种轻质材料，一般塑料的比重是 $0.83 \sim 2.2$ ，最轻的塑料是聚 4-甲基戊烯 (1)，比重只有 0.83，比水还轻；最重的塑料是聚四氟乙烯，比重为 2.2。总的说来，塑料的平均比重约为铝的 $1/2$ ，钢的 $1/5$ ，铝的 $1/8$ 。

以空气或其它气体作为填料的泡沫塑料，它的比重更小，几乎比软木轻 $9 \sim 10$ 倍，比木材轻 $30 \sim 35$ 倍。

塑料的比重小，对于要求全面减轻自重的汽车、飞机、船舶、建筑、宇航工业等具有特别重大的意义。

一般塑料对酸、碱、盐等化学药物均具有一定的耐腐蚀能力。有些塑料不仅能耐受潮湿空气的影响，而且也能耐受酸、碱、盐、气体和蒸汽的化学腐蚀作用。有的塑料既能耐受强酸、强碱的腐蚀作用，即使在沸腾的王水中也无动于衷。塑料的这种优越的化学稳定性大大地超过了许多耐腐蚀金属，因而广泛用于化学工业。

塑料具有优良的电绝缘性能，加之它的机械强度较高，耐电弧性好，所以被广泛用于电机、电器、电子工业中作为结构材料和绝缘材料。某些塑料无论在低压还是高压，低频还是高频情况下，绝缘性能都是十分优良的，尤其是在高频、超高频条件下，是陶瓷、云母等其它绝缘材料所不能相比的。

塑料的机械强度取决于树脂的种类、填料的类型等。一般来说，塑料的机械强度不如金属，但用玻璃纤维增强的塑料，其强度几乎接近钢的水平。如果按单位重量来计算强度，即所谓比强度（强度与密度之比），则玻璃纤维增强塑料的比强度，远远超

过了高强度钢的水平。

由于塑料具有摩擦系数小，耐磨性高，自润滑性好等特点，加之又具有一定的机械强度，因而在传动机构和摩擦机构中得到广泛的应用。目前，许多机械传动零件和润滑零件，如齿轮、齿条、蜗杆、蜗轮、滑轮、凸轮、轴承等都可以用塑料来制造。同时这些塑料零件在传动时还无噪音。

一般的塑料都具有一定的粘接能力。有一种号称“万能胶”的环氧树脂，它不但可以粘接木材、橡胶、皮革、塑料、玻璃、陶瓷等非金属材料，而且还可以粘接钢、铜、铝等金属材料。采用环氧树脂粘接的金属构件（如桥梁、屋架、机翼等）可以代替铆接和焊接。此外，还可以用环氧树脂修补铸件缺陷，修理设备，制造模具，浇注电器以及制造玻璃钢。

塑料的可塑性很好，可以采用许多高生产率的成型加工方法来制造产品，这样就可以节约原料，节省工时，简化工艺过程，且对工人技术要求不高，易于组织大批量生产。

以上仅是塑料的一些主要特点，但它在某些性能上也存在着不足之处。如一般塑料的机械强度较差，尤其是刚性较低，一般尼龙的弹性模量仅为 2 GPa，约为钢的 1/100。虽然玻璃钢的弹性模量可达 40 GPa，碳纤维增强塑料 100 GPa，但不到钢铁的 2/3。

塑料的耐热性很低，如果长时间使用，一般温度只能在 100℃ 以下，只有少数的可超过 200℃ 使用。塑料的线胀系数很大，大多数热塑性塑料的线胀系数在 10×10^{-6} 左右，约为钢铁的 10 倍。用玻璃纤维增强的聚碳酸酯，其线胀系数可降至 1×10^{-5} ，接近于铝。塑料的导热系数只有金属的 1/200~1/600，对散热来说是缺点，但对绝热来说却又是一个优点。

此外，塑料在光和热的作用下，其性能逐渐变坏，即所谓老化。为此，可在其中加入防老剂。

人们针对塑料的缺点，对其性能进行不断改进以及大力开发新型塑料，因此塑料在国民经济中占据越来越重要的地位。

§ 1-3 塑料的组成和分类

一、塑料的组成

塑料按其成分不同可分为单组分和多组分的塑料。单组分的塑料基本上以树脂为主，有的加入少量的助剂（着色剂等），如有机玻璃、聚苯乙烯等；多组分的塑料除树脂外，还加入填充剂、增塑剂、稳定剂、着色剂、润滑剂等助剂，如酚醛塑料粉、聚氯乙烯等。

可见，一般塑料是由树脂和各种助剂组成的。尽管树脂在塑料中起决定性作用，但也不能忽视助剂的重要影响。例如，酚醛塑料粉中若无填充剂，聚氯乙烯中若无稳定剂，硝化纤维素中若无增塑剂等，就不能作为塑料，而且也无法进行成型加工。

一般说来，多组分的塑料成分如下：

（一）树脂

树脂是塑料中主要的必不可少的成分，它使塑料具有可塑性和流动性。树脂的主要作用是将塑料的其它组分粘合起来，并决定塑料的类型（热塑性的或热固性的）和主要性能（如物理、化学、机械及电性能等）。

塑料中的树脂主要是合成树脂，其次是纤维素酯（醚），很少用天然树脂（如松香、虫胶、沥青等）。

（二）填充剂

填充剂又称填料，是塑料中的另一重要的但并非必要的成分。在许多情况下填充剂所起的作用并不亚于树脂，正确地选择填充剂可以改进塑料的性能和扩大它的使用范围。例如，酚醛树脂中加入木粉后，既克服了它的脆性，又降低了它的成本。聚乙烯、聚氯乙烯等树脂中加入钙质填料后，便成为十分价廉的具有足够刚性和耐热性的钙塑料。尼龙、聚甲醛等树脂中加入二硫化钼、石墨、聚四氟乙烯后，使塑料的耐磨性、耐热性、硬度及机械强度等得到全面的改进。采用玻璃纤维作为塑料的填充剂，能

使塑料的机械强度大幅度地提高。有的填充剂还可以使塑料具有树脂所没有的性能。如导电性、导磁性、导热性等。

填充剂按其化学性能可分为无机的和有机的，按其形状可分为粉状的、纤维状的和层状的。粉状填料有木粉、纸浆、硅藻土、大理石粉、石英粉、滑石粉、云母粉、石棉粉、高岭土、石墨粉、金属粉等，纤维状填料有棉纤维、亚麻、石棉纤维、玻璃纤维、碳纤维、硼纤维、金属须等；层状填料有纸张、棉布、麻布、石棉布、玻璃纤维布、木片等。

(三) 增塑剂

有些树脂（如硝化纤维、醋酸纤维、聚氯乙烯等）的可塑性很小，柔软性也很差，为了降低树脂的熔融温度和熔融粘度、改善其成型加工性能，改进制品的柔软性、弹性以及其它各种必要的性能，通常加入能与树脂相溶的不易挥发的高沸点有机化合物，这类物质称为增塑剂。

加有增塑剂固然可以使塑料的工艺性能和使用性能均得到改善，但也降低了塑料的某些性能，如硬度、抗拉强度、耐热性等。

增塑剂通常是一种高沸点的液体或低熔点的固体。如樟脑、磷酸三苯酯、磷酸三甲酚酯、邻苯二甲酸二丁酯、邻苯二甲酸二辛酯、癸二酸二丁酯、癸二酸二辛酯等。由于树脂类型不同，所用增塑剂也不同，如硝化纤维塑料中一般加入樟脑或磷酸三苯酯，聚氯乙烯中使用的增塑剂为数很多，其中又以邻苯二甲酸酯类用得最多。

(四) 着色剂

关于着色剂的详细内容将在第六章中介绍，此处从略。

(五) 稳定剂

凡能阻缓塑料变质的物质即称为稳定剂。在塑料中加入稳定剂是为了防止或抑制树脂因受外界因素（光、热、氧和霉菌等）作用所引起的破坏。稳定剂主要包括以下三类：

1. 光稳定剂 它包括紫外线吸收剂、光屏蔽剂等。其主要

作用是抑制和防止树脂发生光化降解，如 2-羟基-4-甲氧基二苯甲酮、水杨酸苯酯等。聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚碳酸酯等塑料中常加入光稳定剂。

2. 热稳定剂 它的作用是不但能抑制树脂在加工过程中的受热降解，使成型加工顺利进行，同时还能防止或延缓制品在使用过程中受光、热、氧作用而引起的分解，增加其使用寿命。例如，聚氯乙烯在加热时，产生分解现象，放出氯化氢气体，这种气体对聚氯乙烯的继续分解又起催化作用，促使其进一步分解，最后造成树脂的分子结构破坏。为了防止这种破坏，需要加入热稳定剂。

常用的热稳定剂有二盐基性硫酸铅、硬脂酸钡、硬脂酸铅等。

3. 抗氧剂（包括金属离子钝化剂）许多树脂在制造、贮存、加工和使用过程中都会因氧化而加速降解，从而使塑料的性能恶化。加入抗氧剂的目的就是为了抑制或延缓氧化速度。抗氧剂按其作用机理分为主抗氧剂（游离基抑制剂）和辅抗氧剂（氢过氧化物分解剂）。易于氧化而采用抗氧剂的塑料有聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯、聚甲醛、ABS等。

（六）润滑剂

为提高塑料熔体的流动性，减少或避免对模具或设备的摩擦和粘附，以及改进制品表面质量等而加入的一类助剂称为润滑剂。

常用热塑性塑料需要加入润滑剂的有聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、醋酸纤维塑料、尼龙、聚氯乙烯、ABS等。常用的润滑剂有硬脂酸及其盐类、石蜡等。

当然，塑料的成分远不止上述几种，还有发泡剂、阻燃剂、防静电剂、驱除剂、偶联剂、交联剂、固化剂等。

二、塑料的分类

目前，已正式投产的塑料品种有 300 多种，但主要的只有 50~60 种。塑料的分类方法很多，但分类不完善和不确切。按塑

料中合成树脂的制造方法可分为聚合塑料和缩聚塑料；按塑料的应用状况可分为通用塑料、工程塑料、耐高温塑料和特殊用途塑料；按塑料的电绝缘性能可分为低频塑料和高频塑料；也可按填料的形状而将塑料分为粉（粒）状塑料、纤维状塑料和层状塑料。

比较科学的分类方法是根据塑料中合成树脂的分子结构及其特性，将塑料分成两大类。

（一）热塑性塑料

这类塑料中的合成树脂都是线型或支链型高聚物，因而受热变软，甚至成为可流动的稳定粘稠液体，在此状态时具有可塑性，可塑成一定形状的制品，冷却后保持既得的形状，如再加热又可变软塑制成另一形状，如此可以反复进行多次，在这一过程中一般只有物理变化，而无化学变化，因此其变化过程是可逆的。

这类塑料在品种、产量和质量上发展都非常迅速，它已成为塑料发展的重要方向。这类塑料具有成型工艺简单，性能比较优异，材料利用率高等优点，但它的缺点是耐热性低和刚性差。聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯、有机玻璃、聚丁烯（1）、聚4-甲基戊烯（1）、尼龙、聚甲醛、ABS、聚碳酸酯、聚砒、聚苯醚、聚苯硫醚、氯化聚醚、聚对苯二甲酸丁二酯、聚四氟乙烯、聚三氟氯乙烯等均属此类。

（二）热固性塑料

这类塑料中的合成树脂是体型高聚物，因而在加热之初，分子呈线型结构，具有可溶性和可塑性，可塑制成一定形状的制品；当继续加热时，分子呈网型结构，具有半溶性和半塑性；当温度达到一定程度后，树脂变成不溶和不熔的体型结构，使形状固定下来不再变化。如再加热，也不软化，不再具有可塑性。在这一变化过程中既有物理变化，又有化学变化，因此其变化过程是不可逆的。

这类塑料无论在品种、产量和质量方面的发展都不如热塑性

塑料，且成型工艺比较复杂，成型效率不高，材料利用率较低。但其成本较低，制品的耐热性及刚性都较好。酚醛塑料、氨基塑料、环氧塑料、有机硅塑料、硅酮塑料、不饱和聚酯塑料、聚邻(间)苯二甲酸二丙烯酸酯等均属此类。

§ 1-4 塑料的工艺性能

任何一种塑料，只有将它成型加工成为一定形状的制品后才有使用价值。制品性能的优劣，除与所用塑料品种、结构和性能有关外，还与成型加工方法、工艺条件有关。因此，了解塑料的工艺性能，对于保证产品质量，提高劳动生产率，改善劳动条件，合理设计模具都具有十分重要的意义。

下面仅就热塑性塑料和热固性塑料的主要工艺性能加以说明。

一、热塑性塑料的物理状态

塑料按其结晶性能可分为结晶性塑料和非结晶性(无定形)塑料两大类。对于结晶性塑料，在一般情况下，也不是一个完全的晶体，而是一个结晶区和非结晶区共存的体系，只是前者所占的比重比后者较大而已。无论是非结晶的塑料，还是可以结晶而没有结晶的塑料，或者已结晶的塑料中的非结晶部分，在不同的温度下，都存在着三种物理状态，即玻璃态、高弹态和粘流态，如图 1-1 所示。

图 1-1 所示的形变—温度曲线是根据对塑料试件施加一恒定的力并在恒定温度下保持恒定力的作用时间，然后测出试件在不

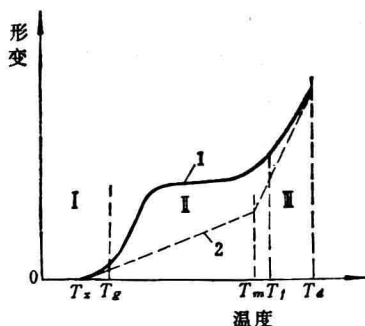


图1-1 热塑性塑料在恒定应力下的形变-温度曲线

- 1—非结晶性塑料的形变-温度曲线；
- 2—结晶性塑料的形变-温度曲线。