

SUOLIAD ZHUSHECHENGXING
YU MOJU

塑料注射成型 与模具

张如彦 王荣本 孙鸿宣 编译

中国铁道出版社

322.66

塑料注射成型与模具

张如彦 王荣本 孙鸿宣 编译

中国铁道出版社

1987年·北京

内 容 简 介

本书是以日本最近出版的有关热塑性塑料注射成型工艺及模具设计、模具加工方面的文章为主，并参考了其它有关的资料编写而成的。

全书共分五章。第一章主要介绍塑料的组成和分类；塑料注射成型的工艺条件。第二章介绍注射成型制件的一般设计原则及各种工程塑料成型工艺对模具的要求。第三章详细叙述了注射成型模具的设计程序及设计要点。第四章较详细介绍了模具的加工技术。第五章分析了注射成型缺陷及其对策。书中附有大量图、表、数据资料和应用实例。

塑料注射成型与模具

张如彦 王荣本 孙鸿宣 编译

中国铁道出版社出版

责任编辑 宋黎明 封面设计 翟 达

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092毫米1/16 印张：13 字数：310千

1987年4月 第1版 第1次印刷

印数：0001—8,500册 定价：2.45元

前 言

作为当今世界新型合成材料的工程塑料，由于其具有一系列的优异性能和明显的经济效益，所以应用领域日益广泛，甚至出现了金属零件塑料化的趋势。

为了成型高质量的塑料制件，就必须提供高精度、高寿命、高效率的塑料成型模具。可以说，优秀的模具设计和制造是促使金属零件塑料化的一个关键问题。

日本的塑料工业居世界领先地位，在塑料成型和模具设计、制造方面也具有相当丰富的经验。为了学习和借鉴这方面的经验，我们根据日本1982年6月出版的《プレス技術》增刊号为主，并参考了其他有关资料编写成此书。可望对我国从事塑料成型工艺、塑料模具设计、制作及使用的工程技术人员有所裨益。

本书在编译过程中，得到铁道部通号公司梅崇德总工程师、马云洪高级工程师的热情支持，在此表示感谢。由于编者水平所限，书中错误和不妥之处在所难免，希望广大读者批评指正。

编 者

1985年10日

目 录

第一章 概 述	(1)
第一节 金属零件的塑料化.....	(1)
第二节 塑料的组成和分类.....	(1)
第三节 塑料的注射成型.....	(3)
第二章 塑料注射成型制件设计与成型工艺	(8)
第一节 注射成型制件设计的一般原则.....	(8)
第二节 各种塑料的成型性.....	(13)
第三章 塑料注射成型模具设计	(35)
第一节 注射成型模具的设计程序.....	(35)
第二节 模具设计与注射成型机.....	(40)
第三节 模具强度计算.....	(43)
第四节 浇注系统设计.....	(48)
第五节 抽芯脱模机构.....	(77)
第六节 顶出机构.....	(91)
第七节 注射模具温度控制系统.....	(110)
第八节 模具夹固机构.....	(130)
第九节 合模导向机构.....	(134)
第十节 排气孔道.....	(138)
第十一节 精密成型制件的尺寸公差标准.....	(140)
第十二节 成型制件精度与模具精度.....	(145)
第十三节 精密模具设计基础及设计要点.....	(148)
第四章 模具加工技术	(157)
第一节 模具的机械加工和特殊加工.....	(157)
第二节 模具钢与热处理.....	(162)
第三节 模具钢与表面处理——电镀与蚀刻加工.....	(171)
第四节 模具的精加工与组装.....	(177)
第五节 模具材料的选择.....	(180)
第五章 成型缺陷及其对策	(186)
附录一 常用塑料名称的缩写符号	(200)
附录二 塑料名称对照表	(201)

第一章 概 述

第一节 金属零件的塑料化

合成树脂、合成纤维、合成橡胶是当今世界新发展起来的三大合成材料。它们是二十世纪材料工业的重要支柱。

塑料，顾名思义是一种可塑成型材料，是以合成树脂为主要成分的高分子有机化合物。它在一定的温度和压力条件下，可以塑制成具有一定形状的制件，当外力解除后，在常温下仍然能使形状保持不变。

塑料工业是新兴的目前仍处于迅速发展之中的工业。从一九〇九年世界上首次工业化生产酚醛树脂开始，至今也只有七十多年的历史。当前使用的塑料的主要品种都是本世纪三十年代以后相继发展起来的，常见塑料工业化出现时期如表 1-1 所示。塑料工业的历史虽然不长，但发展速度是相当快的，世界塑料的产量约四、五年就翻一番，如国外塑料总产量一九六〇年为640万吨，一九七〇年就发展到3000万吨，十年时间翻了两番，一九八二年世界树脂总产量达到了6283万吨。

由于塑料在性能上具有质量轻、强度好、耐腐蚀、绝缘性好、易着色、制件可加工成任意形状、且具有生产效率高、价格低廉等优点，所以应用领域日益广泛。进入七十年代以来，塑料的应用涉及到国民经济和人民生活的各个方面，如机电、仪表、机械制造、汽车、家用电器、化工、医疗卫生，以及兵器、航空、航天和原子能等工业中，塑料已经成为金属的良好代用材料，出现了金属零件塑料化的趋势。

材料和能源是发展国民经济的两大支柱，材料工业的发展和能源是密切相关的。工程塑料比金属能耗低，有些工程塑料的独特性能远远胜过金属。与相同重量金属所消耗的能量相比，如塑料所消耗的能量为1，则铝是6.6，铜为4.7，马口铁为4.3，钢为3.4。据美国统计，汽车上应用塑料后，每辆汽车减重180公斤，这样每升汽油可多行驶400多米，美国每年由此可节约1400万桶汽油。

工程塑料由于具有优良的性能和明显的经济效益，不仅节约了大量的金属材料，而且在改善产品性能、延长使用寿命、提高生产率、降低成本、节省能源和消除污染等方面起了一定的作用。随着应用范围的扩大，与金属材料竞争越来越激烈，正以比钢铁材料高两倍的迅速发展，可以预料，当进入二十一世纪的时候，人类将跨入塑料时代。

第二节 塑料的组成和分类

塑料有两个特点：第一个特点是在一定温度下具有可塑性；第二个特点是它的全部或主要成分都是高分子的合成树脂。合成树脂约占塑料总重量的40~100%。塑料的基本性能主要取决于树脂的本性，因此，塑料的组成可分为简单组分和复杂组分两类。简单组分的塑料，基本上是由合成树脂组成，其中仅加入少量辅助材料，这一类塑料主要有聚苯乙烯

表 1-1

常见塑料工业化出现时期

发现年分	工业化年分	塑 料 名 称
1888	1868	硝酸纤维素
1872	1909	酚醛塑料
1912	1929	聚醋酸乙烯
1918	1929	脲醛塑料
1880	1931	聚丙烯酸甲酯
1872	1936	聚氯乙烯
1928	1936	聚乙烯醇缩醛
1932	1936	聚甲基丙烯酸甲酯
1869	1938	聚苯乙烯
1935	1938	聚酰胺66
1938	1939	高压聚乙烯
1935	1939	三聚氰胺树脂
1937	1941	不饱和聚酯树脂
1938	1943	聚四氟乙烯
1934	1947	环氧树脂
1898	1948	聚丙烯腈
	1948	ABS树脂
1941	1953	聚对苯二甲酸乙二醇酯
1947	1953	聚氨酯泡沫塑料
1952	1954	低压聚乙烯
1954	1957	聚丙烯
1956	1958	聚碳酸酯
1926	1959	聚甲醛
	1962	乙丙塑料
1964	1965	聚苯醚
	1965	聚 醚

(PS)、聚乙烯(PE)、聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)等;也有的塑料除树脂外不加任何添加剂,如聚四氟乙烯(PTFE)。复杂组分的塑料,则由多种组分所组成,除树脂外,还加入填料、增塑剂、色料、稳定剂、润滑剂、促进剂等,这一类主要有聚氯乙烯(PVC)、酚醛塑料(PF)等。

塑料是个庞大的家族,分支多,分类方法也很多。最常用的分类方法是根据合成树脂在受热后所表现的性能不同来划分,一般分为热塑性塑料和热固性塑料两大类。这两类塑料的性质是由其结构决定的,如果合成树脂分子结构是线型或支链型的,就属于热塑性塑料;若是网状的,就属于热固性塑料。

线型或支链型大分子链比较容易活动，受热时分子间可以互相移动，具有较好的塑性，固化成型后如再加热又可变软，如此可反复进行多次；这种特性的树脂或塑料叫热塑性树脂或热塑性塑料。而网状结构的合成树脂，加热初期具有一定的可塑性，软化后可制成各种形状的制品，但是过一段时间，随着网状交联的逐渐形成，便会固化而失去塑性，冷却后再加热也不会再软化，再受高热即被分解破坏，这叫做热固性树脂或称热固性塑料。

常见的热塑性塑料有聚乙烯、聚丙烯（PP）、聚苯乙烯、聚氯乙烯、丙烯腈-丙烯酸酯-苯乙烯（ABS）、有机玻璃（聚甲基丙烯酸酯）、聚甲醛（POM）、聚酰胺（PA）（尼龙）、聚碳酸酯（PC）、苯乙烯-丙烯腈（SAN）等。这类塑料的优点是成型工艺简单，具有相当高的物理和机械性能，并能反复回炉，但缺点是耐热性和刚性较差。

常见的热固性塑料有酚醛树脂、环氧树脂（EP）、氨基树脂、醇酸树脂、烯丙基树脂、尿醛树脂、三聚氰胺树脂、不饱和聚酯、硅树脂、聚氨酯甲酸酯（PUR）等。这类塑料的成型工艺较麻烦，不利于连续生产和提高生产率，而且不能复制利用。但一般具有较高的耐热性和受压不易变形的特点。

另外，若按塑料的用途分类，又可分为通用塑料和工程塑料两大类。

通用塑料，一般指产量大，用途广，价格低廉的一类塑料，它包括聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、酚醛、氨基等六大品种。

工程塑料，一般指机械强度高，可代替金属而用作工程材料的塑料，如制作机械零件、电子仪器仪表、信息设备结构件等。这类塑料包括聚苯醚（PPO）、ABS、尼龙、聚甲醛、聚砜（PSF）、聚对二甲苯、聚苯并咪唑（PBI）、聚酰亚胺（PI）等。

通用塑料和工程塑料的划分范围并不很严格，如ABS是一种主要的工程塑料，但由于其产量大，所以也可划入通用塑料；聚丙烯是典型的通用塑料，而增强的聚丙烯因其有工程塑料的某些特性，故可划入工程塑料的范围。

工程塑料又可分为“通用工程塑料”和“特种工程塑料”。一般把产量大的工程塑料称为“通用工程塑料”，如尼龙、聚碳酸酯、聚甲醛、改性聚苯醚、聚苯并咪唑（PBT）及其改性产品等，通常所说的工程塑料一般指这一部分。把生产数量少、价格昂贵、性能优异，可做结构材料或特殊用途的塑料称为“特种工程塑料”，如聚砜、聚酰亚胺、聚苯硫醚、聚醚砜、聚芳酯、聚酰胺酰亚胺、热塑性氟塑料、芳香族聚酰胺、聚苯酯、聚四氟乙烯，以及交联型聚氨酯双马来酰亚胺、聚三嗪（BT树脂）、交联型聚酰亚胺酰亚胺、耐热环氧等。

第三节 塑料的注射成型

塑料的成型方法有注射、挤压、吹塑、发泡膨胀、压缩、压延、浇注、热成型等，其中应用最广泛的是压延、挤压和注射成型三种。

注射成型在塑料制件成型中占有很大比重，注射模塑制品约占塑料制品总量的20~30%，世界上注射模具产量约占塑料成型模具总产量的50%。

注射成型的简单过程：将粒状或粉状塑料经注射机的料斗加到加热的料筒内，塑料受热熔融，在注射机的螺杆或活塞的压力推动下，经喷嘴进入模具型腔，塑料充满型腔，经冷却硬化定型，脱模后而得到具有一定形状的塑件。

注射成型法的优点主要是可以制造各种结构复杂、尺寸精密，或者带有金属嵌件的成型制件；对各种塑料的成型适应性强；成型周期短，可多腔成型，生产效率高；易于实现自动

化或半自动化连续生产等。注射成型是用于热塑性塑料成型的一种重要方法。近年来也成功地用于某些热固性塑料的成型。

用于注射成型的通用塑料，主要是聚苯乙烯类（包括接枝聚合型聚苯乙烯、耐冲击聚苯乙烯和苯乙烯-丁二烯）、聚乙烯、聚丙烯、ABS四种。这四种塑料目前约占全部注射成型塑料的80%以上，其中前三种约占70%。

前三种通用塑料由于不需要预先干燥，成型时的流动性都较好，所以采用任何一种成型机床都可成型。ABS塑料属于高强度塑料，在注射成型前需要预先干燥，而且成型时的流动性也稍差。

上述四种通用塑料的性质如表1—2所示。其成型条件如表1—3所示。

注射成型工程塑料的成型条件如表1—4所示，其性质如表1—5所示。工程塑料在成型工艺及成型过程中，有些塑料有一定的特殊要求，现分别说明如下。

表 1-2 注射成型通用塑料的性质

	密 度 (kg/m ³)	拉伸强度 ¹⁾ (Pa)	拉伸弹性模量 (Pa)	冲击韧性 (缺口) (N·m/ cm ²)	热变形温度 ²⁾		透明度	缺点
					45Pa (°C)	182Pa (°C)		
聚苯乙烯 PS	1.04~1.065	(3332~5978) × 10 ⁴	(2744~3430) × 10 ⁶	12~22	—	67~99	透明	易划伤 不得超过 100°C
耐冲击聚苯乙烯 HIPS	1.04~1.06	(1372~4900) × 10 ⁴	(2058~3430) × 10 ⁶	25~150	—	69~98	半透明	不得超过 100°C
低密度聚乙烯 LDPE	0.91~0.925	(686~1568) × 10 ⁴	(98~245) × 10 ⁶	—	41~49	—	半透明	成型收缩率大 粘结困难
高密度聚乙烯 HDPE	0.941~0.96	(1764~4116) × 10 ⁴	(392~980) × 10 ⁶	60~120	60~82	43~52	半透明	成型收缩率大 粘结困难
聚丙烯 PP	0.90~0.96	(2646~3920) × 10 ⁴	(882~1372) × 10 ⁶	30~100	95~130	53~68	半透明	成型收缩率大 粘结困难
丙烯腈丁二烯 苯乙烯 ABS	1.02~1.07	(3234~5782) × 10 ⁴	(1568~2940) × 10 ⁶	30~470	—	80~118	半透明	

注：1) 对于HDPE和PP是屈服强度。

2) 按ASTM D648试验。

表 1-3 通用塑料的注射成型条件

	料筒温度 (°C)	注射压力 (Pa)	模具温度 (°C)	成型收缩率
聚苯乙烯(PS)	170~300	(49~196) × 10 ⁶	40~70	0.002~0.008
耐冲击聚苯乙烯(HIPS)	170~300	(49~196) × 10 ⁶	40~70	0.002~0.010
低密度聚乙烯(LDPE)	140~300	(29.4~98) × 10 ⁶	35~65	约0.03
高密度聚乙烯(HDPE)	150~300	(78.4~196) × 10 ⁶	50~70	0.02~0.03
聚丙烯(PP)	180~300	78.4~196 × 10 ⁶	40~80	0.01~0.025
丙烯腈丁二烯-苯乙烯 (ABS)	180~260	(49~196) × 10 ⁶	70~90	0.003~0.008

一 成型前对原料的预处理

有些塑料因大分子含有亲水基团，容易吸湿，如果不经干燥就注射成型，往往会在制品

表 1-4

主要工程塑料的成型条件

	料筒温度 (°C)	注射压力 (Pa)	成形收缩率	注意事项
PVC(硬)	150~190	$(980 \sim 2254) \times 10^5$	0.001~0.004	过热分解(不得超过200°C)
PVC(软)	150~190	$(588 \sim 1764) \times 10^5$	0.010~0.050	过热分解(不得超过200°C)
SAN	170~230	$(686 \sim 1930) \times 10^5$	0.002~0.006	
PMMA	180~260	$(686 \sim 1470) \times 10^5$	0.002~0.008	
EVA	120~220	$(294 \sim 1470) \times 10^5$	0.007~0.020	有时过热分解
POM	180~230	$(686 \sim 1470) \times 10^5$	0.015~0.035	过热分解(200°C就分解)
PAb	220~260	$(686 \sim 1764) \times 10^5$	0.006~0.020	注意预先干燥、吸水性大
PC	280~320	$(980 \sim 2254) \times 10^5$	0.005~0.008	需特别当心预先干燥。
CA	170~235	$(588 \sim 2254) \times 10^5$	0.002~0.007	吸水性大
PS(FRTP)	170~300	$(784 \sim 2254) \times 10^5$	0.001~0.005	
SAN(FRTP)	180~300	$(784 \sim 2254) \times 10^5$	0.001~0.003	
PC(FRTP)	285~340	$(980 \sim 2254) \times 10^5$	0.0005~0.003	需特别当心预先干燥
PET(FRTP)	275~295	$(784 \sim 2254) \times 10^5$	0.002~0.009	注意模具温度(70°C以下或130°C以上)

表 1-5

主要注射成型工程塑料的性质

	密度 (kg/m ³)	拉伸强度 (Pa)	拉伸弹性模量 (Pa)	冲击韧性 (缺口) (N.m/cm ²)	热变形温度 ¹⁾		透明度
					45Pa (°C)	182Pa (°C)	
PVC(硬)	1.30~1.45	$(343 \sim 588) \times 10^5$	$(2352 \sim 4116) \times 10^6$	22~60	—	54~74	透明或不透明
PVC(软)	1.16~1.35	$(88.2 \sim 245) \times 10^5$	—	—	—	—	透明或不透明
SAN	1.06~1.08	$(686 \sim 823.2) \times 10^5$	$(2744 \sim 3920) \times 10^6$	15~33	—	88~105	透明
PMMA	1.18~1.19	$(539 \sim 744.8) \times 10^5$	$(2548 \sim 3136) \times 10^6$	14~30	—	7°~102	完全透明
EVA	0.93~0.95	$(107.8 \sim 186.2) \times 10^5$	$(98 \sim 1764) \times 10^6$	—	—	—	半透明
POM	1.41~1.425	$(548.8 \sim 833) \times 10^5$	$(2744 \sim 2450) \times 10^6$	55~76	—	110~129	半透明
PAb	1.12~1.15	$(490 \sim 833) \times 10^5$	$(784 \sim 980) \times 10^6$	200~900	—	55~75	半透明
PC	1.19~1.20	$(588 \sim 686) \times 10^5$	$(1764 \sim 2540) \times 10^6$	750~1000	—	130~14°	半透明
CA	1.23~1.34	$(196 \sim 490) \times 10^5$	$(882 \sim 2540) \times 10^6$	22~28	45~65	—	透明
PS(FRTP)	1.20~1.33	$(686 \sim 1078) \times 10^5$	$(7546 \sim 8330) \times 10^6$	约5	—	约96	—
SAN(FRTP)	1.22~1.35	$(1127 \sim 14°1) \times 10^5$	$(6370 \sim 12°50) \times 10^6$	55~65	—	100~104	—
PC(FRTP)	1.24~1.52	$(980 \sim 1372) \times 10^5$	$(8232 \sim 12740) \times 10^6$	190~270	—	146~157	—
PET(FRTP)	约1.6	$(13°3 \sim 1421) \times 10^5$	$(882 \sim 8800) \times 10^6$	125~1355	—	235~242	—

注：1)按ASTM D648试验。

表面出现银丝、斑纹和气泡等缺陷。另外，有些塑料本身并不吸湿，而添加剂是吸湿性物质，这样的塑料，也需要进行预干燥。

各种塑料的干燥方法，应根据塑料性能和具体条件进行选择（注射成型塑料的吸水率示于表1—6中）。对于单纯是吸湿的塑料，如SAN、PMMA、ABS、PVC等可用热风干燥器，或者料斗干燥器在75~85°C时进行干燥；对于吸水率高的聚酰胺（尼龙）要采用真空烘箱干燥；聚碳酸酯吸水率虽然较小，但只要有少许水分就会造成水解，水解后分子量下降，使成型制件变得很脆，因此应在温度120°C时干燥10小时以上。为了防止聚碳酸酯在料斗内吸湿，需要采用料斗干燥器或红外线加热器进一步防止吸潮。

二、料筒的清洗

当注射成型因故中止，或者需要改变产品、更换原料时，都需要对料筒进行清洗。

表 1-6

注射成型塑料的吸水率 (ASTMD570, 厚3.18mm, 24h)

0~0.01%	聚乙烯 (PE) 聚丙烯 (PP)
0.01~0.05%	聚苯乙烯 (PS)
0.05~0.5%	耐冲击聚苯乙烯 (HIPS)、聚氯乙烯 (PVC)、苯乙烯-丙烯腈 (SAN)、 ABS、聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA)、聚碳酸酯 (PC)、聚甲醛 (POM)
0.5%以上	尼龙 (PA) 醋酸纤维素 (CA)

有些热敏性物料,当注射中止时,由于长时间停留在成型温度或者过热,则很容易造成分解。如聚氯乙烯、聚甲醛、乙烯-醋酸乙烯共聚物都是热敏性物料。特别是硬质聚氯乙烯的成型温度与分解温度很接近,超过了热持续时间会造成脱氯分解,生成的氯化氢又作为触媒,促使聚氯乙烯进一步加速分解。因此,即使采用不易发生过热的变量螺杆注射机,当成型中断时,也必须清洗料筒。

聚甲醛的热分解虽然不像聚氯乙烯那样剧烈,但是,当在成型温度下停留时间过长时,也会分解出具有强烈刺激性气味的甲醛,还会使产品出现黑色斑痕。曾经发生过由于聚甲醛分解而从喷嘴飞溅出来的现象,所以不能采用逆止环与瓣膜式喷嘴并用的方式成型。

乙烯-醋酸乙烯共聚物的热分解虽然没有上述二者那样强烈,但是热分解生成的醋酸会使注射机和模具发生锈蚀。因此,在成型中断时,最好用聚乙烯清洗料筒。

成型中断间歇时需要清洗料筒的塑料还有聚碳酸酯和尼龙,除了防止过热之外,还需注意清洗和净化螺杆与料筒。清洗注射聚碳酸酯的螺杆应在未凉之前进行,否则硬料粘在螺杆上就难以清除了。尼龙在高温时粘度低,但是冷却后呈薄膜状粘在螺杆和料筒上,清洗就比较困难。

三、 模具温度的控制

模具温度对制件的性能和表面质量有很大的影响,不同的塑料有不同的模温要求。

非结晶性塑料熔体充填模后,由于不发生相变,模温主要决定于熔料的粘度,对于熔料粘度较低的,采用低模温注射,可以缩短冷却时间,提高生产效率。但是对于熔料粘度较高的应该采用高模温注射成型,例如聚碳酸酯、聚苯醚、聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PETP) 等,由于流动性差,所以需要模具升温到80~130°C。一般说来,为使制件光泽好,熔接痕迹浅,没有波纹,采用高模温成型较好。因此提高模温可以使制件的冷却速率均匀一致,防止制件因温差过大而产生内应力,造成凹痕和裂纹等缺陷。

结晶性塑料结晶的速率决定于冷却的速率,而冷却速率又决定于模温的控制。模具温度高时冷却速率小,结晶速率变大,有利于分子的松弛过程,分子取向效应小。如果模温太高,会延长成型周期和使产品发脆,也是不利的。模具温度低时,冷却速率大,熔料的流动与结晶同步进行,由于熔料在结晶温度区间停留时间缩短,不利于晶体的生长,造成产品的分子结晶程度较低。因此,对于不同塑料所需要的模具温度,通常需要实验确定。

四、 结晶性塑料

结晶度高的塑料如聚乙烯、聚丙烯、聚甲醛、聚酰胺、聚对苯二甲酸乙二醇酯等。结晶性塑料与非结晶性塑料的注射成型工艺条件是有区别的。非结晶性塑料只要升温即达到软化

状态,就可使之成型;而结晶性塑料,首先升温达到结晶熔点,使晶体变成非晶体,再进一步升温才能达到软化状态,方可成型。

结晶性塑料的成型有如下特点。

(一)由于使结晶熔解需要一定的热量,所以使塑料达到成型温度就需要更多的热量。因此一般需要塑化能力大的注射机(参照图1-1)。

(二)注射后冷凝硬化时,同样需要散发出较多的热量(参照表1-7),因此为使模具完全冷却,一般需要较长的冷却时间。

(三)由于硬化状态时的密度与熔融状态时的密度有很大差异,所以成型收缩率大,往往会造成缩孔和孔洞。

(四)高分子聚合物注射成型时,熔料在模腔中的流动速率以模腔中心为最大,腔壁处为零。如为圆管,则截面上各点的速度分布呈扁平的抛物线体。这种流动状态下的聚合物分子顺着流动方向作平行的排列,把这种排列称为定向作用。分子定向是流动速度梯度诱导而成的。当流动停止时,分子定向又会被分子热运动所摧毁,即受注塑过程中温度变化的影响。总之,在塑件中各点上分子定向的差异是流体的运动过程和模腔中的温度变化这两方面对立

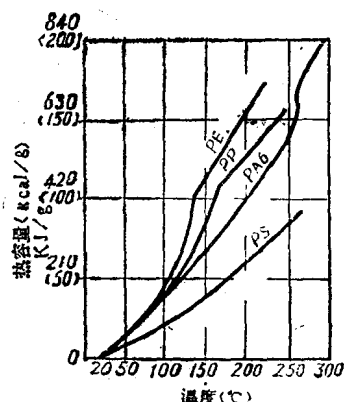


图 1-1 热塑性塑料的热容量

表 1-7 注射成型时冷却应排除的热量

		应排除的热量 (J/g)
结晶性	低密度聚乙烯 LDPE	615
	高密度聚乙烯 HDPE	648
	尼龙 6 PA 6	627
非结晶性	聚苯乙烯 PS	393
	耐冲击聚苯乙烯 HIPS	393

效应的总结果。由于分子的定向作用,显然在分子顺着流动方向上的机械强度总是大于其垂直方向上的机械强度,即直向大于横向上的。加之收缩率也是直向大于横向上的。这两种因素迭加起来,就容易造成制件的翘曲或开裂。

(五)冷却速率的变化,使结晶度产生变化。结晶度低,则密度减小,成型收缩率减少,而透明度提高;反之,结晶度高,则密度增大,成型收缩率增大,而透明度降低,甚至变得不透明。总之,缓冷可提高结晶度,急冷则降低结晶度,因此,控制模具温度是十分重要的。另一方面,结晶度也随壁厚发生变化,因为冷却速率必然也受到壁厚的影响,因此这也是造成制件局部收缩率不同和透明度不一致的原因之一。

由于结晶性塑料的特点是分子的定向排列,而影响分子定向排列的因素是多方面的,是复杂的,甚至有些是互相牵制的。因此,欲得到合格的制件,必须严格选择合适的工艺条件,比如注塑模具温度、型腔深度、注射压力、浇口位置、形状、尺寸等。

第二章 塑料注射成型制件 设计与成型工艺

第一节 注射成型制件设计的一般原则

塑料成型制件主要是根据使用要求进行设计。既要考虑到塑料的物理机械性能及其成型工艺特点,又要尽可能地做到简化模具结构。为获得合理的成型制件,设计时要注意考虑如下几个方面的一般原则。

一、分型面位置

为了从模具中取出成型制件而必须分型,但往往在分型处产生“飞边”或“分割线”。确定分型面的位置应注意以下几点:(1)设在不明显的位置或形状处;(2)设在没有凹割的地方;(3)设在易精加工的位置;(4)应考虑浇口的位置及形状。

图2-1表示的是由于接头两端有凹割而采用的纵向分型面。图2-2表示的是复杂的分型面。图2-3是将分型面设在便于精加工位置的示例,其中图(a)因波纹直通到分型面上,若产生毛刺是很难清除的。

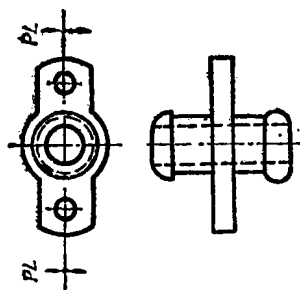


图 2-1 纵向分型面

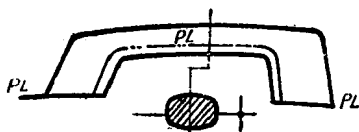


图2-2 复杂分型面

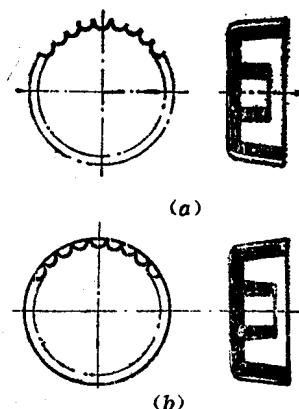


图 2-3 外缘有波纹的成型制件的分型面

二、拔模斜度大小

为了使成型件易于从模具内脱出,必须有拔模斜度。拔模斜度随制件形状、塑料种类、模具结构、表面精加工程度、精加工方向等而异。一般情况下,拔模斜度取 $1/30 \sim 1/60$ ($2^\circ \sim 1^\circ$)较适宜,实际工作中采用的最小拔模斜度为 $1/120$ ($1/2^\circ$)。拔模斜度的选取,往往采用经验数据。如果在允许范围内取较大值,可使顶出更加容易,所以应尽可能采取较大的拔模斜度。

下面列举几种实例。

(一)箱或盖

在图2-4中, $H \leq 50\text{mm}$ 时,

$$S/H = 1/35 \sim 1/30$$

$H \geq 100\text{mm}$ 时

$$S/H = 1/60 \text{ 以下}$$

对于带有蚀刻花纹的制件, 当蚀刻深度每增加0.02mm, 拔模斜度必须相应增加1°。

(二)格子

在图2-5中,

$$\frac{0.5(A-B)}{H} = \frac{1}{12} \sim \frac{1}{14}$$

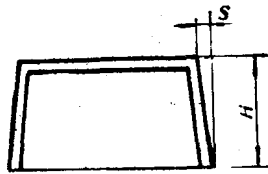


图 2-4 箱或盖

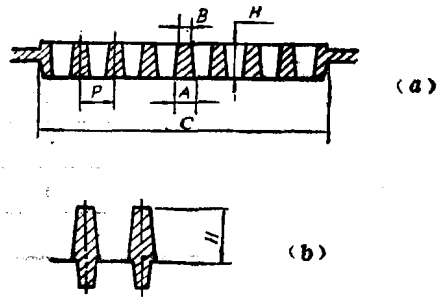


图 2-5 格子

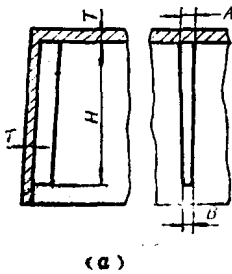
但是, 在下列情况下可以适当地改变拔模斜度:

1. 格子节距 (P) 在4mm以上时, 拔模斜度可取1/10左右;
2. 格子尺寸 (C) 越大, 拔模斜度可取大些;
3. 格子的高度 (H) 超过8mm时, 或者属于2.的情况而拔模斜度取值不大时, 如图2-5(b)所示, 为了使格子部分确实保留在型芯一侧, 必须装设一个深度为 $H/2$ 以下的格子状物体。

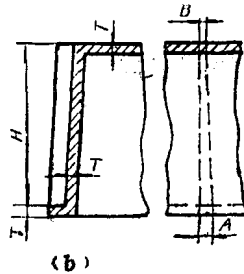
(三)竖筋和底筋

筋广泛用于补强, 竖筋的脱模斜度一般根据侧壁和底厚来决定, 最多使用的拔模斜度为:

$$\frac{0.5(A-B)}{H} = \frac{1}{500} \sim \frac{1}{200}$$



(a)



(b)

图 2-6 竖筋

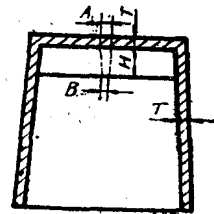


图 2-7 底筋

图2-6(a)表示设在内侧壁的竖筋, (b)表示设在外侧壁的竖筋。

$$A = (0.5 \sim 0.7) T$$

胎筋如图2-7所示,常采用的拔模斜度为:

$$\frac{0.5(A-B)}{H} = \frac{1}{150} \sim \frac{1}{100}$$

$$A = (0.5 \sim 0.7) T$$

当允许竖筋和底筋产生少许气孔时,可采用下式:

$$A = (0.8 \sim 1.0) T$$

B的尺寸受加工上的限制,当B在1.0~1.8mm以下时,往往加工是困难的。

φ3自攻螺孔的有关尺寸

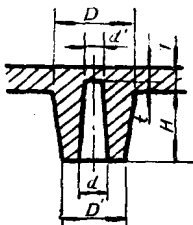
	T	2.5~3.0		3.5
	D	7	7	8
	D'	6	6.5	7
	t	T/2 或取 1.0~1.5		
	d	2.6		
	d'	2.3		

图 2-8

(四) 轮毂

图2-8表示成型自攻螺孔的拔模斜度以及φ3自攻螺孔的有关尺寸。高度H在30mm以下为好。

$$\frac{0.5(D-D')}{H} = \frac{1}{50} \sim \frac{1}{30}$$

对高度(H)在30mm以上,又必须保证强度的轮毂,如图2-9所示,其拔模斜度为:

$$\text{定模} \quad \frac{0.5(d-d')}{H} = \frac{1}{50} \sim \frac{1}{30}$$

$$\text{动模} \quad \frac{0.5(D-D')}{H} = \frac{1}{30} \sim \frac{1}{20}$$

定模部分的拔模斜度要比动模部分取得大一些。

三、壁厚要求

壁厚原则上应均匀。

表2-1表明各种塑料相对壁厚(t)可填充的长度(L)范围。表2-2为通常采用的壁厚范围。

确定壁厚时应考虑下列因素:

- (一)结构强度;
- (二)脱模时的刚性;
- (三)能均匀地分散冲击力;
- (四)防止嵌件部位的开裂(由于成型塑料与金属的热膨胀差异造成收缩时的开裂);
- (五)孔、窗口、嵌件处产生熔接痕迹的补强;

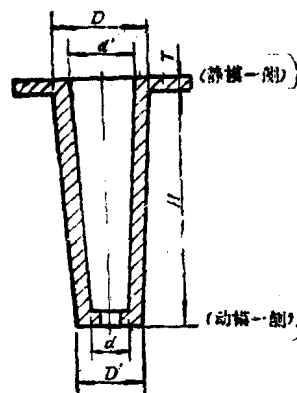


图 2-9 高度在30mm以上的轮毂

表 2-1 L/t与注射压力的关系

塑 料	L/t	注射压力 (Pa)
硬聚氯乙烯 (PVC)	160~120	1176×10^5
	140~100	882×10^5
	110~70	686×10^5
软聚氯乙烯 (PVC)	280~200	882×10^5
	240~160	686×10^5
聚碳酸酯 (PC)	150~120	1176×10^5
	130~90	882×10^5
聚酰胺 (尼龙) (PA)	320~200	882×10^5
聚苯乙烯 (PS)	300~260	882×10^5
聚乙烯 (PE)	240~200	686×10^5
聚丙烯 (PP)	140~100	490×10^5

表 2-2 通常采用的壁厚范围

塑 料	壁厚 mm
聚乙烯 (PE)	0.9~4.0
聚丙烯 (PP)	0.6~3.5
聚酰胺 (尼龙) (PA)	0.6~3.0
聚甲醛 (POM)	1.5~5.0
聚苯乙烯 (通用) 和 苯乙烯-丙烯腈	1.0~4.0
丙烯酸类	1.5~5.0
硬聚氯乙烯 (PVC)	1.5~5.0
醋酸纤维素 (CA)	1.0~4.0
丙烯腈-丁二烯-苯乙烯 (ABS)	1.5~4.5
聚碳酸酯 (PC)	1.5~5.0

(六)防止薄壁处的烧伤及变黑;

(七)防止厚壁处的缩孔;

(八)防止刃口状部位和薄壁部位的填充不足。

四、防止变形措施

(一)在转角处加圆角 R

为了使熔料易于流动和避免应力集中,应在转角处加设圆角 R。

图2-10表示 R/T 与应力集中之间的关系。

图2-11表明在转角处设置圆角 R 的方法,在图(a)的情况下,由于转角处的壁厚增加了 1/3,所以必须象图(b)那样,使转角处内侧 R 和外侧 R 成为同心的。

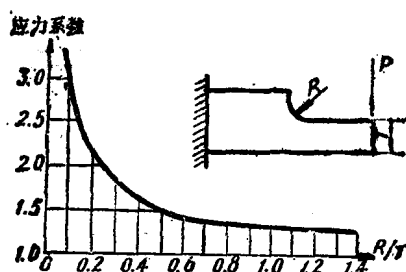


图 2-10 R/T与应力集中的关系

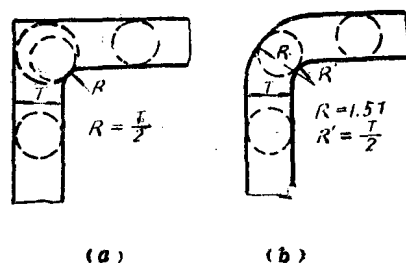


图 2-11 圆角 R

(二)设置加强筋

设置加强筋不仅可增加强度,而且有改善熔料流动性、防止制件变形的作用。就筋的效果而言,增添加强筋的数目比增加其高度更为有效。

图2-12(a)所示的筋根部的内切圆,使壁厚增加了50%,并且产生缩孔;而图2-12(b)所示的筋根部的内切圆,壁厚的增加不超过20%,而且不发生缩孔。一般情况下,筋厚应取壁厚的50%,不得超过壁厚的75~80%以上。

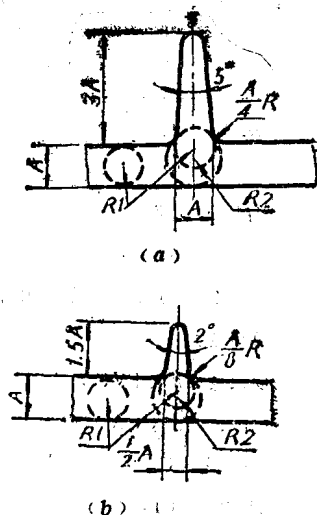


图2-12 加强筋

(b))、底部周缘设R〔如(c)〕，以分散应力。

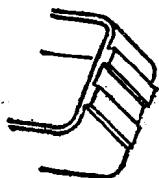


图 2-13 加厚侧壁(带状)

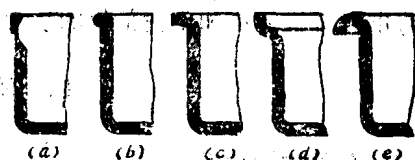


图 2-14 加厚边缘

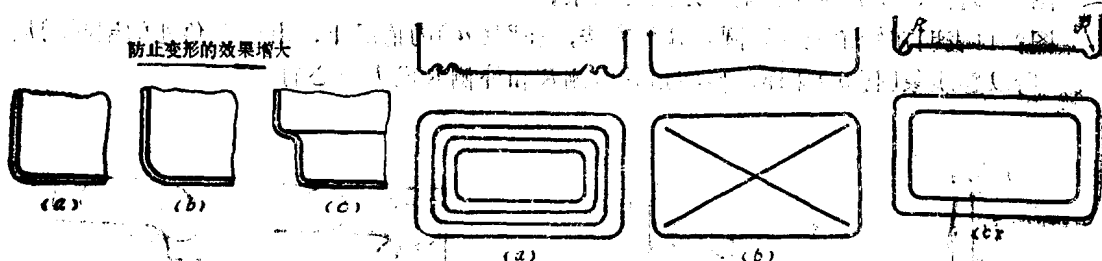


图 2-15 加强底部周边

图 2-16 改变底部形状

五、孔 的 要 求

一般情况下，孔的周边易产生熔接痕迹，同时降低了强度，因此必须注意以下各点。

(一)孔间距应为孔径的2倍以上，如图2-17所示。

(二)孔的周边应增加壁厚，如图2-18和图2-19所示。

(三)孔与制件边缘之间的距离最好为孔径的3倍以上，如图2-20所示。

(四)与树脂的流动方向垂直的盲孔，孔径在 $\phi 1.5\text{mm}$ 以下时，为防止型芯可能弯曲，孔的深度以不超过孔径的2倍为好。

(五)用型芯对接成型的孔，上下孔有可能偏心，可将任一侧的孔取稍大些。如图2-21所示。