

注塑模设计

● 张克惠 编著



0.66

西北工业大学出版社

注 塑 模 设 计

张克惠 编著

西北工业大学出版社

1995年1月 西安

(陕)新登字 009 号

【内容简介】本书共八章。第一章介绍塑料基本特性、塑件结构和工艺性设计。第二章介绍注塑模总体结构设计。第三章介绍浇注系统设计、浇口设计和选取原则。第四章介绍注塑模零部件设计,成型尺寸计算,强度、刚度设计。第五章介绍脱模机构和脱模元件设计、螺纹塑件脱模设计。第六章介绍侧向分型与抽芯机构设计。第七章介绍热固性注塑模、结构泡沫注塑模、反应注塑模设计。第八章介绍无流道注塑模设计及其发展动向。各章均附有大量图表、数据,并列有适当的设计计算实例。

本书可供塑料成型、模具设计专业研究和设计人员参考,也可供大专院校师生教学参考。

注 塑 模 设 计

张克惠 编著

责任编辑 刘 红

责任校对 樊 力

*

© 1995 西北工业大学出版社出版发行

(710072 西安市友谊西路 127 号 电话 5269046)

陕西省新华书店经销

西北工业大学出版社印刷厂印装

ISBN 7-5612-0677-1/TG·31

*

开本 787×1092 毫米 1/16 印张 19.875 字数 480 千字

1995 年 1 月第 1 版

1995 年 1 月第 1 次印刷

印数:1-5000 册

定价:14.80 元

购买本社出版的图书,如有缺页、错页的,本社发行部负责调换。

前 言

多年来从事科研、教学、设计和调研等实践活动,促使作者想编写一本专述注塑模设计的书。这样的书,不仅应系统介绍注塑模总体结构和各个组成部分的设计思路和原则,提供大量有用的设计资料数据和常用机构的图解说明,同时应尽可能介绍新颖实用内容,并提供实际设计中的科学计算方法,反映常规设计方面的最新成就和水平,使常规设计从仅凭经验设计变为科学设计。为了广大设计人员应用方便,有关计算公式中的参数数据,应尽可能列成可供直接查用的表格。总之,应为从事注塑模设计和注塑制品生产的广大工程技术人员提供一本科学而实用的工具书。

考虑到现有从事注塑模设计的技术人员中,有数量颇多的人具有较丰富的机械设计和加工方面的知识,但却期望着增进对塑料材料知识的了解,因此本书第一章首先以极简短的篇幅概括介绍了塑料材料有别于金属的基本特性。在该章介绍塑件结构和工艺性设计的内容中,写出了对注塑过程一些极重要工艺现象的分析介绍,例如“取向和结晶”、“熔接缝”、“形状和尺寸稳定性”、“内应力”、“收缩和后收缩”等,力求说明这些现象与塑件质量的密切关系和对模具设计的重要性。

注塑模是塑料模中应用最广、类型最多、结构最复杂的一种。近10余年来,CAE(包括CAD和CAM)在注塑模设计和注塑制品生产中应用日益广泛,技术日臻成熟,使这一极复杂问题的解决科学化,大大提高了设计质量和效率,改善了塑件质量。但CAE的应用并不意味着可以削弱或代替对常规设计知识的了解,相反,只有熟悉塑料材料知识和通晓常规设计的人,才能更好掌握和应用CAE技术,在注塑模设计和注塑制品生产中创造出光辉业绩。

适逢航空工业总公司模具研究人才培训中心之托,使作者有机会汇集整理多年收集的資料和作者本人潜心研究的结果,并广泛吸收他人研究成果,写成本书,实现作者的夙愿。

在本书编写和出版过程中,曾得到西北工业大学林德宽教授、荆长生教授,黄河机电股份有限公司方庆堂高级工程师的赐教与支持,在此表示诚挚的谢意。

作者衷心感谢西北工业大学出版社的鼎力相助,使本书与读者见面。

编写《注塑模设计》是作者的一个尝试,但限于学识水平,定会出现缺点或错误,诚望阅及本书的人们批评指正,作者深表谢忱。

作 者

1994年3月

目 录

第一章 塑件结构和工艺性设计.....	1
1-1 结构和工艺性设计的基本依据.....	1
1-1-1 塑料材料特点	1
1-1-2 注塑过程特点	10
1-2 结构和工艺性设计	11
1-2-1 塑件形状	11
1-2-2 脱模斜度	13
1-2-3 壁厚及壁厚均匀性	14
1-2-4 加强筋和其它加强方法	15
1-2-5 支承面和凸台	17
1-2-6 圆角和沟槽	18
1-2-7 孔	19
1-2-8 螺 纹	23
1-2-9 嵌 件	23
1-2-10 凸凹纹	28
1-2-11 标记、符号、图案、文字	28
1-2-12 挂模槽	29
1-2-13 流动长度和流动长度比	29
1-2-14 收缩和后收缩	30
1-2-15 取向和结晶	31
1-2-16 内应力	32
1-2-17 尺寸和形状稳定性	32
1-2-18 熔接缝	33
1-2-19 外观质量和表面装饰	33
1-2-20 尺寸精度和表面粗糙度	34
第二章 注塑模总体结构设计	38
2-1 注塑模的基本类型和典型结构	38
2-1-1 注塑模的基本类型	38
2-1-2 注塑模典型结构	43
2-2 注塑模与注塑机的关系	45
2-2-1 对注塑机主要工艺参数的校核	45

2-2-2	对注塑机有关安装尺寸的校核	47
2-2-3	开模行程和顶出装置校核	47
2-2-4	注塑模安装固定方法	49
2-3	国产注塑机的主要技术规范	50
第三章	浇注系统设计	64
3-1	塑料熔体流动特性	64
3-1-1	层流和紊流	64
3-1-2	牛顿流体和非牛顿流体	65
3-1-3	剪应力和剪切速率	66
3-1-4	粘度、表观粘度	68
3-2	成型过程中模腔内参数分析	68
3-2-1	腔内压力周期和压力—温度图	69
3-2-2	$P-V-T$ 关系和塑件质量	70
3-2-3	模具打开的合理条件	71
3-3	浇注系统的组成和作用	72
3-3-1	浇注系统的作用	72
3-3-2	浇注系统的组成	72
3-4	浇注系统设计的基本考虑	74
3-4-1	主流道设计	74
3-4-2	分流道设计	75
3-4-3	浇口	78
3-4-4	多型腔模具的浇注系统流动平衡	79
3-4-5	流动凸耳——控制塑件质量的简易方法	81
3-4-6	冷料井与拉料杆合理匹配	82
3-5	浇注系统断面尺寸定量计算简易方法	84
3-5-1	方法依据	84
3-5-2	计算方法	85
3-6	注塑模常用浇口形式及适用范围	86
3-6-1	侧浇口	86
3-6-2	重叠式浇口	87
3-6-3	点浇口	88
3-6-4	潜伏式浇口	89
3-6-5	扇形浇口	90
3-6-6	平缝形浇口	91
3-6-7	盘形浇口	92
3-6-8	环形浇口	92
3-6-9	辐射形浇口	93
3-6-10	爪形浇口	93

3-6-11 凸耳形浇口	93
3-6-12 隙浇口	95
3-6-13 直接浇口	95
3-6-14 多重浇口	96
3-6-15 多级浇口	96
3-7 浇口类型和开设位置选择原则	97
3-7-1 浇口类型选择原则	97
3-7-2 浇口位置选择原则	99
第四章 注塑模零部件设计	106
4-1 分型面选择原则	106
4-1-1 塑件脱模方便	106
4-1-2 模具结构简单	107
4-1-3 型腔排气顺利	107
4-1-4 确保塑件质量	107
4-1-5 无损塑件外观	108
4-1-6 合理利用设备	108
4-2 排气槽设计计算	109
4-2-1 排气槽截面面积计算	110
4-2-2 排气槽厚度	111
4-2-3 排气槽位置和结构	111
4-3 成型零部件结构设计	112
4-3-1 凹模设计	112
4-3-2 型芯设计	115
4-3-3 螺纹成型零件结构设计及固定方法	117
4-4 对合导向机构零部件设计	119
4-4-1 导柱对合导向机构	119
4-4-2 锥面对合导向机构	124
4-5 其它结构零部件设计	125
4-5-1 支承块	125
4-5-2 动模支柱	126
4-5-3 动模垫板	127
4-6 注塑模成型零件工作尺寸计算	129
4-6-1 塑件尺寸偏差及影响因素	129
4-6-2 计算成型零件工作尺寸的基本关系式	129
4-6-3 型腔和型芯径向尺寸计算	130
4-6-4 型腔深度和型芯高度尺寸计算	133
4-6-5 中心距尺寸计算	136
4-6-6 孔或凸台中心线到型腔侧表面距离尺寸计算	138

4-6-7	孔或凸台中心线到主型芯侧表面距离尺寸计算	139
4-6-8	尺寸计算小结及举例	140
4-6-9	螺纹成型零件工作尺寸计算	146
4-7	模具成型零件强度和刚度设计计算	148
4-7-1	壁厚的强度和刚度设计依据	148
4-7-2	组合式圆形型腔壁厚计算	150
4-7-3	整体式圆形型腔壁厚计算	152
4-7-4	组合式矩形型腔壁厚计算	154
4-7-5	整体式矩形型腔壁厚计算	156
4-7-6	动模垫板厚度计算	159

第五章 脱模机构设计..... 163

5-1	基本考虑和要求	163
5-2	一级脱模机构	163
5-2-1	顶杆机构	163
5-2-2	顶管机构	168
5-2-3	推块机构	169
5-2-4	脱件板机构	169
5-2-5	拉板机构	172
5-2-6	脱模元件联合脱模	172
5-2-7	嵌件的安放与脱模	174
5-3	二级脱模机构	177
5-3-1	摆块拉板二级脱模	178
5-3-2	U形限制架摆杆二级脱模	178
5-3-3	滚动钢球二级脱模	178
5-3-4	浮动型芯二级脱模	179
5-3-5	弹开式二级脱模	179
5-3-6	滑块式超前二级脱模	180
5-3-7	阶梯形顶杆二级脱模	182
5-3-8	连杆式二级脱模	182
5-3-9	弹顶式二级脱模	182
5-3-10	八字摆杆超前二级脱模	182
5-3-11	拉钩摆动二级脱模	182
5-4	定模脱模机构	186
5-4-1	拉钩脱件板定模顶出	187
5-4-2	弹簧脱件板定模顶出	187
5-4-3	杠杆作用定模顶出	188
5-5	浇注系统凝料脱模	189
5-5-1	弹簧脱料板脱出	189

5-5-2	拉料杆脱料板脱出	189
5-5-3	斜凹窝拉下并脱出	189
5-6	脱模阻力计算	191
5-6-1	情况分析	191
5-6-2	塑件从主型芯上脱下时的阻力	192
5-7	脱模元件尺寸校核和计算	196
5-7-1	顶杆直径校核	196
5-7-2	脱件板厚度计算	197
5-7-3	受剪圆柱销直径计算	199
5-8	螺纹塑件脱模机构设计	199
5-8-1	螺纹塑件脱模对塑件的要求	199
5-8-2	螺纹塑件脱模方式	199
5-8-3	脱下螺纹塑件所需扭矩和功率计算	204
第六章	侧向分型与抽芯机构设计	210
6-1	基本考虑和要求	210
6-1-1	基本功能要求	210
6-1-2	抽拔力和抽芯距	210
6-2	斜导柱抽芯机构	211
6-2-1	完成抽芯所需斜导柱长度和开模距	211
6-2-2	斜导柱机构受力分析及斜导柱直径计算	215
6-2-3	压紧楔块设计	219
6-2-4	其它有关设计问题	221
6-2-5	斜导柱机构的几种工作形式	223
6-3	斜滑块抽芯机构	231
6-3-1	工作形式	231
6-3-2	受力分析及有关设计问题	231
6-4	顶出抽芯机构	234
6-4-1	斜顶杆顶出抽芯	235
6-4-2	顶杆平移式抽芯	235
6-5	弯销抽芯机构	236
6-6	弯槽滑板抽芯机构	237
6-7	斜槽抽芯机构	238
6-8	齿轮齿条抽芯机构	239
6-9	液压抽芯	240
6-10	其它抽芯机构	242
6-10-1	斜导柱顶杆联合抽芯	243
6-10-2	压杆滚珠弹簧联合抽芯	244
6-10-3	顶出后侧向取件抽芯	245

6-10-4 活络块式模外抽芯	245
第七章 热固性注塑、结构泡沫注塑、反应注塑模设计	247
7-1 热固性注塑及模具设计	247
7-1-1 热固性注塑成型特点	247
7-1-2 热固性注塑模设计要点	250
7-1-3 热固性塑料的灌封件成型	259
7-2 结构泡沫注塑及模具设计	261
7-2-1 结构泡沫制品结构及特性	261
7-2-2 结构泡沫注塑方法	261
7-2-3 模具设计要点	265
7-3 反应注塑及模具设计	266
7-3-1 反应注塑过程及特点	266
7-3-2 模具设计要点	270
第八章 无流道注塑模设计	273
8-1 无流道模具的经济意义及主要类型	273
8-1-1 无流道模具的经济意义	273
8-1-2 无流道模具的主要类型	274
8-2 延伸式喷嘴注塑模	274
8-3 绝热流道注塑模	276
8-3-1 井式喷嘴模具	276
8-3-2 多腔绝热流道模具	278
8-3-3 绝热流道模具优点及局限性	280
8-4 热流道板多腔注塑模	280
8-4-1 流道板设计	280
8-4-2 热流道喷嘴设计	284
8-5 阀式浇口	289
8-6 无流道模具的发展近况	291
8-6-1 均温和控温	291
8-6-2 浇口区控制方法和流道喷嘴改进	293
8-6-3 成型热敏塑料和氟塑料的热流道装置进展	293
附录 常用塑料物理力学主要性能参数表	296
主要参考文献	307

第一章 塑件结构和工艺性设计

塑料制品的类型很多,随生产工艺方法不同,产品类型也就各异。例如用压制成型、压铸成型、注塑成型,可以得到各种形状和尺寸的塑料制品,用挤出成型可得到各种断面形状 of 连续型材,如管、棒、片、薄板,带材和各种异形材等,用挤出吹塑可制得薄膜,用挤出或注射中空吹塑可制得各种瓶、罐、桶等中空容器,用压延成型可得到薄膜、板材和人造革等。用压制、压铸、注塑成型所得到的塑料制品,都是在封闭的模腔中成型的,称为塑料制件,简称塑件,以区别于其它形式的塑料制品。注塑成型所得到的塑件称注塑件。因为本书所研究的是注塑模设计,故本章主要涉及到注塑件。

要成功地生产出一个能满足预定要求的塑件,必须从材料选择、产品设计、模具设计、成型工艺四方面加以保证、缺一不可。正确选取适宜的塑料材料是成功的前提,产品设计和模具设计是成功的关键,合理的成型条件(包括成型设备和工艺参数)是成功的保证。这四方面因素紧密联系,相互影响和制约,但以模具设计和产品设计关系最为密切。从事模具设计的技术人员,必须具备必要的产品设计知识,这不仅可保证模具设计的合理,也可以对不合理的产品设计提出修改意见,保证产品生产过程的顺利进行。从事塑件生产各个环节的技术人员,都必须了解塑料材料的有关知识,从而提高分析问题的能力。因此,把对塑件结构和工艺性设计的简短讨论作为注塑模设计的必备知识,同时也对塑料材料的基本性能特点作一个简短、概括的介绍。

1-1 结构和工艺性设计的基本依据

欲用某种材料生产某一用途的产品,首先必须了解对产品的使用要求和材料对产品使用条件和环境的响应特性,也要考虑材料成型加工为产品的加工特性。产品设计的主要工作是选取适宜的材料和设计出能起到要求功能的产品几何结构。注塑件的合理设计应该以深刻了解塑料材料及其注塑过程为基础。

1-1-1 塑料材料特点

(一) 化学组成和分子结构特点

塑料是一类有机高分子材料,它的基本成分是通常称为树脂的高聚物,或称高分子化合物、聚合物,是塑料的主体材料。高聚物是由称为单体的低分子化合物用聚合方法或缩聚方法制得的。聚合方法是用含有不饱和键的单体通过不饱和键的打开形成高聚物,反应过程中无低分子副产物析出。缩聚方法是用含有具有反应能力的某种官能基的单体,通过官能基之间的反应形成高聚物,反应过程中有低分子产物析出。用聚合反应制得的高聚物如聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、聚甲醛、有机玻璃(聚甲基丙烯酸甲酯)等。用缩聚反应制得的高聚物如酚醛树脂、环氧树脂、聚酯树脂、尼龙(聚酰胺)等。无论由聚合或缩聚反应所得到的高聚物,都是单体之间通过共价键形成的大分子化合物。

根据需要，树脂中可加入称为助剂的其它成分，成为塑料配料，以改善或调节性能。常用的助剂有增强剂、增塑剂、热稳定剂、抗氧剂、光稳定剂、着色剂，交联剂（用于热固性塑料）、阻燃剂、润滑剂，泡沫塑料则加有发泡剂。不是每种塑料中都加有上述所有助剂，而是根据塑料的预定用途和主体材料树脂的基本性能有选择地加入某种或某几种助剂，也有不加助剂而以纯树脂形式使用的塑料。

主体材料树脂是高聚物，其分子量具有两个特点，一是很大，二是具有多分散性。高聚物的分子是很长的链状结构，称为分子链，犹如一条很长的链条由无数个链环组成一样，每个链环是一个结构单元。树脂分子链中每个链环就是合成树脂时所用的单体，称为链节。单体重复单元数量可从数百个到数十万个，称为聚合度。因此树脂分子量比一般低分子物质要大得多，可从数万到数百万，甚至更大，例如超高分子量聚乙烯的分子量可达千万数量级。由于树脂在聚合或缩聚过程中受各种复杂因素的影响，造成无数个单个分子的分子量（或聚合度）不可能完全相同，而是有很大差别，称为分子量的多分散性。因此，树脂分子量的大小总是用平均分子量表示。树脂中分子量大小差别的程度称为分子量的分散度。树脂平均分子量大小（以下简称分子量）和分子量的分散度大小对塑料的许多性能，如拉伸、冲击、弹性、流变等性能都有重大影响。常常有这种情况：即某种塑料，其树脂的平均分子量相同，但分子量分散度不同，性能上就会有明显差别。

塑料按受热时的行为分为热塑性塑料和热固性塑料两大类。热塑性塑料受热时软化，进而熔融流动，冷却时变硬，重新加热时又可软化熔融，如此反复。热固性塑料只有在第一次加热时可以熔融流动，但加热达一定温度时会产生化学反应，其主体材料树脂分子链上所存留的官能基之间反应，缩聚放出低分子物，从而分子链之间形成化学键，成为网状结构或三度的体形结构，这种反应称为固化反应。固化反应使分子链失去了活动性，材料也变为坚硬的固体，重新加热时再不会变软。热固性塑料成型为制品的过程，就是固化反应的过程。热塑性塑料则不同，受热时软化熔融和冷却变硬的过程只是物理状态的改变，无上述化学变化的产生，因此各分子链之间不会形成化学键而变为网状或体形结构，只能形成线型结构，或形成带支链或带侧基的线型结构。酚醛塑料、环氧塑料、不饱和聚酯等塑料都是热固性塑料。聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚苯乙烯、尼龙、聚甲醛、聚苯醚、聚砒、聚碳酸酯等都是热塑性塑料。

无论热塑性塑料或热固性塑料，其主体材料树脂的主链骨架大都是C—C链，有些树脂的

C—C主链上含有一O—键（醚键）， $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ -\text{S}- \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$ （砒基）、碳酸酯基— $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{O}-\text{R}-\text{C}- \\ \parallel \\ \text{O} \end{array}$ —，苯环

——，酰胺基—NHCO—，或其它基团。由于不同树脂主链结构不同，或含有不同侧基（或侧原子），使各种塑料的性能产生很大差别。加之以不同树脂为基础的不同塑料，可按不同要求加入不同类型和数量的助剂，就使得塑料的品种规格出现了多样性，性能之间有较大差别。

由于树脂的分子结构很复杂，必然带来分子运动的复杂性和多重性。分子运动可以是侧基、链节（单体重复单元）、链段或整个大分子链的运动。这几种运动单元中，链段运动和整个分子链的运动对塑料的力学性能和物理性能起决定性作用。

树脂的分子结构决定了分子运动的多重性，但分子运动的程度和规模却受外部条件——温度的影响。随着温度的变化，塑料表现出三种不同的力学状态：玻璃态、高弹态、粘流态，是其中树脂分子的链段和整个链随温度升高而依次被活化的结果。当温度较低时，分子的能量很低，链段、整链的运动都被冻结。只有侧基和单体重复单元（即链节）的运动，原子间的键角也可以有微小的改变，这些运动都可以瞬时完成。处在这种状态的树脂称为玻璃态，具有与一般固体（如金属）相似的弹性性质，服从胡克定律。这种弹性性质称为普弹性。处在玻璃态的树脂的模量一般在 $2.8 \sim 4.9 \times 10^3$ MPa 之间。随温度升高，分子的链段运动被活化，表现在模量明显减小，约降低两个数量级，可出现较大变形，但由于大分子链之间的缠结，整个分子链仍不能运动（滑移）。处在这种状态的树脂称为高弹态。高弹态树脂的变形仍是弹性变形，仍可恢复，但变形和变形的恢复都不是瞬时完成，而是滞后于外力的作用。当温度进一步上升，分子链间的缠结可以解开，整个分子链可相对滑移，表现为粘流态。在由玻璃态向高弹态转变和由高弹态向粘流态的转变中，都会出现温度范围约 $20 \sim 30^\circ\text{C}$ 的转变区，相应地具有两个特征性转变温度——玻璃化温度 T_g 和粘流温度 T_f 。

按塑料中树脂大分子链的相互堆砌和排列状态的不同，塑料有结晶型塑料和无定形塑料之分。由分子链无序排列组成的聚集体为非晶态，这样的塑料称为无定形塑料。分子链彼此整齐排列为有序状态，称为晶态，这样的塑料称为结晶型塑料。但绝大多数结晶型塑料，实际上只是半结晶型塑料，因为树脂大分子链的有序程度会有很大差别，可以是三维有序、二维有序、或仅分子链方向的一维有序，同一分子链的部分链段可能处于有序状态（处于晶粒之中），其余链段又处于无序状态，呈现出晶区和非晶区并存和结晶程度的颇大差别。

树脂的分子链在外力作用下（如剪切流动），又会有不同方式（单轴或多轴）和不同程度的平行排列，称为取向。

结晶和取向是在塑件成型过程中形成的，其方式和程度与成型条件密切相关，并对塑件性能产生重大影响。结晶和取向只存在于具有线状结构的热塑性塑料中，不存在于网状或体形结构的热固性塑料中。

（二）力学性能特点

如上所述，塑料的基本成分是称为树脂的有机高聚物，因此与传统的结构材料金属相比，具有如下几个特点。

1. 强度和刚度的绝对值较小

塑料的强度和刚度的绝对数值都明显低于金属材料。例如碳钢拉伸强度高限可达 1 296 MPa，高强钢可达 1 862 MPa，铝合金为 165~627 MPa。一般作为结构材料的金属，拉伸强度高限在 165~2 000 MPa 之间。

塑料材料中，共聚甲醛拉伸强度可达 61 MPa，20%玻璃纤维增强的共聚甲醛可达 128 MPa，增强聚苯乙烯可达 69 MPa，均聚甲醛 69 MPa，尼龙 66 为 87 MPa，40%玻璃纤维增强的聚苯醚为 145 MPa。一般而言，塑料拉伸强度高限在 30~145 MPa 之间。

由上述比较可大体看到，塑料拉伸强度绝对值约比金属低一个数量级。金属弹性模量约在 $0.7 \sim 2.8 \times 10^5$ MPa 之间，如碳钢（硬化、锻造级）为 2.08×10^5 MPa，铝合金 $0.7 \sim 0.74 \times 10^5$ MPa。塑料弹性模量一般约在 $0.48 \sim 14 \times 10^3$ MPa 之间，如聚碳酸酯为 3.1×10^3 MPa，玻璃纤维增强 PET 为 1.44×10^3 MPa，某些塑料低于上述范围，如氟塑料为 0.05×10^3 MPa，另一些塑料高于上述范围。就绝大多数塑料而言，弹性模量平均低于金属两个数量级。

塑料的强度和刚度绝对数值虽明显低于金属,但由于密度小,强度或刚度与密度之比值,分别称为比强度和比刚度,却不一定低于金属,例如石墨/环氧增强塑料的比强度为 92,硼/环氧增强塑料为 72,而高强钢为 24.2。一般地说,塑料的比强度与金属的比强度在同一数量级,比刚度比之金属约低一个数量级。但某些塑料,如结构泡沫,因密度(平均)很低,其比刚度可以与金属媲美。某些加有高模量增强剂的增强塑料(复合材料)的比刚度亦可超过金属。

由于塑料强度和刚度数值比金属低,因此当将以传统的金属材料为材质的结构产品改用塑料时,结构上不能完全照搬金属件,而应适当增加壁厚,以增加承载能力,特别应注意采用加强筋或其它设计措施,增强塑料的抗变形能力,保证形状稳定性。模具设计时,也应充分考虑塑件承受顶出元件的作用情况,根据塑件几何结构和壁厚及材质,采用适宜的顶出元件形式和顶推面大小,并使顶出元件分布合理,防止因收缩包紧力过大,顶出元件设计不合理将塑件顶裂或顶变形等。

2. 硬度低

硬度是材料抗变形性能,特别是抗永久变形、耐压痕性和耐划伤性(表面)的能力的衡量。热塑性塑料的硬度值远低于金属,热固性塑料固化后的硬度高于热塑性塑料,低于作为模具材料的碳钢或合金钢,但可能相当于或高于有色金属。由于塑料硬度低,表面就容易被划伤,这对脱模机构也提出了要求,特别对表面质量要求高的光学塑件。对于收缩包紧到型芯上的内表面,必须采用充分的脱模斜度,减小脱模阻力,避免划伤。

塑料表面硬度虽低,但含有磨蚀性增强剂(如玻璃纤维、玻璃微珠)的塑料,特别是热固性塑料,却对金属模具材料具有磨蚀作用,磨蚀的主要部位是模具的浇注道(特别是浇口处),与脱模方向平行的型芯或型腔表面。因此,注塑成型带磨蚀性填料的塑料时,宜采用可以更换的浇口镶块,浇注系统和模具成型表面都应经过镀铬或硬化处理。

3. 应力应变特性

金属和某些传统的金属材料,在比较宽的载荷范围内,都表现出简单的弹性性质,服从胡克定律,应力应变成简单的直线关系。由于塑料是由无数链节组成的高分子材料,应力应变行为呈现更复杂的情况,只是在较小应力范围内才服从胡克定律。仍服从胡克定律的最大应力,称为比例限。超过比例限,应力继续增加,会产生较大的变形,应力解除后,变形仍可恢复,但不是立即恢复,需经过一段时间,故仍为弹性变形。应力应变曲线上与弹性变形相应的最大应力称为弹性限或屈服点。超过这一点,应力不再增大,应变会持续发展,称为屈服,试样上会出现“缩颈”现象,应变会发展到直至试样断裂。塑料的典型应力应变曲线如图 1-1 所示。图中曲线的 AC 部分为直线,服从胡克定律,C 点为比例限,与 AC 段相应的变形即为普弹变形。曲线的 CD 段是不服从胡克定律的弹性变形。为高弹变形(强迫高弹变

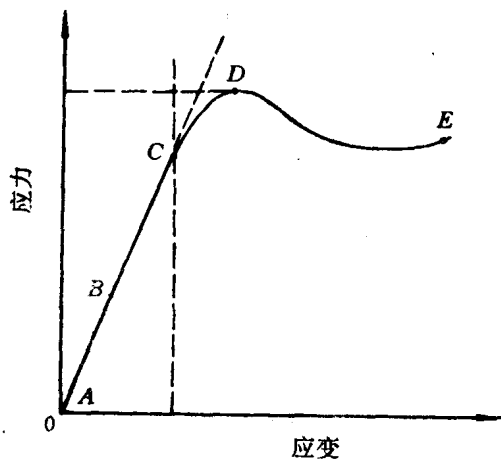


图 1-1 塑料典型应力应变曲线

形), D 点即为弹性限。 D 点以后是屈服段, E 点是试样的断裂点。已如前述, 普弹变形是在外力作用下原子间共价键的键角改变和单体重复单元(即链节)的运动, 可瞬时完成。 CD 段的高弹变形, 是外力增大到使大分子链卷曲的链段伸直, 应变滞后于应力。 D 点后的屈服是在外力作用下大分子链解缠, 相互间滑移, 或称粘性流动的结果, 是不可逆的塑性变形。

事实上, 应力应变曲线上三段所代表的三种变形并非分别单独产生, 而是彼此叠加在一起, 只不过分子链中原子间键角伸展和弯曲可瞬时发生, 分子链的伸直和卷曲比较慢, 整个大分子链的相对滑移就更慢罢了。

塑料在外力作用下表现出的这种兼有粘性和弹性的性能称为粘弹性, 是高分子材料的共同特性。

不同塑料的拉伸应力应变曲线在形状上可能会有很大差别, 表现出材料在硬软, 强韧或脆性方面的颇大差别, 大致可分为以下 5 种类型。

(1) 软而弱的材料, 特点是模量低, 屈服应力小, 断裂伸长率适中, 拉伸强度不高。聚四氟乙烯是这种材料的典型代表。

(2) 软而韧的材料, 特点是模量低, 屈服应力小, 但断裂伸长率很大, 拉伸强度也较高。聚乙烯是典型代表。

(3) 硬而脆的材料, 特点是模量高, 断裂伸长率很小, 断裂前可能仅有很小屈服或完全无屈服现象就断裂。通用酚醛和氨基塑料都属这种材料, 聚苯乙烯也属这种材料。

(4) 硬而韧的材料, 特点是模量高, 屈服应力大, 断裂伸长率和拉伸强度也高。聚碳酸酯为典型代表。

(5) 硬而强的材料, 特点是模量高, 屈服应力大, 一般地断裂强度也高, 但断裂伸长率较小。聚甲醛是这类材料的代表。

图 1-2 是上述五种类型材料的拉伸曲线示意。

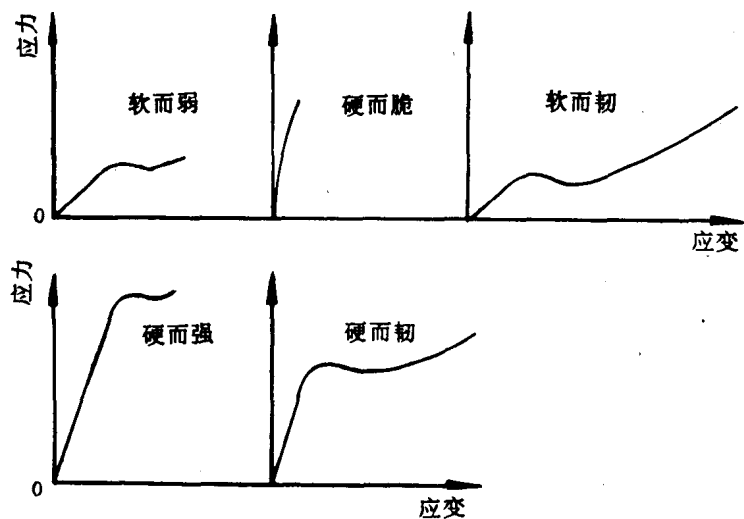


图 1-2 几种不同类型塑料的拉伸曲线

应力应变曲线以下的面积代表着外力作用于材料时所消耗的功, 是材料强韧性大小的衡量。设计塑件时应根据受载情况 and 应用要求选取适当的材料。

4. 蠕变和应力松弛

上述的应力应变曲线是在短时试验条件下取得的，只能表示塑料的短时受载行为。因为塑料是粘弹性材料，长时载荷作用下的行为与短时受载行为有明显差别。随塑料材料应用的日益广泛，设计人员愈来愈认识到对塑料长时受载行为充分了解的重要性。塑料长时间受载时的特征性行为就是蠕变行为。蠕变是指当塑料受到一个恒定载荷时，会迅速产生一个与上述应力应变曲线相应的应变值，然后随着时间的增长，应变会缓慢地持续增大，直至断裂或屈服破坏。所有塑料都会产生不同程度的蠕变。塑料蠕变的程度与塑料类型、载荷大小、载荷作用时间及温度有关。提高温度和延长时间都会使蠕变增大。塑料的蠕变提醒人们，对塑件进行设计时，在考虑塑件的设计应力或设计应变时，不能仅以瞬时测试的试验数据为依据，还必须考虑蠕变性能，同时应根据塑件的实际使用温度，考虑对蠕变的影响。

应力松弛是指在恒定应变条件下，塑料的应力会随着时间逐渐减小。使试样产生一个固定的变形，测定保持这一固定变形所需要的载荷，则会发现载荷随时间减小。

塑料的应力松弛行为也具有重要实际意义，但却常被设计人员所忽视。例如，作为螺纹紧固件的塑件，往往由于应力松弛使紧固力变小，甚至出现松脱现象，带螺纹的塑料瓶盖也会因应力松弛失去密封性，塑料扣锁连接件也会因应力松弛使扣锁力减小。这些用途中的塑件应选用应力松弛很小的塑料。

5. 疲劳破坏

塑料在受到弯曲、拉伸、压缩、扭转等重复或周期性载荷作用时会产生疲劳破坏。这种重复或周期性载荷会损害材料力学性能，引起裂纹，最终导致塑料完全破坏。材料的疲劳寿命定义为在规定的一组周期性应力下促使试样破坏所需要的变形次数。引起塑料破坏的周期性应力值远低于静态应力下的强度值。

疲劳寿命曲线，又称S-N曲线，是对大量试样在周期性应力作用下进行试验所获得的，每组试样都受不同应力水平的作用。在高应力水平下，材料达到破坏时所承受的应力周期次数较少，随应力降低，可承受的应力周期次数增多。材料能够无限次受载而实际上不破坏的应力称为材料的疲劳极限或疲劳强度。随应力减小，曲线变得渐近于某一水平线，这一水平线所相应的应力就是材料的疲劳强度。塑料疲劳寿命曲线如图1-3所示。

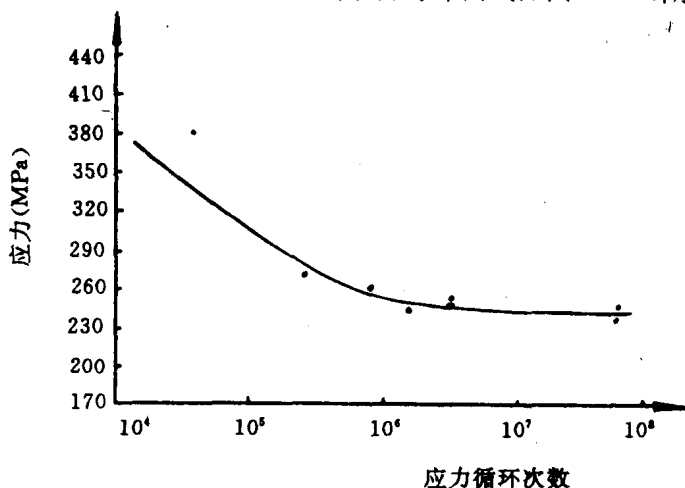


图1-3 塑料疲劳寿命曲线

对于大部分塑料,疲劳强度仅在材料静拉伸强度的 25~30% 之间。

塑料的疲劳性能在塑料齿轮、活页、连杆、管件,振动机械中的塑料零部件,以及承受周期性应力的压力容器中都十分重要。

塑料疲劳的根本原因是由于塑料是粘弹性材料,存在着较大的内摩擦作用。在周期性应力作用下,分子链的变形总是落后于应力,在周期性变形过程中,材料内部会产生大量摩擦热,塑料表面又不足以使产生的热迅速散失,引起材料温升,温升常常会使材料软化或熔融,或引起结晶型塑料内的再结晶导致相变,链折叠点的断链等。

6. 抗冲击性能

塑料的抗冲击性能与塑料的总体韧性密切相关,韧性标志着材料对外部施加能量吸收能力的大小。已如前述,应力应变曲线之下的面积大小可作为材料韧性的衡量。在工程技术中,材料韧性的衡量尺度是冲击强度。材料冲击强度愈高,则韧性愈好。材料冲击强度是材料在冲击性载荷作用下断裂时,试样单位截面或单位宽度所吸收能量的大小。

塑料内树脂分子链的柔顺性对材料冲击强度(即材料相对的韧性或脆性)起着重要作用。分子链柔顺,分子链容易解缠结并对外加载荷可迅速响应,则材料会表现出良好的韧性。分子链刚硬,对于迅速施加的载荷,分子链就不易解缠结并迅速响应,就会产生脆性破坏。

在冲击载荷作用下塑料材料所遇到的破坏,基本上有 4 种类型。

- (1) 脆性断裂。材料会大范围断裂而无屈服现象,会观察到突然破坏。
- (2) 轻度开裂。材料会轻度开裂并屈服,但试样或零件不会丧失其形状和整体性。
- (3) 屈服破坏。材料实际上只产生屈服,表现为明显变形和应力发白现象,但并无开裂。
- (4) 韧性破坏,这种破坏的特征是材料产生一定的屈服与开裂并存。

有些塑料,冲击破坏时可能会出现以上破坏形式的重叠现象。

塑料的冲击过程时间虽然很短,但却很复杂,影响因素很多。加载速率对冲击强度有重大影响。加载速率愈快,材料的冲击强度数值愈低,即材料表现出更低的韧性或变得更脆。在高速冲击下,即使是很韧性的材料也会表现出脆性。相反,在低速冲击下,刚硬而脆性的材料也可能会有良好的冲击强度。试样上带有缺口,会使材料冲击强度明显降低,因为缺口会产生局部应力集中。在缺口部位,材料处于三轴拉应力状态,不存在会引起材料流动和产生塑性变形的剪切力,因而降低了材料的韧性。冲击强度也与材料温度有密切关系,温度降低会增加材料的脆性,使冲击强度降低。相反,提高温度会改善材料韧性,提高冲击强度。塑件的成型条件对冲击强度也有影响,不同的成型条件会使塑件产生不同方式和不同程度的取向,因而会影响到塑件的冲击强度。因补料不足造成的塑件内部缩孔会成为应力集中因素。塑件中产生熔接缝,成型过程中使塑件夹杂入外来固体粒子等,都会明显降低塑件的抗冲击性能。

从塑料材料的分子结构方面而言,除分子链柔顺性对冲击强度有重大影响外,分子量大小和分子量分布以及结晶型塑料的结晶度对材料冲击性能都有影响。分子量增大,可使冲击强度提高。分子量相同的材料,分子量分散性较小时,冲击强度较高。结晶型塑料的结晶度愈高,使材料的脆性倾向增大。

(三) 热性能特点

塑料的热性能具有与力学性能同等重要的意义。首先应该指出,塑料与金属最明显的差别之一是性能对温度变化非常敏感。对于塑料,无论是力学性能、电性能、光学性能或耐化