

塑料件 的设计

· 徐佩弦 著 ·

SULIAOJIAN
DE SHEJI

 中国轻工业出版社

塑料件的设计

徐佩弦 著

 中国轻工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

塑料件的设计/徐佩弦著. —北京: 中国轻工业出版社, 2001. 6

ISBN 7-5019-3114-3

I. 塑… II. 徐… III. 塑料制品-设计
IV. TQ320

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 15042 号

NAV36/02

责任编辑: 赵红玉 责任终审: 劳国强 封面设计: 崔 云
版式设计: 刘 静 责任校对: 李 靖 责任监印: 胡 兵

*

出版发行: 中国轻工业出版社(北京东长安街 6 号, 邮编: 100740)

网 址: <http://www.chlip.com.cn>

联系电话: 010—65241695

印 刷: 三河市艺苑印刷厂

经 销: 各地新华书店

版 次: 2001 年 6 月第 1 版 2001 年 6 月第 1 次印刷

开 本: 787×1092 1/16 印张: 23.75

字 数: 549 千字 印数: 1—3000

书 号: ISBN 7-5019-3114-3/TQ·245

定 价: 42.00 元

·如发现图书残缺请直接与我社发行部联系调换·

内 容 提 要

本书就塑料制品的力学和连接设计,作深入和系统的阐述。较多地反映塑料件在工业流水线上的装配技术。为塑料件生产和使用的可靠性,提供了必须的设计原理、方法、数据和实例。

第1、2章阐述以本书涉及各种塑料件设计的力学原理和一般原则。第3章是从塑料加工方法阐明制品结构设计的工艺性;介绍加工工艺对制品设计的要求。第4章至第6章,叙述塑料件上的弹性卡夹、螺纹联接、活动铰链和压力装配的力学分析和计算方法;陈述有关超声波焊接、摩擦焊接、振动焊接、热板焊接、电磁焊接和粘接技术背景下的塑料制品设计方法。第7章至第10章,陈述常用的结构件、传动件、支承件、减振防冲件和密封件的设计方法和塑料的选用。

本书是各行业塑料制品设计和生产的工程技术人员的科技参考书。提供了塑料新制品开发所需的技术咨询。也可供有关高分子材料专业师生在教学中参考。

前 言

塑料应用于各行各业,是材料工业中发展速度最快的领域。无论是机械仪表或电子电器,还是建筑、轻工、包装和交通工具等,各行业的工程师都在设计、制造和应用塑料制品。塑料件以其独特的性能和经济性,以高效成型加工,在各种设备的零部件中的比例高,而且批量大。

塑料制品首先要满足各种装置和设备的工作要求和环境条件,而且应该是质量可靠,制造成本低。塑料制品生产是一项系统工程。塑料件的设计需要塑料材料及其配方、成型加工、成型模具和成型机械等全面的专业知识。塑料件的设计在此项系统工程中起主导作用。

1993年出版的《塑料制品设计师指南》(唐志玉,徐佩弦主编,国防工业出版社),全面地阐述了各应用领域的塑料件设计的理论和方法。1998年出版的《塑料件的失效》(徐佩弦,国防工业出版社),对高分子材料及其复合塑料的力学性能作较详细的陈述。本书作为它的续篇,阐述塑料制造机械零件的设计理论和方法,较多地反映塑料件在工业流水线上的装配技术,侧重于力学和连接的设计。

第一、二章阐述了本书涉及各种塑料件设计的力学原理和一般原则。第三章是从塑料加工方法阐明制品结构设计的工艺性;介绍加工工艺对制品设计的要求。第四章至第六章,叙述塑料件上的弹性卡夹、螺纹联接、活动铰链和压力装配的力学分析和计算方法,陈述有关超声波焊接、摩擦焊接、振动焊接、热板焊接、电磁焊接和粘接技术背景下的塑料制品设计方法。第七章至第十章,陈述常用的结构件、传动件、支承件、减振防冲件和密封件的设计方法和塑料的选用。

本书是有关塑料材料的“机械零件”的设计;是塑料制品设计和生产的工程技术人员的科技书。提供了塑料新制品开发所必需的技术咨询。也可供有关高分子材料专业师生在教学中参考。

本书在编写过程中,得到我校材料学院各位同仁的支持和指教。更得到中国轻工业出版社的热忱帮助和支持。在此表示诚挚的感谢。

本书涉及大量的高分子材料工程的技术资料,而且它们还在不断地推陈出新,但愿这些内容有益于读者。也请对书中不足和谬误批评指正。

华东理工大学
高分子材料系
(200237)
徐佩弦

目 录

第 1 章 综述	1
1.1 塑料材料	1
1.1.1 热塑性塑料	1
1.1.2 热固性塑料	5
1.2 非力学性能	5
1.2.1 热性能	5
1.2.2 化学阻抗	9
1.2.3 渗透性	10
1.2.4 燃烧性	11
1.2.5 电性能	13
1.2.6 耐候性	15
1.2.7 光学性能	16
1.2.8 硬度	17
1.3 塑料件设计原则和方法	19
1.3.1 概述	19
1.3.2 材料选择	21
1.3.3 加工方法选择	23
1.3.4 塑料件失效分析	27
参考文献	28
第 2 章 塑料的力学特性	29
2.1 静载荷下的形变行为	29
2.1.1 应变特性	29
2.1.2 屈服特性	37
2.1.3 蠕变	40
2.1.4 松弛	49
2.1.5 蠕变回复	50
2.2 动态载荷分析	53
2.2.1 疲劳强度	54
2.2.2 力学致热	63
2.2.3 冲击载荷	70

参考文献	74
第3章 塑料件的结构设计	75
3.1 注塑件的设计	75
3.1.1 熔体的流动特性	75
3.1.2 冷却固化	80
3.1.3 注塑件的精度	82
3.1.4 注塑件的壁厚	86
3.1.5 脱模斜度	88
3.1.6 筋和凸台	90
3.1.7 嵌件	92
3.1.8 塑件与注射模具的关系	96
3.2 中空吹塑件设计	100
3.2.1 吹塑制品的特征	100
3.2.2 容器的强度和刚度设计	105
3.2.3 瓶口联接	110
3.2.4 吹塑制品的工艺要素	111
3.3 热成型塑件设计	112
3.3.1 热成型制品的特征	112
3.3.2 热成型塑件壁厚与片材厚度计算	117
3.3.3 热成型的工艺要素	118
3.4 泡沫塑件的设计	119
3.4.1 分类和性能	119
3.4.2 加工成型	125
3.4.3 泡沫塑料件的结构	127
参考文献	133
第4章 可拆联接	134
4.1 弹性联接	134
4.1.1 弹性卡夹联接	134
4.1.2 扣环和卡固联接	147
4.2 螺纹联接	150
4.2.1 螺纹设计	150
4.2.2 螺纹强度计算	152
4.2.3 螺栓联接	154
4.2.4 自攻螺钉	157
参考文献	167
第5章 焊接和粘接	168
5.1 超声波焊接	168

5.1.1 超声波对焊接	168
5.1.2 超声波铆接	175
5.1.3 超声波点焊、墩焊和钎焊	178
5.2 摩擦焊接	180
5.2.1 摩擦焊接原理	180
5.2.2 摩擦焊连接设计	181
5.3 振动焊接	183
5.3.1 振动焊接的设备和原理	183
5.3.2 振动焊接的连接设计	186
5.4 热板焊接	187
5.4.1 热板焊接原理	187
5.4.2 热板焊接的连接设计	188
5.5 电磁焊接	189
5.5.1 电磁焊接原理	189
5.5.2 电磁焊接的连接设计	190
5.6 粘接	192
5.6.1 粘接原理	192
5.6.2 粘接剂和粘接工艺	193
5.6.3 粘接强度计算	195
5.6.4 粘接接头设计	196
参考文献	198
第6章 不可拆连接	199
6.1 活动铰链	199
6.1.1 铰链的力学分析	199
6.1.2 设计计算过程	204
6.1.3 铰链的加工	206
6.2 压力装配	208
6.2.1 实芯轴的压力装配	209
6.2.2 空芯轴的压力装配	212
6.2.3 压力装配中蠕变	214
参考文献	221
第7章 结构件	222
7.1 梁的设计	222
7.1.1 设计过程和特点	222
7.1.2 梁的强度和刚度	228
7.1.3 非均匀材料和结构的塑料梁	232
7.2 柱体设计	239

7.3 悬臂梁设计	242
7.4 弹簧设计	245
7.5 管件设计	247
7.5.1 输送管	247
7.5.2 排放管	249
7.5.3 深埋管	250
7.5.4 慢速开裂校核	253
7.6 容器设计	254
7.7 夹芯板	257
7.7.1 结构和材料	258
7.7.2 设计计算	264
参考文献	271
第8章 抗振缓冲设计	272
8.1 抗振结构设计	272
8.1.1 塑料的阻尼特性	272
8.1.2 减振计算	274
8.1.3 阻尼特性的影响	276
8.1.4 印制线路板组件抗振设计	279
8.1.5 防振包装设计	288
8.2 缓冲结构设计	289
8.2.1 塑料件的抗冲校核	289
8.2.2 缓冲包装设计	291
参考文献	295
第9章 塑料支承与齿轮设计	296
9.1 塑料的摩擦和磨损性能	296
9.1.1 摩擦	296
9.1.2 磨损	301
9.2 塑料支承设计	304
9.2.1 轴承材料	304
9.2.2 轴承类型	307
9.2.3 轴承参量设计	308
9.2.4 橡胶轴承	312
9.2.5 聚四氟乙烯软带导轨	313
9.3 塑料齿轮设计	315
9.3.1 齿轮模塑成型	315
9.3.2 齿轮几何参数计算	318
9.3.3 齿轮弯曲疲劳强度计算	321

9.3.4 齿面接触疲劳强度计算	326
9.3.5 齿轮摩擦和磨损	329
9.3.6 齿轮材料的选择	331
参考文献	333
第 10 章 密封件应用及设计	334
10.1 聚四氟乙烯密封圈	334
10.2 O 形橡胶密封圈	338
10.2.1 静态密封设计	338
10.2.2 移动密封设计	341
10.2.3 旋转密封设计	345
参考文献	348
附录	349
1. 原国家第四机械工业部推荐的塑料制品尺寸公差	349
2. 德国的塑料制品尺寸公差	350
3. 塑料件表面粗糙度	350
4. 塑料的蠕变性能	352
5. 聚酰胺和聚甲醛的 S-N 疲劳曲线	359
6. 树脂及塑料的缩写代号、英文和中文名称对照	364

第 1 章 综 述

与金属材料和金属制品相比,塑料和塑料件有许多固有的特性。本章介绍塑料材料的选择和有关的塑料性能。评述塑料件的设计原则。

1.1 塑 料 材 料

保证塑料件设计质量的前提是进行科学的失效分析。由此保证塑料件在使用期限内,不失去所需工作性能。本节并不全面陈述塑料材料的各个方面,只是从塑料件的材料选择来认识常用塑料品种。

1.1.1 热塑性塑料

a. 聚乙烯(PE)

PE 是乙烯聚合的结晶型物料。熔体的流动性很好。以密度、产品用途、熔体流动速率和改性情况分类。低密度聚乙烯(LDPE),用高压法生产,结晶度较低为 45%~65%。其柔软性、伸长率、冲击强度和透明性较好。适用于吹塑薄膜和挤出线缆绝缘层。高密度聚乙烯(HDPE),用低压法生产,结晶度高达 85%~95%。具有较高力学强度和使用温度。适宜中空吹塑,注射和挤出各种瓶、盆、桶、片材、管材和异形材。还有一种超高分子量聚乙烯(UHMWPE),为相对分子质量大于 70 万的高密度聚乙烯。有很高的力学强度和耐磨性能,熔体粘度特高。可制成减摩耐磨的支承和传动件。

瓶、筒和罐的 PE 密封盖,因为强力打开而被撕裂。主要是由于材料强度不足和盖子太薄。PE 桶上不能直接嵌塑金属手柄。金属柄周围的塑料会因负载应力过大而断裂脱开。贮有洗涤液的 PE 容器会引发环境应力裂纹。管装洗头膏的 PE 螺帽盖,生成环境应力裂纹后在紧固力的触发下,很容易断裂。PE 吹塑的桶类容器,装有水和固态物时坠地,不会破裂。但装了洗手液生成应力裂纹后,从 1 米高度坠落就会破裂。此种桶的底部需有渐变的斜度和大圆弧的圆角。用短玻璃纤维增强的 PE 塑件,在污染环境下又有振动负载时,联接紧固部位较容易出现裂缝。

PE 和 PP 在受热和光照下会发生氧降解,致使塑件脆化,损失了弯曲和拉伸强度。氧化作用的程度与时间,可以用红外线光谱来监察和测量。家用的塑料装饰植物在摆放了 15 年后,会见到叶片从枝梗上脱落;叶根的装配接头断裂;枝叉上插装叶片的套管开裂。这是 PE 的脆化断裂所致,尽管装饰植物的自重小,装配接头处的应力也不大。经红外线谱的对比分析,由于氧化产生了羰基吸收比率变化。加大叶根的接头,添加抗氧化剂能改善此种老化现象。

b. 聚丙烯(PP)

PP 是密度小且耐热性较好的结晶型聚合物。与 PE 相似,其成型收缩率大,熔体流动性好,有突出的抗疲劳性能。

PP 不像 PE 那样因环境应力开裂而失效。但它耐老化能力比 PE 差。在氧化和降解中分子链上失去氢原子;伴有主链断裂导致力学性能下降。如卷发筒在吹风干燥头发时被氧化,使用寿命较短。另外,PP 的低温冲击强度低。它的玻璃态转化温度 T_g 为 -20°C 左右,在此温度早已脆化。PP 制造的壳体等结构件,如经受过 0°C 以下的冷冻,就要注意可能会出现破裂现象。因此,常通过复合或共混改性方法加以改善。其次,使用着色剂会影响 PP 塑件的收缩率,如用酞菁蓝颜料。着色剂如同成核剂那样会影响结晶度。另外,用 PP 做贮有液体食物的扁瓶,保质期不长。瓶中水分会损耗减少。比起 PE,PP 瓶壁的水汽传递速率要高些。这样势必要增加容器的壁厚。

c. 聚氯乙烯(PVC)

根据成型加工或使用性能要求,在 PVC 树脂中加入各种助剂以制成各种性能的塑料制品。添加增塑剂可以降低熔融温度和熔体粘度。添加不同比例的增塑剂,可获得不同软硬程度的 PVC。加入稳定剂使 PVC 在成型过程和使用中不易老化。润滑剂则在加工中减少摩擦热,并使制品表面光滑。

PVC 具有无定形聚合物特征,成型收缩率较小。其熔体的热稳定性差,成型温度的范围小,对模具有腐蚀作用。软 PVC 被用来吹塑薄膜、压延片材和挤出线缆护套。硬 PVC 用来挤出各种棒材、管材、板材和型材。注射级硬 PVC 的熔体流动性较差,用于注塑成型管接头和较小结构件。注射和挤出时的加热塑化温度,对成型后制品的断裂性能有影响。硬 PVC 的冲击强度较低,特别在受到高速冲击时。PVC 的管道和阀类塑件,排水后突然施加液压冲击,尤其容易开裂。改性可以提高 PVC 的冲击强度,但同时也降低了制品的刚度。 80°C 以上过热环境,硬 PVC 制品会变形软化,刚性降低弹性提高,电绝缘性能下降。因而,露天使用的 PVC 制品,如塑料门窗,宁可用浅色而不用深色,以减少阳光下聚热升温。

d. 聚苯乙烯(PS)

PS 无色透明,透光率仅次于 PMMA。着色性、耐水性和化学稳定性良好。PS 的电绝缘性能优良。但不耐苯、汽油等有机溶剂。PS 是无定形聚合物,熔体的流动性好且不易分解,有良好注射工艺性。力学性能一般,抗冲击性能差。PS 的塑料件,在坠落和冲击时容易断裂。塑件壁厚应均匀一致,各连接面处应有圆角;且不宜设计嵌件。塑件中残余应力过大时,会出现应力发白和银纹,使透明性下降。构件不宜受动态的弯曲载荷,不能设计制造弹性夹钳等。PS 有较大热膨胀系数。交替的膨胀和收缩力会使塑件的联接基座产生开裂。蠕变使塑件只有 15 年到 20 年的正常工作期限。热变形和蠕变综合作用于灯罩类装饰件,由于灯源的致热,一年左右就会开裂。在联接面上,即使塑件工作温度不超过 $45\sim 50^{\circ}\text{C}$,蠕变仍会发生。模压和蒸汽加热成型生产的发泡 PS,广泛用作包装和保温制品。

e. 抗冲聚苯乙烯(HIPS)

HIPS 为丁苯橡胶改性的聚苯乙烯。与 PS 相比有较高的韧性和冲击强度,其余性能相似。如果相对分子质量偏低,或橡胶含量较少,或注射工艺条件不良,则会有较低的强

度,更高的残余应力。如图 1-1 所示,用 HIPS 制造原子笔的笔杆,使用几次就会开裂。扭簧扣压的夹衣钳,由于交变弹力作用,钢丝扣压处的夹头很快断裂。单薄无筋条的简易衣架,也易弯曲折断。对 200~300mm 以上的 HIPS 构件,需注意自重。对其支承位置产生的弯曲应变应受到限制。HIPS 壳体的壁厚需优化设计。HIPS 的塑件不宜露天使用。它的抗氧化和热化学阻抗的稳定性较差。尤其在承载情况下,扭曲和弯曲时会产生热变形或疲劳裂纹。

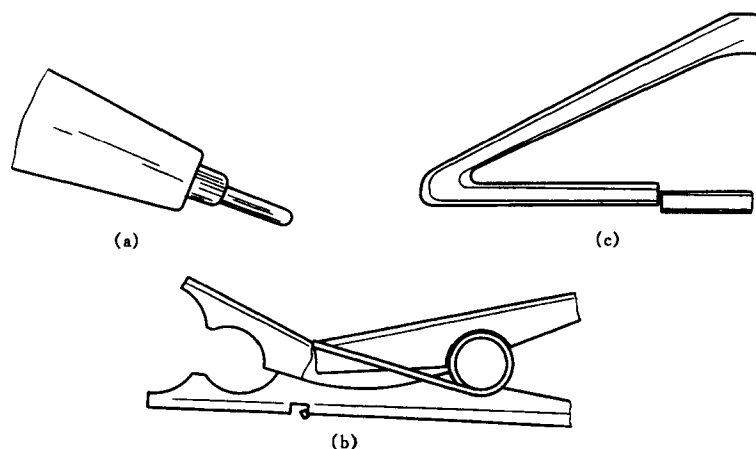


图 1-1 HIPS 塑件的断裂现象
(a) 笔杆开裂 (b) 夹衣钳的断裂 (c) 衣架折断

f. ABS

ABS 系苯乙烯-丁二烯-丙烯腈共聚体的无定形物料。ABS 通常有比 HIPS 好的韧性,有较好的综合力学性能,熔体流动性中等,易于注射成型,成型收缩率小,制品尺寸稳定性好。其品种牌号很多,各品种的物理性能和成型加工性能各有差异。ABS 是重要的广泛使用的工程塑料,常用来制造各种壳体和结构件,以及经电镀等表面处理的装饰件。这些制件通常设计寿命为 10 年。仪表中最早开裂的部位是壳体上的螺纹牙及邻近受装配紧固力的螺钉孔和台柱。仪表中动力电机或重物的承力结构件也会开裂损坏,会有疲劳裂纹。倘若仪表的环境条件很差,壳体的横截面上会出现环境应力裂纹。

g. AS

AS 为丙烯腈与苯乙烯共聚的无定形物料,也可写成 SAN。透光率与 PS 相当,韧性和强度超过 PS,熔体的流动性也较好。但须注意到 AS 制品在模塑成型时易生成残余应力,会引发裂纹。AS 在成型加工和使用中与溶剂接触,有环境应力开裂的现象。倘若用 AS 制造热咖啡的容器,由于化学作用 and 高温,会使容器开裂。

h. 聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)

PMMA 是丙烯酸类树脂中最重要的一种。它是无定形聚合物,透明度高,常以板材供应。俗称有机玻璃,但比无机玻璃轻得多,且抗冲耐振。它具有良好的电绝缘性、染色性和二次加工性能。用聚苯乙烯改性的 PMMA 为 372 品种;还有珠光有机玻璃是国内常用的物料。PMMA 熔体的流动性中等。不良的注射工艺会影响塑件的透明度和强度。

由于 PMMA 的脆性,它不能承受高的应力,在钻孔时很容易开裂。PMMA 的螺纹孔

在室温下拧紧时也会开裂。有机玻璃的表面硬度差,易被硬物擦伤起划痕,专门的涂覆可以有所改善。环境应力裂纹是 PMMA 的又一弱点,尤其是在平均分子质量较低时。

i. 聚酰胺(PA)

PA 是多品种的结晶型聚合物。坚韧、耐磨且耐疲劳,但极能吸湿。熔点高,熔融温度范围窄。注射前必须充分干燥物料。熔体粘度低,注射模塑时很容易出现“流涎”和“溢边”。模具温度高低影响结晶度。塑件的成型收缩率大,且有波动。成型的制品因吸湿等原因,尺寸不稳定。

PA6 弹性好,冲击强度高,吸水性较大。PA66 强度高,耐磨性好。PA610 与 PA66 相似,但吸水性和刚性都较小。PA1010 半透明,吸水性较小,耐寒性较好。

PA 塑件的失效有四个特征。首先,PA 在高温下加工时的水解作用会使材料降解。因此原料中的含水量必须严格限制。降解使 PA 的平均分子质量降低,造成制品强度下降。第二,PA 在固化结晶时,要有充裕的结晶时间。结晶度愈高,晶粒愈细,冲击韧性愈好。为获得一定的性能,必须控制好结晶度。第三,塑件在使用期内吸水,能起增塑作用。如果制品的水分含量低,常会太脆而失效。水对制品可能是需要的,也可能不需要。控制塑件中含水量,是防止制品失效的重要方面。第四,PA 塑件中含水量也影响到尺寸。吸水膨胀会改变尺寸,使塑件尺寸超出公差;也会使粘接等加工困难。

聚酰胺齿轮与聚甲醛齿轮啮合传动已普遍应用。但聚酰胺制成 20mm 以上大齿轮传递动力,还需慎重试验。如地板抛光机的传动装置,金属主动轮与酚醛从动轮啮合,酚醛齿轮直径达 38mm。为节约制造成本,将同样几何参量的聚酰胺注射齿轮置换,由于强度不足,金属齿轮会将 PA 齿轮上轮齿全部折断。

j. 聚碳酸酯(PC)

PC 是无定形聚合物,有突出的抗冲击强度和抗蠕变性,并耐热耐寒。PC 的力学性能和电绝缘性能优良,并有较好的透明度。制品成型收缩率较小,塑件尺寸精度高。它是产量仅次于 PA 的工程塑料。

PC 熔体的粘度高,流动性差,所需模具温度高,成型脱模困难。注射充模时流动和温差产生的残余应力较高,尤其在塑件的嵌件周围、成型孔周边和截面突变处。在外力等环境因素下,易产生应力开裂。PC 有较高的缺口敏感性,低温脆化温度在 -15°C 以下。PC 还有高温水解的特性,在 65°C 以上的高湿条件下会产生应力开裂。

k. 聚甲醛(POM)

POM 是高结晶度的聚合物,具有优良的物理和机械性能。耐磨、耐水、耐腐蚀,尺寸稳定性好。熔体流动性中等。物料熔融温度范围小,热敏性强容易分解。成型收缩率大,且波动范围大。用玻璃纤维等增强改性可减小收缩率。添加聚四氟乙烯、石墨和二硫化钼等可制成耐磨自润滑的支承零件。熔料分解、成型收缩率大和模温控制使 POM 注射成型困难。POM 制品的热稳定性差,易燃烧。长期在大气中暴晒会老化。

l. 聚苯醚(PPO)

PPO 是无定形聚合物。成型收缩率和吸水性小,阻燃性能好。热变形温度高达 190°C ,有良好的抗蠕变性能。其熔体流动性差,需高温 $300\sim 330^{\circ}\text{C}$ 加热熔化;制品容易应力开裂。生产中使用各种改性 PPO。其中以混合聚苯乙烯改性 PPO 的 Noryl 应用最

多。其热性能和力学性能与聚苯乙烯含量有关,与聚碳酸酯相近。其粘度低于聚碳酸酯,高于 ABS。工作温度在 100℃ 以下,化学阻抗性能差。

1.1.2 热固性塑料

a. 酚醛树脂(PF)

PF 是使用最早,产量最高的热固性塑料。其成本低,易模塑。有低蠕变和良好刚性。耐酸和溶剂,但不耐碱。仅能着暗色,冲击强度差。

以酚醛树脂为基体的酚醛塑料品种很多。有酚醛模塑料的主要类别及用途(GB 1404—1995)标准。如玻璃纤维填充的酚醛玻璃钢制品,强度高并有良好耐热和耐腐蚀性。木粉充填的酚醛塑料制品,俗称胶木。成本低易成型,用于制造普通电气开关。石棉纤维增强的酚醛塑料用于化工防腐和摩擦制动。近年来开发的新品种有快速固化酚醛树脂、浅色无氨酚醛塑料和阻燃耐电弧酚醛塑料等。

b. 脲醛树脂(UF)

UF 是以脲甲醛树脂为基体,纤维素为填料,有多种添加剂的塑料。可制成半透明和不透明制品,色泽如玉,俗称电玉塑料。容易着色、难燃、电绝缘性比 PF 好,使用温度 100℃。用于瓶盖、钮扣、日用品和电工零件。但抗冲性能差,吸水率高,易吸潮变形开裂。

c. 三聚氰胺甲醛树脂(MF)

MF 是以三聚氰胺甲醛树脂为基体,纤维素为填料,有多种添加剂的塑料。耐水和耐热比 UF 好,使用温度可达 150℃。自熄并耐电弧,刚硬且表面有玻璃质感,无毒且不易沾污。用于制杯盘餐具、桌面层压板和电器零件。但尺寸稳定性和冲击强度低。

d. 环氧树脂(EP)

EP 是以环氧树脂为基体的各种复合材料。有良好的力学、化学阻抗和电绝缘性能。工作温度可达 130℃,耐盐水且耐候性好。成型收缩率小,易模塑成型各种电工和机械零件。环氧树脂与金属、无机材料和各种纤维有突出的粘结性能,因此用于微电子器件的密封,并制造覆铜的印刷线路板。

1.2 非力学性能

本节简略地陈述塑料的非力学性能,侧重于性能的测量指标。涉及热性能、化学阻抗、渗透性、易燃性、电性能、耐候性、光学性能和硬度,有八个方面。

1.2.1 热 性 能

塑料的热性能以短期、长期、低温和高温四个领域进行测试研究。

a. 短期热性能

聚合物的短期热性能的过程是完全可逆的。也即对试样没有危险性。其性能有熔点、软化温度及力学性能随温度的变化。所指的力学性能有屈服应力,拉伸强度和硬度。还有线膨胀系数和导热系数。所有这些性能的测量已达到相当高的精确度。但是不能以这些短期的力学性能来推测长时期的老化性能。这些性能被用来比较材料和进行质量控

制,并限制材料的应用。

成型的热固性塑料和硫化的橡胶制品已经交联,不存在熔点或软化温度。但这些材料有一个分解温度。

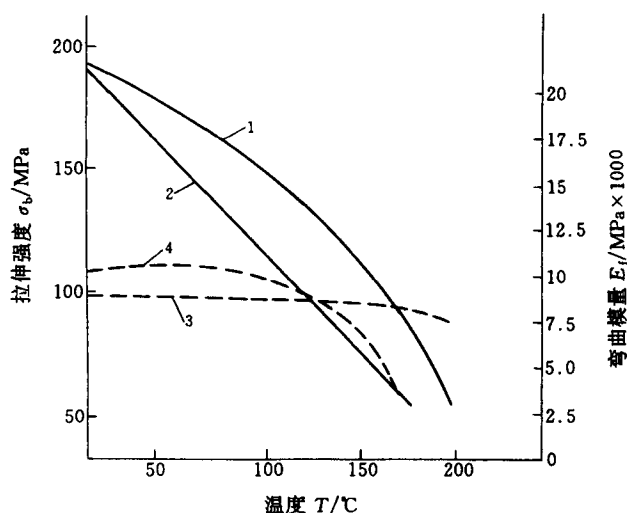


图 1-2 二种塑料的短期拉伸强度和弯曲模量与温度的关系

1—PEI + 30% FG 的拉伸强度 2—PEEK + 30% FG 的拉伸强度
3—PEI + 30% FG 的弯曲模量 4—PEEK + 30% FG 的弯曲模量

热变形温度 HDTUL 或 HDT (Heat deflection temperature under load), 是塑料试样浸在一种等速升温的液体传热介质中, 在简支梁的静弯曲负载作用下, 试样弯曲变形达到规定值时的测定温度。如图 1-3 所示, 传热介质常用低粘度的变压器油或硅油。其等速升温的速度为 $(12^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C})/6\text{min}$ 。砝码负载 W , 试样宽度 b , 高度 h 。两支座中心间距离 l 。试样的最大弯曲正应力为:

$$\sigma = \frac{3Wl}{2bh^2} \quad (1-1)$$

负载与试样的几何参数, 使试样产生最大弯曲正应力 $\sigma = 1.82\text{MPa}$ 或 0.45MPa 。在试样中点弯曲变形量达到 0.21mm 时, 此时的温度即为相应 σ 下的热变形温度。以上所述是 GB 1634—79(88)《塑料弯曲负载热变形温度》, 简称热变形温度试验方法。对应美国标准 ASTM D648, 德国 DIN 53458, 国际标准 ISO 75。各标准测得热变形温度值相差不大。ASTM D648 标准中, 试样中点下垂量为

拉伸或弯曲的应力-应变试验应该在热箱中进行, 以提供一定温度下的短期的屈服应力、弹性模量和断裂伸长率。绝热的“热箱”也应该可用液态 CO_2 进行低温试验。

图 1-2 是两种材料的拉伸强度和弯曲模量与温度的关系曲线。一种是无定形聚酯酰亚胺 (PEI), 充填 30% 短玻纤。另一种是结晶型的聚醚醚酮 (PEEK), 以 30% 短玻纤增强。玻璃纤维都是随机取向。玻纤的增强能改善大多数塑料的高温强度和刚度。但因基体聚合物在高温下失去硬度, 升温后材料表面硬化。

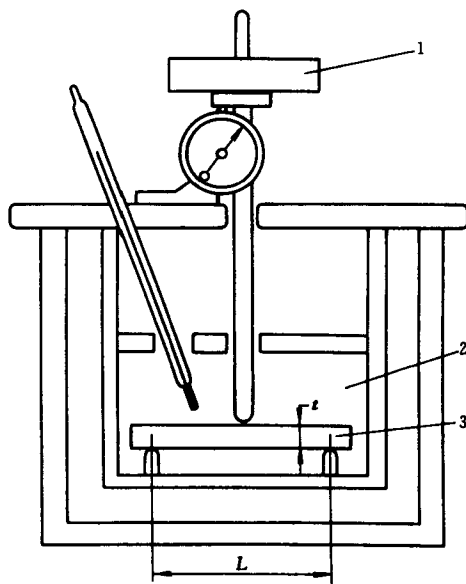


图 1-3 热变形温度测量仪的示意图
1—负载 W 2—传热介质 3—试样

0.254mm。上述 PEI+30%FG 在 1.82MPa 下的热变形温度是 213℃,而 PEEK+30%FG 是 288℃。表 1-1 所列各种材料的热性能均为 ASTM 标准所测。需注意到,PEEK 增强塑料虽有比 PEI 增强塑料高的热变形温度,但是在 100℃ 以上时弯曲模量下降很快。

维卡软化温度是塑料于液体传热介质中,在一定的负荷和一定的等速升温条件下,试样被 1mm² 针头压入 1mm 时的温度。我国有 GB 1633—79(88)《塑料软化点(维卡)试验方法》。在使用负荷 1000g 时与国外 ASTM D1525 和 ISO 306 标准相似。本方法适用于质量控制和材料热性能比较。对于无定形或低结晶的塑料,此种测试方法排除了软化以前蠕变变形的影响。目前,维卡试验方法还被用于橡胶密封垫的热性能测试。

b. 低温下脆化

在低温下所有聚合物都会增加刚度,减少柔度。无定形聚合物和结晶型聚合物中的无定形形态转变到玻璃态。橡胶改性或增塑的混合物的粘度增大。低温也降低了分子链上结合键的柔度,减小了自由体积。所有这些导致了塑料在低温下的脆化,减小了冲击抵抗能力。

标准的低温下拉伸试验要耗费许多时间。其拉伸模量的数据很难理解。因此设计了一些扭转试验的方法测得剪切弹性模量。如 ASTM D1043,对应 ISO 458 定义了专门的扭转试样被冷冻变形时的温度。又如 ASTM D746,对应 ISO 974 试验标准,将截面 0.25in×0.075in 试样的自由端伸出 1in,浸泡在低温液体中。在控制温度下降过程中,对试样进行冲击。当十个试样中有五个被击断时,认定为脆化温度。我国有 GB 5470—85《塑料冲击脆化温度试验方法》。它仅适用软质塑料。

c. 长时期的热降解

长时期地处于高温下,一些原因促使塑料产生不可逆的降解。诸如被空气中的臭氧攻击而氧化,增塑剂的添加成分的挥发,由于较快的蠕变速度和较差的抗疲劳性引起聚合物分子链的逐步断裂等。一些聚合物的分子结构中存在敏感的弱点,如支链、不饱和的双键、聚合时剩余的引发剂、活性的氢原子或不稳定的分子链的始末端。这些弱点是氧、臭氧、潮气、各种辐射线或者热的攻击点。热降解的结果几乎都是高分子链的断裂,导致平均分子质量的下降。在热解聚过程中,分子链束的始末端越来越多,使材料的热稳定性越来越差。当然,每种聚合物在一定条件下有各自的热降解的机理。

各种塑料在较高的温度下长期连续安全工作的合适温度,国外手册上已有 UL 温度指标。它的全称是无负载下连续安全工作的额定温度。试样若作用负载,会增加塑料热性能的复杂性。因此该实验试样要排除力学应力的作用。大量试样在加热箱中按设定温度保温,美国 UL 746 为 60,000h ISO 2578 为 20,000h。找觅电性能(E)和力学性能(M)为原有性能 50%时的 UL 温度。各种聚合物的热性能见表 1-1。其中 E 是指仅考虑电性能的安全性;E+M 是电性能和力学性能均达到 50%的安全温度;E+M'是指电性能和力学性能达标,但不考虑冲击性能。

另外,还有一种短时的热性能测试方法——热重量分析 TGA(Thermogravimetric analysis)。用热重量分析测试仪,让试样以一定速率升温。降解物质的挥发和气化,使试样质量有损失。如 PVC 试样在惰性气体或真空中被加热至 275℃,就有气化的 HCl 析出。随着温度继续升高进一步降解,试样成为不饱和主链、焦碳和微小残片的混合物。此