

图书分类号: _____
密 级: _____

徐州工程学院
毕业设计(论文)

插座面板注射模设计
DESIGN OF INJECTION MOLD FOR SOCKET
FACE

学生姓名	朱伟伟
学院名称	机电工程学院
专业名称	机械设计制造及其自动化
指导教师	张万利

2008 年 06 月 02 日

徐州工程学院学位论文原创性声明

本人郑重声明：所提交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用或参考的内容外，本论文不含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品或成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标注。

本人完全意识到本声明的法律结果由本人承担。

论文作者签名：_____ 日期：_____年___月___日

徐州工程学院学位论文版权协议书

本人完全了解徐州工程学院关于收集、保存、使用学位论文的规定，即：本校学生在学习期间所完成的学位论文的知识产权归徐州工程学院所拥有。徐州工程学院有权保留并向国家有关部门或机构送交学位论文的纸本复印件和电子文档拷贝，允许论文被查阅和借阅。徐州工程学院可以公布学位论文的全部或部分内容，可以将本学位论文的全部或部分内容提交至各类数据库进行发布和检索，可以采用影印、缩印或扫描等复制手段保存和汇编本学位论文。

论文作者签名：_____ 导师签名：_____

日期：_____年___月___日 日期：_____年___月___日

摘要

本次设计是插座面板注塑模设计。塑件确定采用聚乙烯材料，该材料具有绝缘性好、强度高、价格低廉可用于双孔、三孔插座。该设计使用了 Pro/E 软件对插座面板进行三维造型，即利用参数化实体造型的方法，为更加高速、快捷的造型、生产提供了一种切实可行的办法。设计以单分型面注塑模，型腔采用的是一模两腔注射。该塑件采用侧浇口注射和组合式型腔设置，推出形式为两杆推出机构完成塑件推出。

我在这次设计中借阅了大量的文献，还通过互联网查找了相关资料，设计过程比较完整。

关键词 单分型面注射模；插座；聚乙烯

Abstract

The design is the Socket Face graduated from the injection mold design. Mould a document adopt polyethylene material , that material to have insulation regards , intensity height , cheap be used for , three sockets two price hole for sure. The product and mold of the Socket Face was 3D designed by Pro/E software. Make use of parameterization entity model method , give birth to a child for more high-speed , rapid model, having provided one kind of a practical method. Model designing that mark of type produces plastic articles by injection moulding face to face with Shan, that the type cavity adopts is one model two cavities injection. Should mould a piece adopt oblique tones running gate injection and the dyadic combination type cavity interpose , debut a form for two poles debut organization being completed moulding a piece debut.

I borrow the document having reviewed a great quantity in current design, have sought the relevance data by Internet , have designed process comparatively entirely.

Keywords single type of injection molds socket PE

目 录

1 绪论.....	1
1.1 前言.....	1
1.2 塑料工业简介.....	1
1.3 我国塑料模现状.....	2
1.4 塑料模发展趋势.....	3
2 塑件的分析.....	4
2.1 塑料材料的选择(分析).....	4
2.2 塑件的尺寸、精度.....	4
2.3 塑件的几何形状.....	4
2.3.1 脱模斜度.....	4
2.3.2 脱模斜度方向.....	5
2.3.3 塑件的壁厚.....	5
2.3.4 塑件的加强筋.....	5
2.3.5 圆角.....	5
2.3.6 塑件的支承面.....	5
2.3.7 塑件上的孔.....	5
3 注射设备的选择.....	7
3.1 有关制品的计算.....	7
3.2 注射机型号的确定.....	8
4 分型面的选择.....	9
5 塑料件的工艺尺寸的计算.....	11
6 模具型腔壁厚的计算.....	14
7 普通浇注系统设计.....	16
7.1 浇注系统的作用.....	16
7.2 设计的基本原则.....	16
7.3 普通浇注系统的组成与设计.....	16
7.3.1 主流道.....	16
7.3.2 分流道.....	18
7.3.3 冷料穴和拉料杆设计.....	19
7.3.4 浇口设计.....	20
8 排气系统的设计.....	23
9 结构零部件设计.....	24
9.1. 标准模架.....	24
9.2. 支承零部件设计.....	24

9.3. 合模导向机构设计	25
9.3.1 导向机构的作用	25
9.3.2 导柱.....	25
9.3.3 导套.....	25
9.3.4 导柱导向机构设计要点	26
10 推出机构设计	27
10.1 推出机构定义	27
10.2 推出机构设计原则	27
10.3 脱模阻力计算	27
10.4 注射机及各个参数的校核.....	27
10.5 推杆推出位置的选择	29
10.5.1 推杆的复位	29
10.5.2 推件板的设计	29
11 温度调节系统.....	30
11.1 模具温度及其调节的重要性.....	30
11.2 模具温度与塑料成型温度的关系	30
11.3 冷却系统的结构设计	30
11.3.1 冷却介质	30
11.3.2 冷却系统的设计原则.....	31
11.3.3 冷却装置的理论计算.....	31
结论.....	33
致谢.....	34
参考文献	35
附录.....	36
附录 1	36

1 绪论

1.1 前言

模具是现代工业的重要装备。随着工业生产的飞速发展,新产品的不断涌现,对模具的设计与制造速度、加工质量,提出了更高的要求。

要求的周期越来越短、精度越来越高,以加速新产品投产及产品的更新换代,提高经济效益及竞争力。近几年来,许多企业认识到这一点,都在朝这个方向努力发展。把在实际工作中积累的经验收集、整理与总结。逐渐形成一种规范化,标准化的设计。

本设计就是利用课本中的理论,和毕业实习基地(江南机械厂)的所见,及前辈的宝贵经验设计出来的一套日常用塑件(某型茶杯的杯盖)的模具。通过对塑件的分析,确定用一模两腔注射成型该塑件。同时为了锻炼一下自己的能力,故意在塑件表面增加一些结构(增加多层台阶),来增加设计的难度,加固模具设计方面的知识,为以后在企业有个生存的空间打点基础。

本设计严格按照模具设计的步骤,及模具设计中的要求来设计的:塑件工艺性的分析、型腔数量的确定、分型面的确定、浇注系统的设计、成型零件的设计等,这一整套的程序下来,感觉自己这方面的知识丰富了不少。同时在设计中也要求对机械的相关知识有相当的了解:机械制图、公差与配合、机械制造、材料成型、数控技术等。

总之,在这次毕业设计过程中,我感觉充实了不少。

希望以后在工作岗位也有这样的好机会锻炼自己。

1.2 塑料工业简介

塑料工业是当今世界上增长最快的工业门类之一。自从聚氯乙烯塑料问世以来,随着高分子化学技术的发展以及高分子合成技术、材料改进技术的进步、愈来愈多的具有优异性能的高分子材料不断涌现,从而促进塑料工业的发展。

模具是利用其特定形状去成型具有一定形状和尺寸的制品的工艺装备或工具,它属于型腔模的范畴。通常情况下,塑件质量的优劣及生产效率的高低,其模具的因素占 80%。然而模具的质量的好坏又直接与模具的设计与制造有很大关系。随着国民经济领域的各个部门对塑件的品种和产量需求越来越大、产品更新换代周期越来越短、用户对塑件的质量要求也越高,因而模具制造与设计的周期和质量要求也相应提高,同时也正是这样促进了塑料模具设计于制造技术不断向前发展。就目前的形式看,可以说,模具技术,特别是设计与制造大型、精密、长寿命的模具技术,便成为衡量一个国家机械制造水平的重要标志。

按制品所采用的原料不同,成型方法不同,一般将模具分为塑料模具,金属冲压模具,金属压铸模具,橡胶模具,玻璃模具等。因人们日常生活所用的制品和各种机械零件,在成型中多数是通过模具来制成品,就中国就有比较远大的市场,所以模具制造业已成为一个大行业。

在 高分子材料加工领域中,用于塑料制品成形的模具,称为塑料成形模具,简称塑料模。

塑料模具的设计是模具制造中的关键工作。通过合理设计制造出来的模具不仅能顺利地成型高质量的塑件,还能简化模具的加工过程和实施塑件的高效率生产,从而达到降低生产成本和提高附加价值的目的,塑料模的优化设计,是当代高分子材料加工领域中的重大课题。

塑料制品已在工业、农业、国防和日常生活等方面获得广泛应用。为了生产这些塑料制品必须设计相应的塑料模具。在塑料材料、制品设计及加工工艺确定以后,塑料模具设计对制品质量与产量,就决定性的影响。首先,模腔形状、流道尺寸、表面粗糙度、分型面、进浇与排气位置选择、脱模方式以及定型方法的确定等,均对制品(或型材)尺寸精度形状精度以及塑件的物理性能、内应力大小、表观质量与内在质量等,起着十分重要的影响。其次,在塑件加工过程中,塑料模结构的合理性,对操作的难易程度,具有重要的影响。再次,塑料模对塑件成本也有相当大的影响,除简易模外,一般来说制模费用是十分昂贵的,大型塑料模更是如此。

现代塑料制品生产中,合理的加工工艺、高效的设备和先进的模具,被誉为塑料制品成型技术的“三大支柱”。尤其是加工工艺要求、塑件使用要求、塑件外观要求,起着无可替代的作用。高效全自动化设备,也只有装上能自动化生产的模具,才能发挥其应有的效能。此外,塑件生产与更新均以模具制造和更新为前提。

塑料模是塑料制品生产的基础之深刻含意,正日益为人们理解和掌握。当塑料制品及其成形设备被确定后,由此可知,推动模具技术的进步应是不容缓的策略。尤其大型塑料模的设计与制造水平,常标志一个国家工业化的发展程度。

1.3 我国塑料模现状

塑料模是现代塑料工业生产中的重要工艺装备,塑料模工业是国民经济的基础工业。用塑料模生产成型零件的主要优点是制造简、材料利用率高、生产率高、产品的尺寸规格一致,特别是对大批量生产的机电产品,更能获得价廉物美的经济效果。

在模具方面,我国模具总量虽已位居世界第三,但设计制造水平总体上比德、美、日、法、意等发达国家落后许多,模具商品化和标准化程度比国际水平低许多。在模具价格方面,我国比发达国家低许多,约为发达国家的 $3/3-3/5$,工业发达国家将模具向我国转移的趋势进一步明朗化。

随着我国改革开放步伐的进一步加快,我国正逐步成为全球制造业的基地,特别是加入 WTO 后,作为制造业基础的模具行业近年来得到了迅速发展。塑料模的设计、制造技术、CAD 技术、CAPP 技术,已有相当规模的开发和应 用。在设计技术和制造技术上与发达国家和地区差距较大,在模具材料方面,专用塑料模具钢品种少、规格不全质量尚不稳定。模具标准化程度不高,系列化商品化尚待规模化;CAD、CAE、Flow Cool 软件等应用比例

不高；独立的模具工厂少；专业与柔性化相结合尚无规划；企业大而全居多，多属劳动密集型企业。因此，我国要从一个制造业大国发展成为一个制造业强国，必须要振兴和发展我国的模具工业，努力提高模具工业的整体技术水平，提高模具设计与制造水平，提高国际竞争能力。

1.4 塑料模发展趋势

塑料作为现代四大工业基础材料之一，越来越广泛地在各行各业应用。其中注塑成型在塑料的各种成型工艺中所占的比例也越来越大。随着社会的经济技术不段向前发展，对注塑成型的制品质量和精度要求都有不同程度的提高。塑料制品的造型和精度直接与模具设计和制造有关系，对注塑制品的要求就是对模具的要求。

由于计算技术和数控加工迅速发展，使得 CAD/CAM 逐渐取代了过去塑料模的设计与制造技术，使传统的设计制造方法及组织生产的模式发生了深刻变化。塑料模 CAD/CAM 的发展不仅可以提高塑料模质量，减少塑料模的设计与制造工时，缩短塑料模生产周期，加快塑件生产和产品的更新换代，而且更主要的是能满足当前用户对塑料模行业提出的“质量高、交货快、价格低”的要求。

塑料模以后的发展主要有以下几方面：

- 1、注射模 CAD 实用化；
- 2、挤塑模 CAD 的开发；
- 3、压模 CAD 的开发；
- 4、塑料专用钢材系列化。

2 塑件的分析

2.1 塑料材料的选择(分析)

聚乙烯(PE)是由乙烯聚合而成的,聚乙烯的原料来源充足,而且聚乙烯具有优良的电绝缘性能,耐化学腐蚀性能,耐低温性能和良好的加工流动性。

耐腐蚀性,电绝缘性(尤其高频绝缘性)优良,可以氯化,辐照改性.可用玻璃纤维增强其熔点,刚性,硬度和强度较高,吸水性小,有突出的电气性能和良好的耐辐射性.高压聚乙烯柔软性,伸长率,冲击强度和透明性较好,超高分子量聚乙烯冲击强度高,耐疲劳,耐磨,用冷压烧结成型。

2.2 塑件的尺寸、精度

1.塑件的尺寸:塑件的尺寸—指塑件的总体尺寸塑件的尺寸受下面两个因素影响:塑料的流动性(大而薄的塑件充模困难);设备的工作能力(注射量、锁模力、工作台面)。

2.塑件的精度:塑件的尺寸精度是指所获得的塑件尺寸与产品图中尺寸的符合程度,即所获塑件尺寸的准确度。

3.影响塑件尺寸精度的因素:模具的制造精度、磨损程度和安装误差;塑料收缩率的波动以及成型时工艺条件的变化;塑件成型后的时效变化(后收缩)。

尺寸精度的确定:模塑件公差代号为MT (附录E);MT3级精度最高(一般不采用),MT7级精度最低。

会根据GB/T34486-93(工程塑料模塑塑件尺寸公差)选择塑件公差等级见图2-1

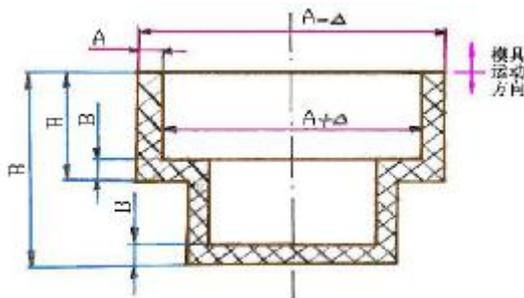


图 2-1

A 项:不受模具合模精度影响的尺寸公差值 B 项:受模具合模精度影响的尺寸公差值

尺寸精度的确定:对于塑件上孔的公差可采用基准孔,可取表中数值冠以(+)号。对于塑件上轴的公差可采用基准轴,可取表中数值冠以(-)号。一般配合部分尺寸精度高于非配合部分尺寸精度。模具尺寸精度比塑件尺寸精度高 2-3 级。

2.3 塑件的几何形状

2.3.1 脱模斜度

为了便于塑件脱模,防止脱模时擦伤塑件,避免模具型芯型腔的过度磨损,必须在塑

件内外表面脱模方向上留有足够的斜度 α ，在模具上称为脱模斜度。脱模斜度的大小取决于塑件的形状、壁厚及塑料的收缩率，一般取 $30' \sim 3^\circ 30'$ 。

2.3.2 脱模斜度方向

外形以大端为基准，斜度由缩小方向取得；内形以小端为基准，斜度由扩大方向取得。

脱模斜度设计要点：

塑件精度高，采用较小脱模斜度；尺寸大的塑件，采用较小脱模斜度；塑件形状复杂不易脱模，选用较大斜度；增强塑料采用较大的脱模斜度；收缩率大，斜度加大。含润滑剂的塑料采用较小脱模斜度，从留模方位考虑：留在型芯，内表面脱模斜度 $<$ 外表面；留在型腔，外表面脱模斜度 $<$ 内表面。

2.3.3 塑件的壁厚

壁厚过小：强度及刚度不足，塑料流动困难；壁厚过大：原料浪费，冷却时间长，易产生缺陷。

塑件壁厚设计原则：满足塑件结构和使用性能要求下取小壁厚；能承受推出机构等的冲击和振动；制品连接紧固处、嵌件埋入处等具有足够的厚度；保证贮存、搬运过程中强度所需的壁厚；5 满足成型时熔体充模所需的壁厚。

2.3.4 塑件的加强筋

加强筋的作用：它能提高塑件的强度、防止和避免塑件的变形和翘曲。(2)加强筋设计要点：加强筋的底部与壁连接应圆弧过渡，以防外力作用时，产生应力集中而被破坏。

2.3.5 圆角

在满足使用要求的前提下，制件的所有的转角尽可能设计成圆角，或者用圆弧过渡。

1) 圆角的作用：圆角可避免应力集中，提高制件强度；圆角可有利于充模和脱模；圆角有利于模具制造，提高模具强度。

2) 圆角的确定：内壁圆角半径应为壁厚的一半；外壁圆角半径可为壁厚的 3.5 倍；一般圆角半径不应小于 0.5mm；壁厚不等的两壁转角可按平均壁厚确定内、外圆角半径；理想的内圆角半径应为壁厚的 2/3 以上。

2.3.6 塑件的支承面

通常塑件一般不以整个平面作为支承面，而是以底脚或边框为支承面。本设计选择面积最大的地面为支承面。

2.3.7 塑件上的孔

在塑件孔的设计中，一方面应保证塑件的强度，另一方面还需要满足工艺要求，并尽量简化工艺。

模塑通孔要求孔径比（长度与孔径的比值）要小些；2 当通孔孔径 $< 3.5\text{mm}$ ，由于型芯易弯曲折断，不适于模塑成型；盲孔的深度： $h < (3\sim 5)d$ ， $d < 3.5\text{mm}$ 时， $h < 3d$ ；紧固用的孔和其它受力的孔，应设凸台予以加强。

塑件结构尺寸见图 2-2

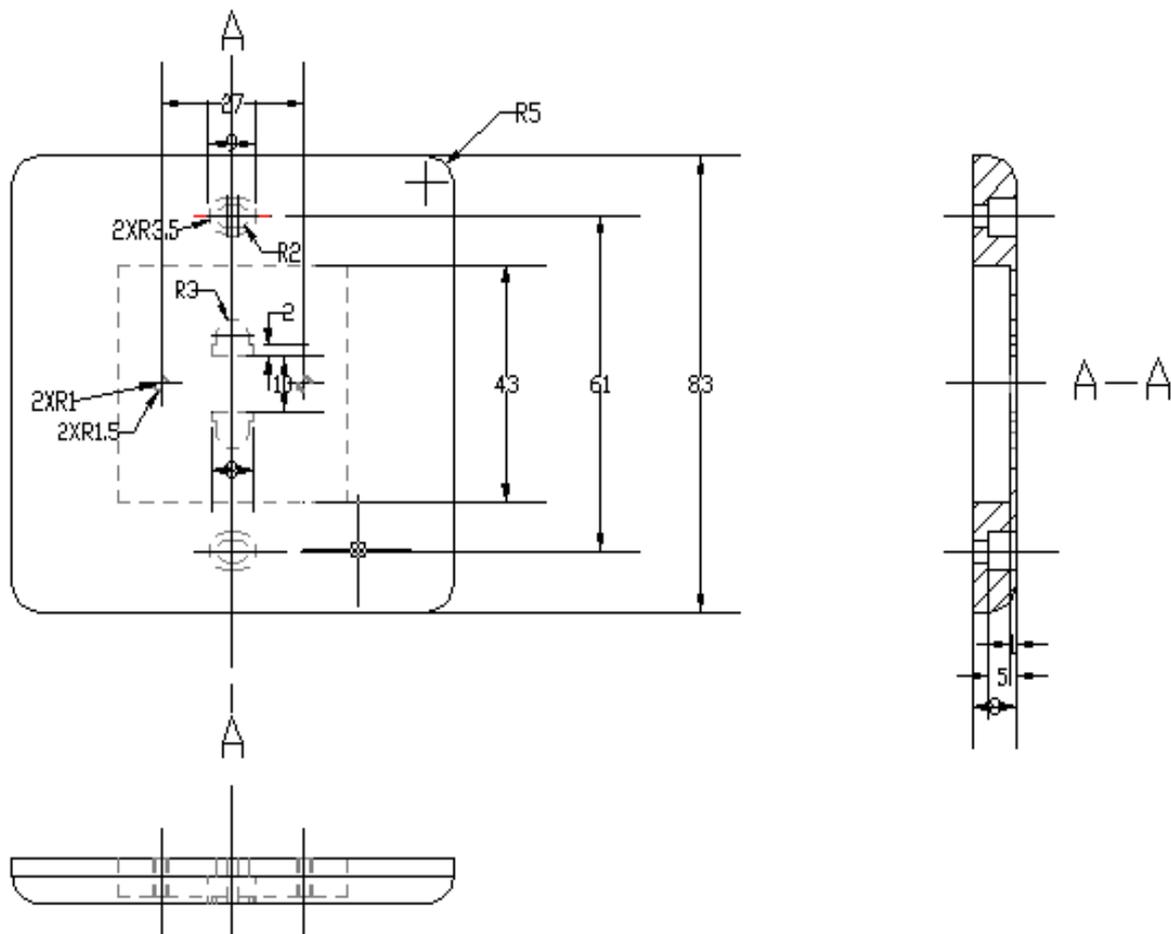


图 2-2

3 注射设备的选择

3.1 有关制品的计算

根据零件图提供的样品,便可以根据样品测绘得出制品体积,同时也可以借助计算机辅助软件(如:Pro/E软件等)建立制品模型见图3-1。(对于没有提供样品的设计,也可以由所提供的制品图样建立模型),这样既便于较精确的计算制品的各个参数,又更为直观、形象。因条件所限,本设计是由测绘所的体积:

1) 制品的体积为: $V_3=8.3 \times 8.3 \times 0.8=55.33 \text{ (cm}^3\text{)}$;

2) 初步估计浇注系统的体积约为塑件的0.7倍: $V_2=55.33 \times 0.7 =38.58 \text{ (cm}^3\text{)}$;

本设计中取 $V_2=40 \text{ (cm}^3\text{)}$;

3) 该模具一次注射共需塑料的体积约为: $V_0=2V_3+ V_2 =324.54 \text{ (cm}^3\text{)}$;

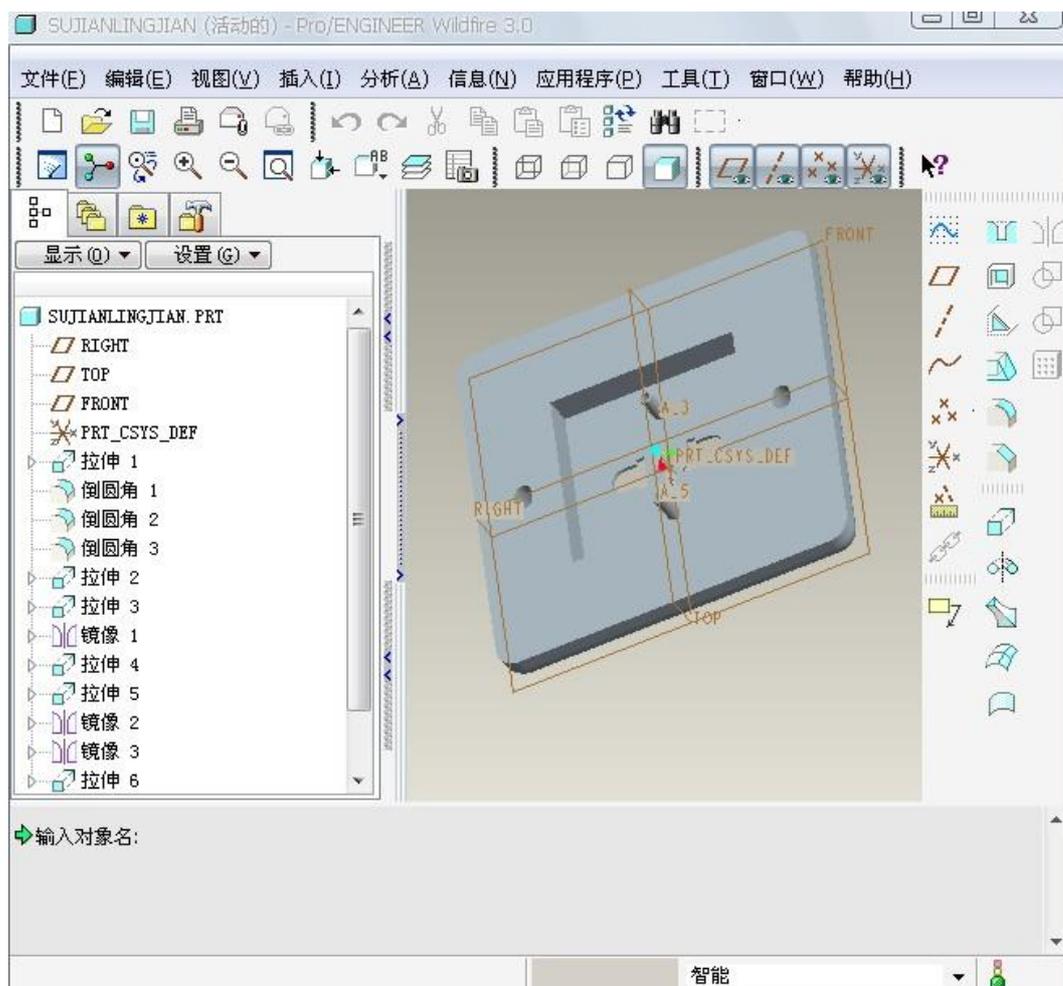


图 3-1

3.2 注射机型号的确定

根据以上的计算初步选定型号为 XS—ZY—325 的注射机。

近年来我国引进注射机的机型很多，国内注射机生产厂的新机型也日益增多。掌握使用设备的技术参数是注射模设计和生产所必需的技术准备。在设计模具时，最好查阅注射机生产厂家提供的“注射机使用说明书”上标明的技术参数。

根据以上的计算初步选定型号 XS—ZY—125 的注射机，其主要技术参数如表 3-2。

表 3-2XS—ZY—325 注射机主要技术参数

额定注射量 (cm ³)	325	螺杆(柱塞)直径 (mm)	42
注射压力 (MPa)	350	注射行程 (mm)	335
注射时间 (s)	3.6	锁模力 (kN)	900
最大成型面积 (cm ²)	320	最大开合模行程 (mm)	300
模具最大厚度 (mm)	300	模具最小厚度 (mm)	200
合模方式	液压—机械	喷嘴球头半径 (mm)	SR32
顶杆中心距 (mm)	230	喷嘴孔径 (mm)	4

4 分型面的选择

在塑料注射模制造过程中,总会遇到分型面的确定问题,它是一个很复杂的问题,受到许多因素的制约,常常是顾此失彼。所以在选择分型面时应抓住主要矛盾,放弃次要因素。不同的设计人员有时对主要因素的认识也不尽一致,与自身的工作经验有关。有些塑件的分型面的选择简单明确并且唯一;有些塑件则有许多方案可供选择。根据我的工作经验,可以按以下原则来确定:

a) 保证塑料制品能够脱模

这是一个首要原则,因为我们设置分型面的目的,就是为了能够顺利从型腔中脱出制品。根据这个原则,分型面应首选在塑料制品最大的轮廓线上,最好在一个平面上,而且此平面与开模方向垂直。分型的整个廓形应呈缩小趋势,不应有影响脱模的凹凸形状,以免影响脱模。

b) 使型腔深度最浅

模具型腔深度的大小对模具结构与制造有如下三方面的影响:

模具型腔深度的大小对模具结构与制造有如下三方面的影响:

1)目前模具型腔的加工多采用电火花成型加工,型腔越深加工时间越长,影响模具生产周期,同时增加生产成本。

2)模具型腔深度影响着模具的厚度。型腔越深,动、定模越厚。一方面加工比较困难;另一方面各种注射机对模具的最大厚度都有一定的限制,故型腔深度不宜过大

3)型腔深度越深,在相同起模斜度时,同一尺寸上下两端实际尺寸差值越大,如图2。若要控制规定的尺寸公差,就要减小脱模斜度,而导致塑件脱模困难。因此在选择分型面时应尽可能使型腔深度最浅。

c) 使塑件外形美观,容易清理

尽管塑料模具配合非常精密,但塑件脱模后,在分型面的位置都会留有一圈毛边,我们称之为飞边。即使这些毛边脱模后立即割除,但仍会在塑件上留下痕迹,影响塑件外观,故分型面应避免设在塑件光滑表面上。

d) 尽量避免侧向抽芯

塑料注射模具,应尽可能避免采用侧向抽芯,因为侧向抽芯模具结构复杂,并且直接影响塑件尺寸、配合的精度,且耗时耗财,制造成本显著增加,故在万不得已的情况下才能使用。

e) 使分型面容易加工

f) 保证塑件制品精度

作为机械零部件的塑件,平行度、同心度、同轴度都要求很高,保证塑件精度除提高模具制造精度外,与分型面的选择有很大关系。

g) 使塑件留在动模内

模具开模时型腔内的塑件一般不会自行脱出,需用顶出机构顶出,注射机上都有顶出装置,且设在动模一侧,因此设计模具分型面时应使开模后塑件能留在动模内,以便直接利用注射机的顶出机构顶出塑件。如果塑件留在定模内,则要再另设计顶出装置才能脱模,模具结构复杂得多,且成本攀升,加工周期延长。

h)使型腔内总压力较大的方向与分型面垂直

塑件注射时型腔内各方向的压强 P 相同,故某方向总压力 $F=P \times S$, S 为某方向的投影面积,当 S 越大,则 F 越大,选择总压力较大的方向与分型面垂直,利用注射机的锁模力来承受较大注射压力。因此模具结构简单,否则需另设计锁紧机构,模具结构复杂,成本增加,加工周期延长。

综上所述,选择注射模分型面影响的因素很多,总的要求是顺利脱模,保证塑件技术要求,模具结构简单制造容易。当选定一个分型面方案后,可能会存在某些缺点,再针对存在的问题采取其他措施弥补,以选择接近理想的分型面。该设计分型面选择见图4-1。

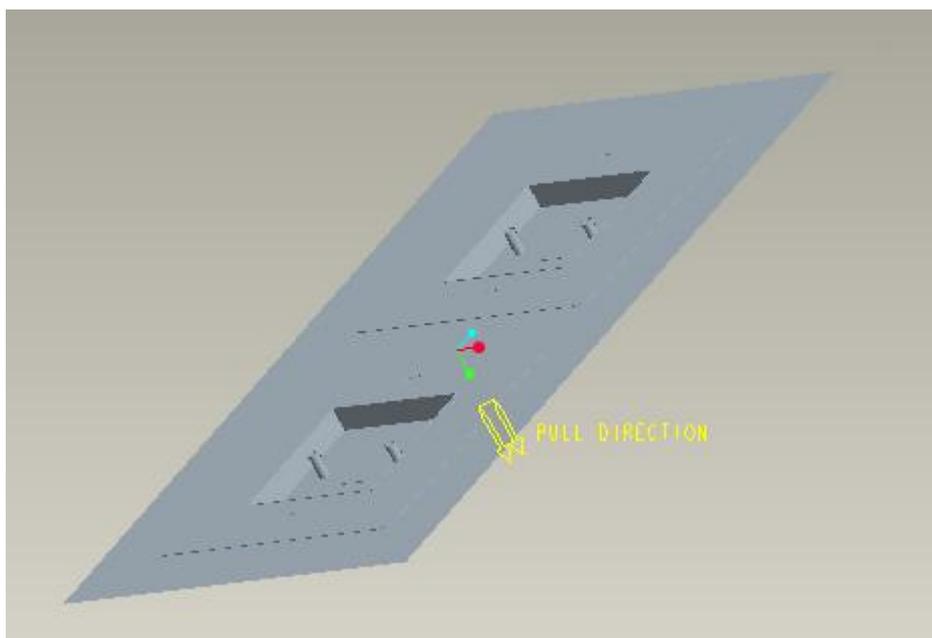


图 4-1

5 塑料件的工艺尺寸的计算

塑料在成型加工过程中,用来充填塑料熔体以成型制品的空间被称为型腔。而构成这个型腔的零件叫做成型零件。注射模的成型零件包括凹模、凸模、小型芯、螺纹型心、型环或成形杆等。由于这些成型零件直接与高温、高压的塑料熔体接触,并且脱模时反复与塑件摩擦,因此要求它有足够的强度、刚度、硬度、耐磨性和较低的表面粗糙度。同时要考虑零件的加工性和模具的制造成本。

凹模用以形成制品的外表面,型芯用以形成制品的内表面,成形杆用以形成制品的局部细节。模具的成型零件主要是凹模型腔和底板厚度的计算,塑料模具型腔在成形过程中受到熔体的高压作用,应具有足够的强度和刚度,如果型腔侧壁和底板厚度过小,可能因强度不够而产生塑性变形甚至破坏;也可能因刚度不足而产生挠曲变形,导致溢料飞边,降低制品尺寸精度并影响顺利脱模。因此,应通过强度和刚度计算来确定型腔壁厚,尤其对于重要的精度要求高的或大型模具的型腔,更不能单纯凭经验来确定型腔壁厚和底板厚度。

通常工作尺寸是根据模具的制造公差,塑料成型收缩率和成型零件磨损来确定的。传统的方法是用平均收缩率计算法,其尺寸计算如下:

凹模或型腔的工作尺寸计算式见式(5.1),式((5.2)。

$$L_m = \left[L_s + L_s S_{cp} - \frac{3}{4} \Delta \right]_0^{+d_z} \quad \text{式(5.1)}$$

$$H_m = \left[H_s + H_s S_{cp} - \frac{2}{3} \Delta \right]_0^{+d_z} \quad \text{式(5.2)}$$

凸模或型心的工作尺寸计算式见式(5.3),式(5.4)。

$$l_m = \left[l_s + l_s S_{cp} + \frac{3}{4} \Delta \right]_{-d_z}^0 \quad \text{式(5.3)}$$

$$h_m = \left[h_s + h_s S_{cp} + \frac{2}{3} \Delta \right]_{-d_z}^0 \quad \text{式(5.4)}$$

孔间距的尺寸计算式见式(5.5)。

$$C_m = \left[C_s + C_s S_{cp} \pm \frac{d_z}{2} \right]_{-d_z}^0 \quad \text{式(5.5)}$$

式中 S_{cp} ——塑料的平均收缩率;

L_s ——塑件外形径向尺寸;

Δ ——塑件公差值;

H_m ——塑件外形高度尺寸 (mm) ;

L_m ——凹模或型腔径向尺寸 (mm);

H_m ——凹模或型腔深度尺寸 (mm);

d_c ——成型零件制造偏差 模具的制造公差当尺寸小于 50mm 时, $\delta = 3/4 \Delta$; 当制品尺寸大于 50mm 时, $\delta = 3/5 \Delta$;

l_m ——凸模或型心的径向尺寸 (mm);

l_s ——塑件内壁径向尺寸 (mm) ;

h_m ——凸模或型心的高度尺寸 (mm);

h_s ——塑件外形深度尺寸 (mm) ;

C_m ——模具中心距基本尺寸 (mm);

C_s ——塑件中心距基本尺寸 (mm)。

工作尺寸是零件上直接用以成型塑件部分尺寸, 主要有型腔和型芯的径向尺寸。(包括矩形和异形型芯的长和宽), 型腔深度和型芯高度和尺寸。材料的公差等级取 4 级, 因 PE 的成型收缩率为 1.5~3.0%, 所以平均收缩率取 $S=2.25\%$ 。

1. 凹模或型腔径向尺寸 L_m 见式(5.1)。

$$L_s=83 \quad d_c=0.05 \quad \Delta=0.6$$

$$\begin{aligned} L_m &= \left[L_s + L_s S_{cp} - \frac{3}{4} \Delta \right]_0^{+d_c} \\ &= [(1+2.25\%) \times 83 - 0.75 \times 0.6]_0^{+0.05} \\ &= 84.41_0^{+0.05} \end{aligned}$$

2. 凸模或型心的径向尺寸 l_m 见式(5.2)。

$$l_s=43 \quad d_c=0.05 \quad \Delta=0.56$$

$$\begin{aligned} l_m &= \left[l_s + l_s S_{cp} + \frac{3}{4} \Delta \right]_{-d_c}^0 \\ &= [(1+2.25\%) \times 43 + 0.75 \times 0.56]_{-0.05}^0 \\ &= 43.54_{-0.05}^0 \end{aligned}$$

3. 凹模或型腔深度尺寸 H_m 见式(5.3)。

$$H_m=8 \quad d_c=0.05 \quad \Delta=0.6$$

$$\begin{aligned} H_m &= \left[H_s + H_s S_{cp} - \frac{2}{3} \Delta \right]_0^{+d_c} \\ &= [(1+2.25\%) \times 7 - 0.666 \times 0.6]_0^{+0.05} \end{aligned}$$

$$=6.758_0^{+0.05}$$

4. 凸模或型心的高度尺寸 见式(5.4)。

$$h_m=7 \quad d_c=0.035 \quad \Delta=0.6$$

$$h_m = \left[h_s + h_s S_{CP} + \frac{2}{3} \Delta \right]_{-d_c}^0$$

$$= [(1+2.25\%) \times 7 + 0.666 \times 0.6]_{-0.035}^0$$

$$=7.56_{-0.05}^0$$

5. 模具中心距基本尺寸 见式(5.5)。

孔间距的制造公差 δ_z ，取制品公差 Δ (0.075) 的 3/4，即 $\pm \delta_z/2 = \pm 0.038$ 则孔间距的尺寸。

$$C_s=27 \quad d_c=0.038$$

$$C_m = \left[C_s + C_s S_{CP} \pm \frac{d_z}{2} \right]_{-d_c}^0$$

$$= (1+2.25\%) \times 27 \pm 0.038$$

$$=27.57 \pm 0.038$$

$$C_s=61 \quad d_c=0.038$$

$$C_m = \left[C_s + C_s S_{CP} \pm \frac{d_z}{2} \right]_{-d_c}^0$$

$$= (1+2.25\%) \times 61 \pm 0.038$$

$$=62.37 \pm 0.038$$

6 模具型腔壁厚的计算

注射成型时,为了承受型腔高压熔体的作用,型腔侧壁与底板应该具有足够强度与刚度。小尺寸型腔常因强度不够而破坏;大尺寸型腔,刚度不足常为设计失效的主要原因。

确定型腔壁厚的计算法有:传统的力学分析法和有限元法或边界元法等现代数值分析法。后者结果较可靠,特别适用于模具结构复杂、精度要求较高的场合,但由于受计算机硬件和软件等经济与技术条件的限制,目前应用尚不普遍。前者则根据模具结构特点与受力情况建立力学模型,分析计算其应力和变形量,控制其在型腔材料许用应力和型腔许用弹性(即刚度计算条件)范围内。

成型型腔壁厚刚度计算条件:

1) 型腔不发生溢料:高压塑料熔体作用下,模具型腔壁过大的塑性变形将导致某些结合面出现溢料间隙,产生溢料和飞边。因此,须根据不同塑料的溢料间隙来决定刚度条件。表 7—6 为部分塑料许用的溢料间隙。

2) 保证塑料精度:当塑件的某些工作尺寸要求精度较高时,成型零件的弹性变形影响塑件精度,因此应使型腔压力为最大时,该型腔壁的最大弹性变形量小于塑件公差的 3/5

3) 保证塑件顺利脱模:若型腔壁的最大变形量大于塑件的成型收缩值,开模后,型腔侧壁的弹性恢复将使其紧包住塑件,使塑件脱模困难或在脱模过程中被划伤甚至破裂,因此型腔壁的最大弹性变形量应小于塑件的成型收缩值。

如果是利用计算公式的话比较烦琐,且不能保证在生产中的精确性,我们可以根据书中的经验值来取的。该设计所选的模具型腔为组合式结构。

在注射成型过程中,型腔主要承受塑料熔体的压力,因此模具型腔应该具有足够的强度和刚度。如果型腔壁厚和底版的厚度不够,当型腔中产生的内应力超过型腔材料本身的许用应力是,型腔将导致塑件变形,甚至开裂。与此同时,若刚度不足将导致过大的弹性变形,从而产生型腔向外膨胀或溢料间隙。因此,有必要对型腔进行强度和刚度的计算。

当 $p=50\text{MPa}$ 、 $H_3/H_2=4/5$ 、 $[\delta]=0.05$ 、 $[\sigma]=360\text{MPa}$ 时,侧壁长边 l 的刚度计算与强度计算的分界尺寸为 370mm。即当 $l>370\text{mm}$ 时按刚度条件计算侧壁厚度,反之按强度条件计算侧壁厚度。因为 $l=350\text{mm}$,所以按强度条件计算 矩形型腔侧壁每边都受到拉应力和弯曲应力的联合作用。

按端部固定梁计算,梁的两端弯曲应力 σ_w 的最大值见式(6.1)。

$$s = \frac{p H_1 l^2}{2 H s^2} \quad \text{式(6.1)}$$

总应力应小于模具材料的许用应力 $[\sigma]$,即由相邻侧壁受载所引起的拉应力 σ_b 为见式(6.2)。

$$s_b = \frac{p H_1 b}{2 H s} \quad \text{式(6.2)}$$

式中 b ——型腔侧壁的短边长, mm.

$$s_w + s_b = \frac{pH_1 l^2}{2Hs^2} + \frac{pH_1 b}{2Hs} \leq [s]$$

为计算方便, 略去较小的 σ_b , 按强度条件型腔侧壁的计算式见式(6.3)。

$$s \geq \sqrt{\frac{pH_1 l^2}{2H[s]}} \quad \text{式(6.3)}$$

式中 s ——矩形型腔侧壁厚度 (mm);
 p ——型腔内熔体的压力 (MPa);
 H_3 ——承受熔体压力的侧高度 (mm);
 l ——型腔侧壁长边长 (mm);
 E ——钢的弹性模量, 取 $2.06 \times 10^5 \text{MPa}$;
 H ——型腔侧壁总高度 (mm)。

$$\sqrt{\frac{50 \times 25 \times 180}{2 \times 50 \times 160}} \leq s = 83$$

经计算满足条件。

7 普通浇注系统设计

7.1 浇注系统的作用

定义：注射模的浇注系统是指熔体从注射机的喷嘴开始到型腔为止流动的通道。浇注系统分为普通浇注系统和热流道浇注系统两种。

作用：将熔体平稳地引入型腔，使之按要求填充型腔的每一个角落；使型腔内的气体顺利地排除；在熔体填充型腔和凝固的过程中，能充分地把压力传到型腔各部位，以获得组织致密、外形清晰、尺寸稳定的塑料制品；填充——排气——保压、凝固、定型。

7.2 设计的基本原则

- 1) 适应塑料的成型工艺特性。
- 2) 利于型腔内气体的排出。
- 3) 尽量减少塑料熔体的热能及压力损失。
- 4) 避免熔融塑料直冲细小型芯或嵌件。
- 5) 便于修整，不影响塑件的外观质量。
- 6) 防止塑件翘曲变形。
- 7) 便于减少塑料消耗量和减小模具尺寸。

7.3 普通浇注系统的组成与设计

在注射模具中，浇注系统一般由主流道、分流道、浇口和冷料穴四个部分组成。见图7-1。

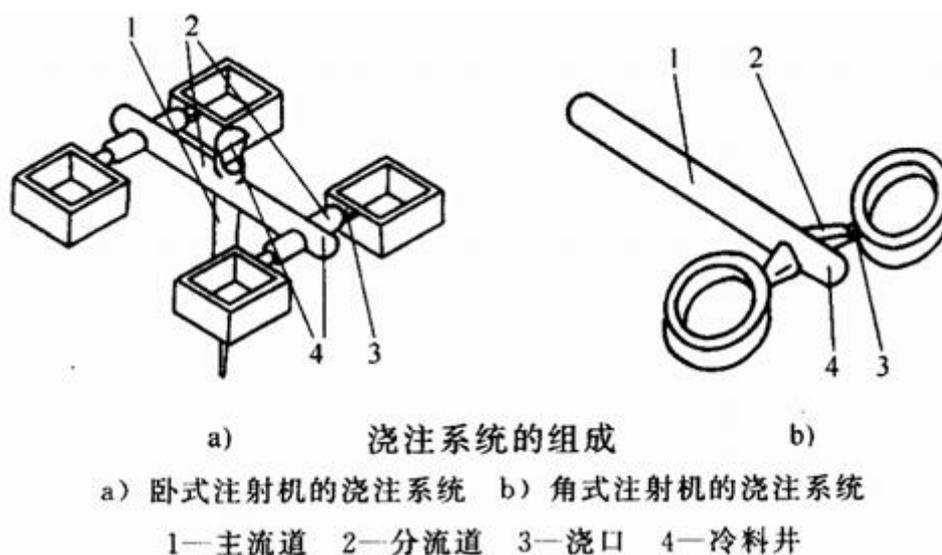


图 7-1

7.3.1 主流道

注射机的喷嘴与模具接触的部位起到分流道为止的一段流道。

7.3.1.1 主流道特点

- 1) 熔体在主流道中不改变流动方向。
- 2) 主流道一般位于模具中心线上, 与注射机喷嘴同轴, 以利于浇注系统的对称布置。
- 3) 主流道一般设计得比较粗大, 以利于减少熔体流动阻力和压力损失, 使熔体顺利流向分流道。
- 4) 但主流道也不能设计得太大, 否则浇注系统凝料增加, 浪费材料; 而且对于直接浇口, 会增加去除浇注系统凝料的困难。
- 5) 因此通常对于粘度大的塑料(流动性差)或尺寸较大的制品(流程长), 主流道截面应设计得大一些, 否则主流道截面应设计得小一些。
- 6) 由于主流道大端经常需要与高温塑料和喷嘴频繁接触, 且往往主流道需要穿过几块模板因此设计主流道衬套是很有必要: a. 频繁接触会导致损坏, 设置主流道衬套后坏了更换可以快速经济; b. 主流道衬套的材料可以与模板不同, 因此可以节省贵重金属; c. 如果主流道需要穿过几块模板而不设置主流道衬套, 模板之间会出现溢料, 导致主流道凝料难以取出。
- 7) 主流道衬套受到型腔或分流道塑料的反挤压力而脱出, 因此主流道衬套必须与定模座板连接必须可靠。

7.3.1.2 主流道尺寸

主流道横截面形状通常采用比表面积最小的圆形截面。因主流道垂直于分型面, 主流道设计成锥形, 锥角 $\alpha = 2^\circ \sim 4^\circ$, 内壁粗糙度 R_a 小于 $0.4 \mu m$, 小端直径 D 大于喷嘴直径 $0.5 \sim 3 \text{ mm}$, 通常取 $3 \sim 6 \text{ mm}$ 。主流道长度由定模厚度确定:

- 1) 主流道大端直径约取 $D = d + 2L \tan \alpha = 8 \text{ mm}$;
- 2) 主流道球面半径: 主流道入口的凹坑球面半径 R , 应该大于注射机喷嘴球头半径的 $2 \sim 3 \text{ mm}$ 。反之, 两者不能很好的贴合, 会让塑件熔体反喷, 出现溢边致使脱模困难。 $SR = \text{注射机喷嘴球头半径} + 2 \sim 3$ 取 $SR = 13 + 2.5 = 15.5 \text{ (mm)}$;
- 3) 主流道长度 L : 一般按模板厚度确定, 但为了减小充模时压力降和减少物料损耗, 以短为好, 小模具控制在 50 之内在出现过长流道时, 可以将主流道衬套挖出深凹坑, 让喷嘴伸入模具。本设计中结合该模具的结构取 $L = 69.5 \text{ (mm)}$;
- 4) 浇口套的结构尺寸见图 7-2

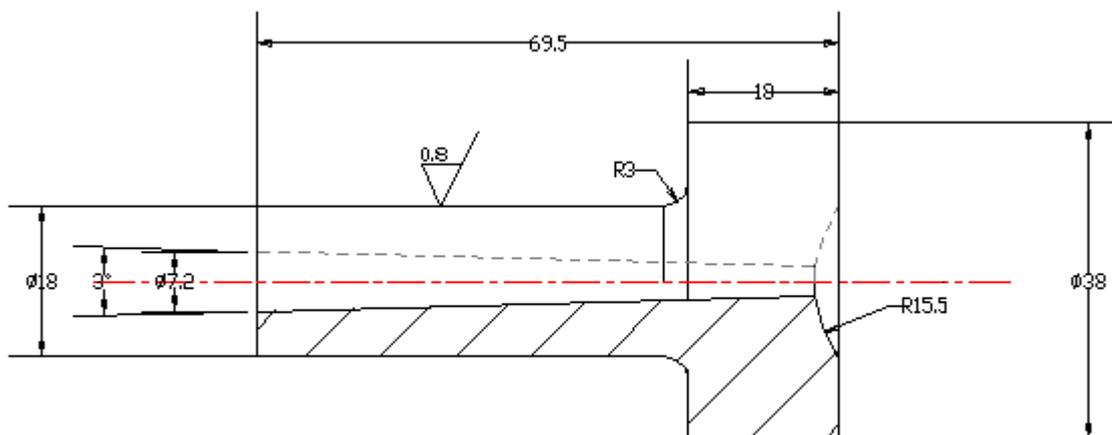


图 7-2

4) 定位圈的结构尺寸见图 7-3

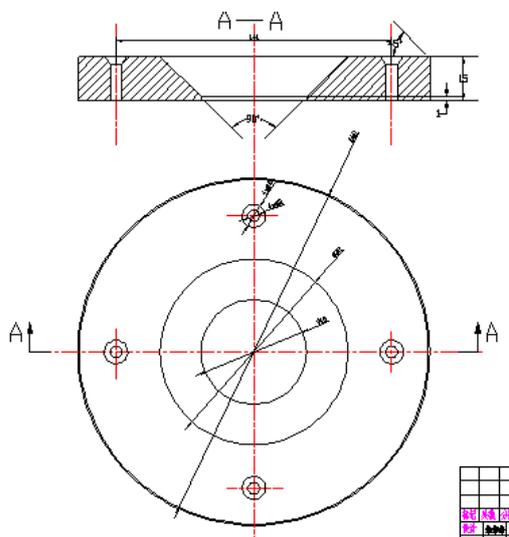


图 7-3

7.3.2 分流道

介于主流道与浇口之间的一段流道，起过渡作用。

在多型腔或单型腔多浇口时应设置分流道，分流道是指主流道末端与浇口之间这一段塑料熔体的动通道，其作用是通过流道截面及方向变化，使熔料能平稳地转换流向注入型腔。分流道最理想的设计就是把流动树脂在流道中的压降降到最小。在多种常见截面当中，圆形截面的压降是最小的。

7.3.2.1 分流道设计原则

1) 一般应使从主流道来的熔体快速且均匀地到达浇口并充满型腔，因此要求分流道的流动阻力小，熔体降温少，流道凝料少，并且能将熔体均衡地分配到各个型腔。）型腔

和分流道的布局以平衡式为佳。以确保各分流道的长度、截面形状和尺寸相同，各个型腔同时均衡进料，同时充满型腔。最好使制品和流道在分型面上总投影面积的几何中心和锁模力的中心重合。

2) 型腔和分流道的布局以平衡式为佳。以确保各分流道的长度、截面形状和尺寸相同，各个型腔同时均衡进料，同时充满型腔。最好使制品和流道在分型面上总投影面积的几何中心和锁模力的中心重合。

3) 分流道表面不必很光滑，这样，流道内料流的外层流速较低，容易冷却而形成固定表皮层。

4) 分流道一般开设在动模或定模的一侧，以方便模具加工。

5) 分流道截面通常采用梯形或矩形，并要求截面尺寸适中，如截面过小，在相同注射压力下，使充模时间延长，制品容易出现缺料及波纹等缺陷。

7.3.2.2 分流道尺寸

分流道直径参考见表 7-4

表 7-4 常用塑料的分流道直径

塑料名称或代号	分流直径/mm	塑料名称或代号	分流直径/mm
ABS AS	4.8—9.5	PP	4.8—9.5
POM	3.2—9.5	PE	3.6—9.5
丙烯酸类	8.0—9.5	PP0	6.4—9.5
PA	3.6—9.5	PPO	3.2—9.5
PC	4.8—9.5	PVC	3.2—9.5

分流道截面积 A_r : $A_r = (D^2/4) \pi = (6^2/4) \pi \text{ mm}^2 = 28.27 \text{ mm}^2$

7.3.3. 冷料穴和拉料杆设计

注射成型是一个周期性的，喷嘴处有冷料产生，为了防止在下一次成型时把冷料带进型腔而影响制品质量，一般在主流道或分流道的末段设置冷料穴，以储藏冷料并使熔体顺利充满型腔。并非所有注射模都需要开设冷料穴，有时由于塑料的工艺性能和注射工艺条件控制得好，很少产生冷料，且制品要求不高，可以不设冷料穴。

常见的冷料穴拉料结构可分为以下四种类型：带 Z 形头拉料杆；球形拉料杆；圆锥形拉料杆；无拉料杆冷料穴。该设计的拉料杆见图 7-5。

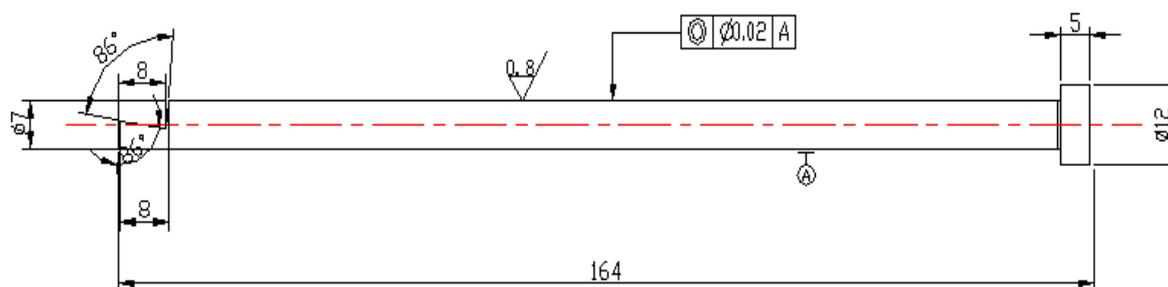


图 7-5

该注射模设采用的是第一种冷料穴拉料结构形式，在冷料穴底部有一根和冷料穴公称直径相同的 Z 形头的顶杆，称为 Z 形头拉料杆，这是最常用的形式。由于拉料杆头部的侧凹将主流道凝料钩住，分模时即可将该凝料从主流道中拉出。拉料杆的根部是固定在顶出板上的，故在制品顶出时，冷料也一同被顶出，取产品时朝着拉料钩的侧向稍许移动，即可将制品连同浇注系统凝料一道取下。

主流道冷料穴常设在主流道的末端，开模时应将主流道中的冷凝料拉出，所以冷料穴直径宜稍大于主流道大端直径；其中 D 为主流道大端直径，该模具取 $d=D=7$ (mm)。

7.3.4 浇口设计

7.3.4.1 浇口：是分流道与型腔之间最狭窄部分，也是浇注系统中最短小部分。

7.3.4.2 浇口的作用

1) 使从分流道来的熔体产生加速，以快速充满型腔。当熔体通过狭小的浇口截面时，其剪切速率增高，同时由于摩擦作用，熔体温度升高，熔体粘度降低，流动性提高，有利于充填型腔，获得外形清晰的塑料制品，但小浇口熔体流动阻力大，压力损失多，延长充模时间。

2) 熔体充满型腔后由接触面向中心层冷却固化由于浇口截面最狭窄，总是首先凝固，而凝固封闭后的浇口可以防止熔体倒流。

3) 便于浇口凝料与制品分离。

7.3.4.3 浇口的种类、特点及应用场合

1. 直接浇口 特点：a. 熔体通过主流道直接进入型腔，流程短，进料快，流动阻力小，传递压力好，保压补缩强；b. 浇注系统凝料少，模具结构简单，制造方便；c. 去除浇口不便且产生明显的浇口痕迹，型腔封口迟，易产生气孔和缩孔。-----应用场合：深腔的壳形或箱形制品。

2. 中心浇口（直接浇口的变异形式）又可变异成盘形浇口，环形浇口，轮辐式浇口和爪形浇口。

3. 侧浇口（又称边缘浇口）

特点: a. 侧浇口一般开设在模具分型面上, 从制品内侧或外侧边缘进料; 截面形状通常采用矩形; 去除浇口方便; b. 压力损失大, 保压补缩差, 易产生气孔和缩孔及熔接痕; -----应用场合: 适用于一模多件。

4. 点浇口(又称针浇口、橄榄形浇口、或菱形浇口)

特点: a. 去除浇口后痕迹不明显, 开模后可自行拉断, 有利于自动化操作。为了使点浇口拉断时不至于损坏制品, 并减少流动阻力, 减小浇口的磨损, 浇口与制品连接初采用圆弧或倒角过渡; b. 压力损失大, 制品收缩大, 变形大; c. 模具应设计成双分型面(三板模), 以便脱出流道凝料, 结构复杂

5. 潜伏式浇口又称隧道式浇口或剪切式浇口)

特点: a. 由点浇口演变而来, 其流道设置在分型面上, 浇口常设在制品侧面不影响制品外观质量的较隐蔽的部位, 并与流道成一定角度, 潜入分型面下面, 斜向进入型腔, 形成能切断浇口的刀口; b. 开模时, 流道凝料由推出机构推出, 并与制品自动切断, 省掉了去除浇口工序; c. 模具结构与侧浇口相似, 但比点浇口的简单。

根据特点比较可以看出: 该注射模浇口选侧浇口比较合理; 也可参考下表 7-6。

表 7-6 部分塑料适合的浇口形式

	直接浇口	侧浇口	护耳浇口	薄片式浇口	环形浇口	圆盘浇口	点浇口	潜伏式浇口
PVC	适合	适合	适合					
PE	适合	适合					适合	
PP	适合	适合					适合	
PC	适合	适合					适合	
PS	适合	适合				适合	适合	适合
PA	适合	适合	适合			适合	适合	适合
POM	适合	适合	适合	适合	适合		适合	适合
ABS	适合	适合	适合	适合	适合	适合	适合	适合
丙烯酸脂	适合	适合	适合					

7.3.4.3. 浇口截面形状及尺寸

常见的浇口的截面形状有矩形和圆形, 这两种形式的尺寸精度容易保证, 尤其矩形浇口用得比较广泛。浇口截面尺寸的大小对熔体流速及流态均有直接关系, 从而对制品质量影响很大。一般浇口截面积与分流道截面积之比为 0.03~0.09, 表面粗糙度 Ra 值不低于 0.4。截面的形状多为矩形(宽度与厚度的比为 3: 1)或圆形; 浇口长度约为 0.5~2.0mm 左右。在设计的时候一般取小值, 在以便在试模时修正。浇口最终的具体尺寸根据经验和零件的尺寸和形状的要求确定。

7.3.4.4. 浇口位置选择原则

1) 浇口开设的位置应有利于熔体的流动和补缩: 当制品的壁厚相差较大时, 为了帮助注射过程最终压力能有效地传递到制品较厚部位以防止缩孔, 在避免产生喷射的前提下, 浇口的位置应开设在制品截面最厚处, 以利于熔体充填和补料。

2) 浇口位置应设在熔体流动时能量损失最小的部位: 在保证型腔得到良好充填的前提下, 应使熔体的流程最短, 流向变化最少, 以减少能量损失。

3) 浇口位置应有利于型腔内气体的排出: 如果进入型腔的塑料过早地封闭排气系统, 型腔内的气体就不能顺利排出, 结果会在制品上造成气泡疏松, 充模不满, 熔接不牢等缺陷。

4) 避免塑料制品产生熔接痕。

5) 防止料流将型心或嵌件挤压变形。

6) 浇口位置的选择应考虑高分子取向对塑料制品性能的影响?? 注射成型时, 应尽量减少高分子沿着流动方向上的定向作用, 以免导致制品性能、应力开裂和收缩等的方向性。但要完全避免是不可能的, 因而必须恰当设置浇口位置, 尽量避免由于定向作用造成的不利影响。

8 排气系统的设计

排气方式：利用模具零件的配合间自然排气；开设排气槽；若型腔最后充满部位不在分型面上，其附近又无可供排气的推杆或活动型芯时，可在型腔相应部位镶嵌烧结的多孔金属块以供排气。通气孔直径 D 不宜太大，否则烧结金属块受力后易变形。

设计原则如下：

1) 排气槽通常开设在型腔最后被充满的地方，但熔体在型腔内充满的情况往往与浇口的位置有关，因此在确定浇口的位置时，同时要考虑排气槽的开设是否方便。

2) 排气槽最好开设在分型面上且在一侧，因为在分型面上如果因设排气槽而产生飞边也容易随制品脱出。

3) 排气口不应正对操作工人，以防熔体喷出发生工伤事故。

4) 排气槽最好开设在靠近嵌件或制品最薄处，因为这样的部位最容易形成熔接痕，应排出气体并排出部分冷料（兼起溢料槽作用）。

但该模具为中小型模具，且分型面适宜，可利用分型面排气，所以无需设计排气槽。

9 结构零部件设计

9.1. 标准模架

模架是注射模的骨架和基体,通过它将模具的各个部分有机地联系成为一个整体。标准模架一般由定模座板、定模板、动模板、动模支撑板、垫块、动模座板、推杆固定板、导柱、导套及复位杆等组成部分。另外还有特殊结构的模架,如点浇口模架、带推件板推出的模架等。模架中其他部分可根据需要进行补充,如精确定位装置、支撑柱等。

模架基本型组合是以直接浇口(包括潜伏式浇口)为主,其代号分别为 A3、A2、A3、A4 型四种。基本型组合:

- (1) 推杆推出机构: 1) 定模两板, 动模一板式 (A3 型);
- 2) 定、动模均匀两板式 (A2 型);
- (2) 推件板推出机构: 1) 定模两板, 动模一板式 (A3 型);
- 2) 定、动模均为两板式 (A4 型);

标准模架的实施和采用是实现模具 CAD/CAM 的基础,可大大缩短生产周期,降低模具制造成本,提高模具性能和质量。为了适应模具工业的迅速发展,模架的标准化程度和要求也必将不断深入和提高。因而此模架的选择是采用 EMX 软件,标准化选择的,效率又高,标准化程度又高。经过综合各方面考虑,此设计采用的是 A2 型组合。

9.2. 支承零部件设计

模具的支承零部件主要指用来安装固定或支承成型零件及其他结构零件的零部件。支承零部件主要包括固定板、垫板、支承件及模座等。

a: 定模座板 (346×296mm, 厚 34mm);

定模座板就是模具与注射机连接处的板,开模时定模板和定模座板直接分开,构成第一分型面。因导柱是固定在定模部分,定模座板与注射机直接接触,导柱的台阶被压在定模座板里。

b: 定模板 (296×296, 厚 46mm);

按常规这应该是定模固定板,但是鉴于塑件的特殊性,把型腔和定模板直接做成整体式,故叫做定模板,用以成型塑件的外部部分形状。导柱与定模板上的导柱孔采用 H7/f6 的间隙配合,导套与定模板的孔采用 H7/m6 的过渡配合才能保证导柱自由的来回滑动导正;同时为了顺利产生第二次分型。

c: 动模板 (296×296, 厚 46mm);

d: 支承板 (296×296, 厚 36mm);

支承板的作用是防止型腔、型芯、导柱或顶杆等脱出固定板,并承受型腔、型芯或顶杆等的压力,因此它要具有较高的平行度和硬度。一般采用 45 钢,经热处理 235HB 或 50 钢、40Cr、40MnB 等调质 235HB,或结构钢 Q235~Q275。还起到了支承的作用,其要承受

成形压力导致的模板弯曲应力。

e: 推件板 (78×396, 厚 5mm);

在此模具中不是平常说的完全意义的推板, 而是直接和推杆固定的一块薄板, 既推件板。

f: 支架(参考零件图)。

9.3. 合模导向机构设计

9.3.1 导向机构的作用

1) 定位作用: 模具装配或闭合过程中, 避免模具动、定模的错位, 模具闭合后保证型腔形状和尺寸的精度。

2) 导向作用: 动、定模合模时, 首先导向零件相互接触, 引导动定模正确闭合, 避免成型零件先接触而造成成型零件的损坏。

3) 承受一定的侧向压力: 塑料熔体在注入型腔过程中可能产生单向侧向压力, 或由于注射机精度的限制, 会使导柱在工作中不可避免受到一定的侧向压力。当侧向压力很大时, 不能仅靠导柱来承担, 还需加设锥面定位装置。

导柱导向机构是比较常用的一种形式, 其主要零件是导柱和导套。

9.3.2 导柱

导柱结构尺寸见图 9-1。

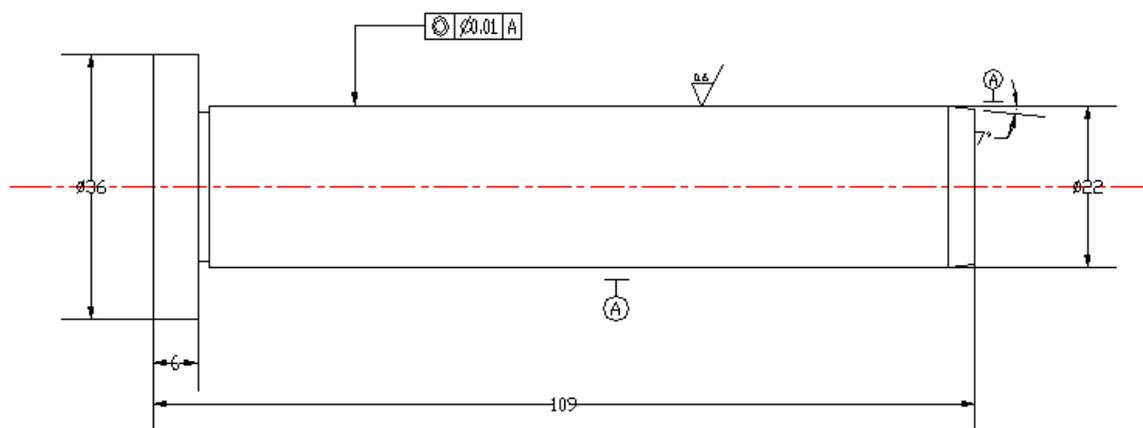


图 9-1

9.3.3 导套

设计要点: 导套前端应倒有圆角。通常导套采用淬火钢或铜等耐磨材料制造, 但硬度应低于导柱硬度, 以改善摩擦及防止导柱或导套拉毛。导套孔滑动部分按 H8 / f8 间隙配合, 导套外径按 H7 / n6 过渡配合。结构尺寸见图 9-2。

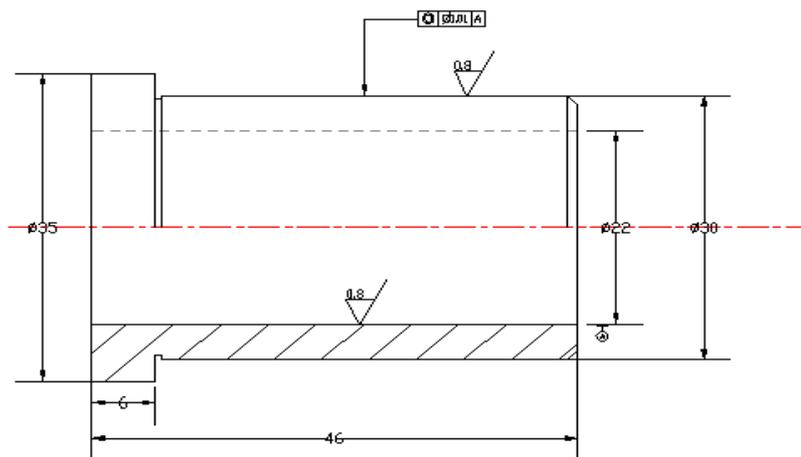


图 9-2

9.3.4 导柱导向机构设计要点

导柱导向机构适用于精度要求高，生产批量大的模具。当对于小批生产的简单模具，可不采用导套，直接与模体间隙配合。同时在设计导柱和导套时应注意以下几点：

1) 导向零件应合理地均匀分布在模具的周围或靠近边缘的部位，其中心至模具边缘应有足够的距离，以保证模具的强度，防止压入导柱和导套后变形。

2) 导柱的长度比型心端面的高度高出 $6\sim 8\text{mm}$ ，以免型心进入凹模时与凹模相碰而损坏。

3) 导柱和导套应有足够的耐磨度和强度，长采用 20 号低碳钢经渗碳 $0.5\sim 0.8\text{mm}$ ，淬火 $48\sim 55\text{HRC}$ ，也可采用 T8A 碳素工具钢，经淬火处理，导柱工作部分的表面粗糙度为 $Ra0.4\ \mu\text{m}$ 。

4) 为了使导柱能顺利地进入导套、导柱端部应做成锥形或半球形，导套的前端也应倒角。

5) 导柱设在动模一侧，可以保护型心不受损坏，而设在定模一侧则便于顺利脱模取出塑件，因此可根据需要而决定装配形式。

6) 一般导柱的滑动部分的配合形式按 $H8/f8$ ，导柱和导套固定部分的配合按 $H7/k6$ ，导套外径的配合按 $H7/k6$ 。

7) 除了动模、定模之间设导柱、导套外，一般还在动模座板与推板之间设置导柱和导套，以保证推出机构的正常运动。

8) 导柱的直径应根据模具的大小而决定，也可参考标准模架的数据。

对以上各个条件的综合考虑，本设计中采用了二根导柱，其布置为等直径导柱对称布置。

10 推出机构设计

10.1 推出机构定义

把塑件及浇注系统从型腔中或型芯上脱出来的机构。

10.2 推出机构设计原则

- 1) 结构可靠。
- 2) 推出位置尽量选在塑件内侧, 保证塑件外观良好。
- 3) 保证塑件推出时不变形不损坏, 脱模力作用位置靠近型芯, 脱模力应作用于塑件刚度及强度最大的部位, 作用力面积尽可能大。
- 4) 尽量使塑件留于动模一侧, 塑件留于动模推出机构简单, 否则要设计定模推出机构。
- 5) 尽量选在垂直壁厚的下方, 可以获得较大的顶出力。
- 6) 每一副模具的顶杆直径最好是加工成直径相同的, 使加工容易。
- 7) 圆推杆的顶部不是平面时要防转。
- 8) 把塑件推出模具 30mm 左右; 如果脱模斜度较大时可以顶出塑件深度的 2/3 就可以了。

10.3 脱模阻力计算

根据公式见式(10.1)

$$Q = \frac{8t \times E \times S \times L \times f}{(1 - m)(1 + f)} \quad \text{式(10.1)}$$

式中: Q ——脱模力(N);

t ——塑件平均壁厚 (mm);

E ——塑料弹性模量;

S ——塑料平均成形收缩率;

L ——包容凸模的长度;

f ——塑料与钢的摩擦系数;

m ——塑料的帕松比;

$E=200000 \text{ N/cm}^2$; $S=0.0225$; $L=3.8$; $f=0.3$; $m=0.3$; $t=0.3$

代入上式(10.1)得:

$$Q = \frac{8 \times 0.1 \times 200000 \times 0.0225 \times 1.8 \times 0.3}{(1 - 0.3)(1 + 0.3)} = 2136 \text{ N}$$

10.4 注射机及各个参数的校核

1、注射压力的校核:

该注射机的注射压力为 350MPa, PE 的注射压力为 80~330MPa, 所以能够满足要求。

2、由注射机料筒塑化速率校核型腔数量 n 见式(10.2)。

$$n \leq \frac{KMT/3600 - M_2}{M_1} \quad \text{式(10.2)}$$

$$= 3.65 \geq 2 \quad (\text{符合要求})$$

式中 K ——注射机最大注射量的利用系数, 一般取 0.8

M ——注射机的额定塑化量 (g/h 或 cm^3/h);

T ——成形周期 ;

M_2 ——浇注系统所需塑料质量和体积 (g 或 cm^3);

M_3 ——单个制品的质量和体积 (g 或 cm^3)。

3、按注射机的最大注射量校核型腔数量 n 见式(10.3)。

$$n \leq \frac{KM_n - M_2}{M_1} \quad \text{式(10.3)}$$

$$= 2.0637.3 \geq 2 \quad (\text{符合要求})$$

式中 M_n ——注射机允许的最大注射量 (g 或 cm^3);

4、按注射机的锁模(合模)力的校核。

注射模从分型胀开的力(锁模力)应小于注射机的额定锁模力, 既见式(10.4)。

$$F \geq p(nA_3 + A_2) \quad \text{式(10.4)}$$

式子的右面为 429932.8 (符合要求)

式中 F ——注射机的额定锁模力 (N)

A_3 ——单个制品在模具分型面上的投影面积 (mm^2);

A_2 ——浇注系统在模具分型面上的投影面积 (mm^2);

p ——塑料熔体在模腔内的平均压力 (MPa), 通常模腔内的压力为 20~40MPa; 成型一;

般制品为 24~34MPa; 精密制品为 39~44MPa;

本设计中取模腔内的平均压力为 40MPa;

n ——型腔个数。

5、开模行程的校核见式(10.5)。

$$S_{\max} \geq S = H_3 + H_2 + 5 \sim 30 \quad \text{式(10.5)}$$

上式右边 $S = 32 + 34 + 46 + 5 = 337\text{mm}$,

而注射机的最大开模行程是 300mm, 所以 (符合要求);

式中 S_{\max} ——注射机最大开模行程 (mm);

H_3 ——推出距离 (mm);

H_2 ——包括浇注系统在内的制品高度 (mm)。

10.5 推杆推出位置的选择

- 1) 避开冷却通道的位置。
- 2) 一般可以允许顶杆侵入塑件不超过 0.3mm, 一般不允许顶杆端面低于塑件成型表面。
- 3) 只要不损伤塑件的外观, 尽可能多设顶杆, 减少塑件的脱模接触应力。
- 4) 推杆应在排气困难的位置, 可兼起排气的作用。

推杆结构尺寸见图 10-1。

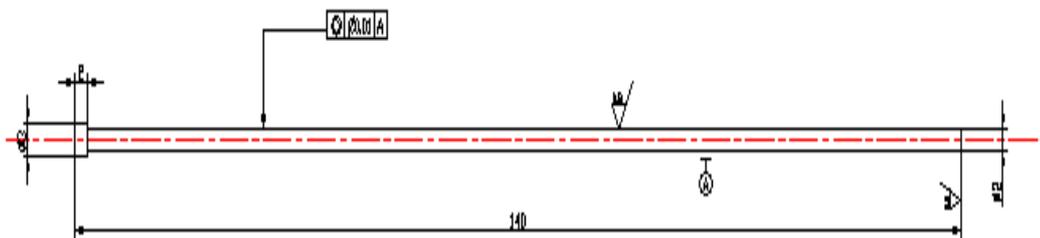


图 10-1

10.5.1 推杆的复位

复位杆复位: 借助模具闭合动作使推出机构复位的杆件, 复位时其顶面与分型面平齐。
如: 弹簧复位。

本设计结构简单设有支架, 推杆可以省略。

10.5.2 推件板的设计

适用范围: 薄壁容器、壳体零件。

特点: 推出力大且均匀、无推出痕迹; 但非圆形件推件板与型芯配合部分的加工较麻烦(线切割)。

推件板与塑件接触部位要有一定的硬度与表面粗糙度, 对于大批量的高精度塑件成型, 常将推件板设计成局部镶嵌的组合结构。

11 温度调节系统

11.1 模具温度及其调节的重要性

模具温度(模温)是指模具型腔和型芯的表面温度。不论是热塑性塑料还是热固性塑料的模塑成型,模具温度对塑料制件的质量和生产率都有很大的影响。

1) 模具温度对塑料制件质量的影响

模具温度及其流动对塑料制件的收缩率、尺寸稳定性、力学性能、变形、应力开裂和表面质量等均有影响。模具温度过低,熔体流动性差,制件轮廓不清晰,甚至充不满型腔或形成熔接痕,制件表面不光泽,缺陷多,力学性能低。

2) 模具温度对模塑成型周期的影响

缩短模塑成型周期就是提高模塑效率。缩短模塑成型周期关键在于缩短冷却硬化时间,而缩短冷却时间,可通过调节塑料和模具的温差,因而在保证制件质量和成型工艺顺利进行的前提下,降低模具温度有利于缩短冷却时间,提高生产效率。在模具中设置温度调节系统的目的,就是要通过控制模具温度,使模塑成型具有良好的产品质量和较高的生产率。模具温度的调节是指对模具进行冷却或加热,必要时两种皆有,从而达到控制模温的目的。

11.2 模具温度与塑料成型温度的关系

注射模具中的热塑性熔融树脂,必须在模具内冷却固化才能成为塑件,所以模具温度必须低于模具内熔融树脂的温度,即达到 θ_g (玻璃化温度)以下的某一温度范围,由于树脂本身的性能特点不同,不同的塑料要求有不同的模具温度。

总之要得到优质产品,模具必须进行温度控制,在设计模具时根据塑料成型工艺的需要,设置冷却装置或加热装置。

11.3 冷却系统的结构设计

一般注射到模具内塑料温度为 200°C 左右,而制品固化后从模具型腔中取出时其温度在 60°C 以下。热塑性塑料在注射成形后,必须对模具进行有效的冷却,使熔融塑料的热量尽快地传给模具,以使塑料可靠冷却定型并可迅速脱模,提高塑件的定型质量和生产效率。

对于粘度低、流动性好的塑料(例如:聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、尼龙66等),因为成形工艺要求模温都不太高,所以常用常温水对模具进行冷却,以使塑件在模内加快冷却定型缩短成型周期,提高生产率。

PE的成形温度、模具温度脱模温度分别为 $150\sim 250^{\circ}\text{C}$ 、 $50\sim 70^{\circ}\text{C}$ 、 $70\sim 110^{\circ}\text{C}$ 。

11.3.1 冷却介质

有冷却水和压缩空气,但用冷却水较多,因为水的热容量大,传热系数大,成本低。

用水冷却,即在模具型腔周围或内部开设冷却水道。

11.3.2 冷却系统的设计原则

- 1) 冷却水孔的数量越多,孔径越大,则对塑件的冷却的效果越均匀。
- 2) 尽可能使冷却水孔至型腔表面的距离相等,当塑件的壁厚均匀时,冷却水孔与型腔表面的距离应处处相等。
- 3) 浇口处加强冷却,一般在注射成型时,浇口附近的温度最高。
- 4) 应降低进水与出水的温差,如果进水与出水的温差过大,将使模具的温度分布不均匀。
- 5) 合理选择冷却水道的形式,对于收缩大的塑件应沿收缩方向开设冷却水孔。
- 6) 合理确定冷却水管接头位置。
- 7) 冷却系统的水道尽量避免与模具上其他机构发生干涉现象,设计时要通盘考虑。
- 8) 冷却水管进出接头应埋入模板内,以免模具在搬运过程中造成损坏。

11.3.3 冷却装置的理论计算

如果忽略模具因空气对流、热辐射以及与注射机接触所散发的热量,不考虑模具金属材料的热阻,可对模具冷却系统进行初步的和简略的计算。

- 1) 求塑件在固化时每小时释放的热量 Q 见式(11.1)。

$$Q=WQ_3 \quad \text{式(11.1)}$$

查得聚乙烯单位质量放出的热量 $Q_3=6.9\sim 8.3\times 10^2\text{KJ/Kg}$, 取 $Q_3=8.0\times 10^2\text{KJ/Kg}$,

$$\begin{aligned} Q &= WQ_3 \\ &= 9.49\times 10^{-2} (\text{Kg/min}) \times 8\times 10^2 \times 60 \\ &= 4555.2\text{J/h} \end{aligned}$$

式中 W ——单位时间(每分钟)内注入模具中的塑料质量 (Kg/min), 该模具每分钟注射一次, 所以 $W=2.7\times 35.15=9.49\times 10^{-2} (\text{Kg/min})$ 。

- 2) 求冷却水的体积流量见式(11.2)。

$$\begin{aligned} q_v &= \frac{wq_1}{rC_1(q_1 - q_2)} \quad \text{式(11.2)} \\ &= \frac{9.49\times 10^{-2} \times 8\times 10^2}{10^3 \times 4.187 \times (25^\circ - 20^\circ)} \\ &= 3.63\times 10^{-3} (\text{m}^3/\text{min}) \end{aligned}$$

式中 r ——冷却水的密度, 为 1000kg/m^3 ;

C_1 ——冷却水的比热容, 为 $4.387\text{KJ}/(\text{Kg}\cdot^\circ\text{C})$;

q_1 ——冷却水的出口温度，为 25 度；

q_2 ——冷却水的入口温度，为 20 度。

3) 求冷却管道直径 d

查表得为使冷却水处于湍流状态，取 $d=8\text{mm}$

4) 求冷却水在管道内的流速 v 见公式(11.3)。

$$v = \frac{4q}{\rho d} \quad \text{式(11.3)}$$

$$v=3.2\text{m/s}$$

5) 求冷却管道孔壁与冷却水之间的传热模系数 h 见公式(11.4)。

查表得，当水温为 25 度时， $f=6.84$ 。

$$h = 3.6f \frac{(rv)^{0.8}}{d^{0.2}} \quad \text{式(11.4)}$$

$$= 18.833 \times 10^3 \text{ KJ} (m^2 \cdot h^\circ C)$$

6) 求冷却管道总传热面积 A 见公式(11.5)。

$$A = \frac{60Q}{h\Delta q} \quad \text{式(11.5)}$$

$$= \frac{60 \times 4.5552}{18.833 \times 10^3 \times [80 - (25 + 20) / 2]}$$

$$= 0.255 \times 10^{-3} m^2$$

式中 Δq ——模具温度与冷却水温度之间的平均温差，模具温度取 80 度。

结论

通过一学期对插座面板模具的设计,我注塑模具的设计方法与流程有了一个比较全面的了解。在这个不断设计、学习、再设计的反复操作过程中,我们潜移默化地学习到了一种科学的设计思路和方法,这对我们以后的工作态度和将产生积极的影响。特别是在利用现代化的设计上,我有了很多的自己的设计思想。

在设计的过程中,遇到了很多的问题,尤其是在流道的设计、推出机构的设计以及成型零件的计算等方面,费了很多周折,也走了很多弯路。而在装配图的绘制中,又遇到了前面设计上的很多结构错误,对细节的反复修改较多。经过很长时间的思考和查阅资料,才成功地完成了本套模具的设计过程。

当然,本模具的设计也存在了很多的问题,在实际中也许并没有办法正常运作。毕竟是在学校做毕业设计,难免会存在各种各样的问题。

在模具的设计过程中,很多时候都是依靠同学们的帮助和老师的指导,才能顺利地继续往下设计,在这里要感谢同学的帮助,也向各位指导老师表示衷心的感谢!

致谢

首先感谢我的导师张万利老师，他的博学多才令人折服。我在做毕业设计过程中，遇到了不少困难，尤其是机构和制图方面的一些小细节，在导师一遍一遍不厌其烦的指导下改了又改，最终做出了令自己比较满意的设计。可以说没有导师的耐心指导，曾经一度真的进展不下去了，因为有的时候真不知道要怎么才能解决让人崩溃的以自己的能力根本就没有发现的棘手问题。现在想来，在导师的搀扶下走过的这半年做设计的过程，自己还真的长进不少，张老师，谢谢啦！

当然在做设计的过程中，和张老师同个办公室的老师也功不可没。因为每个老师都有自己的强项，他们在和自己的弟子讲些要点的时候，我们都可以去听，去提问题。提醒我从多面去检查设计中可能存在的问题。

本组戴银国同甘共苦的兄弟姐妹们，我毕业设计能按时按质的完成离不开你们的帮助。在一起讨论时让我收益颇多，都真城拿出自己解决问题的经验，让我少走了弯路，让我的设计渐渐成熟。

还有一些根本不认识但给我们做设计提供了许多方便的人，如机房管理员，为了不耽误我们做设计，周末也照上班等，细数、细想真让人感动。

难得有机会在这里诚谢各位。

祝各位：永远快乐！生活完美！

我会永远记得您！

朱伟伟

2008 05 28

参考文献

- [1] 夏江梅. 塑料成型模具与设计[M]. 机械工业出版社, 2005.
- [2] H. 瑞斯. 模具工程[M]. 化学工业出版社, 2005.
- [3] 贾润礼. 程志远. 实用注射模设计手册[M]. 中国轻工业出版社.
- [4] 王树勋. 注射模设计与制造实用技术[M]. 华南理工大学出版社.
- [5] 李翔鹏. Pro/ENGINEEG 野火版 3.0——模具设计篇[M]. 人民邮电出版社.
- [6] 冯炳堯. 模具设计与制造简明手册[M]. 机械工业出版社.
- [7] 屈昌华. 塑料成型工艺与模具设计[M]. 机械工业出版社.

附录

附录 1

An experimental study of the water-assisted injection molding of glass fiber filled poly-butylene-terephthalate (PBT) composites

Abstract: The purpose of this report was to experimentally study the water-assisted injection molding process of poly-butylene-terephthalate(PBT) composites. Experiments were carried out on an 80-ton injection-molding machine equipped with a lab scale water injection system, which included a water pump, a pressure accumulator, a water injection pin, a water tank equipped with a temperature regulator, and a control circuit. The materials included virgin PBT and a 15% glass fiber filled PBT composite, and a plate cavity with a rib across center was used. Various processing variables were examined in terms of their influence on the length of water penetration in molded parts, and mechanical property tests were performed on these parts. X-ray diffraction (XRD) was also used to identify the material and structural parameters. Finally, a comparison was made between water-assisted and gas-assisted injection molded parts. It was found that the melt fill pressure, melt temperature, and short shot size were the dominant parameters affecting water penetration behavior. Material at the mold-side exhibited a higher degree of crystallinity than that at the water-side. Parts molded by gas also showed a higher degree of crystallinity than those molded by water. Furthermore, the glass fibers near the surface of molded parts were found to be oriented mostly in the flow direction, but oriented substantially more perpendicular to the flow direction with increasing distance from the skin surface.

Keywords: Water assisted injection molding; Glass fiber reinforced poly-butylene-terephthalate (PBT) composites; Processing parameters; B. Mechanical properties; Crystallinity; A. Polymer matrix composites;

1. Introduction

Water-assisted injection molding technology [1] has proved itself a breakthrough in the manufacture of plastic parts due to its light weight, faster cycle time, and relatively lower resin cost per part. In the water-assisted injection molding process, the mold cavity is partially filled with the polymer melt followed by the injection of water into the core of the polymer melt. A schematic diagram of the water-assisted injection molding process is illustrated in Fig. 1. Water-assisted injection molding can produce parts incorporating both thick and thin sections with less shrink-age and warpage and with a better surface finish, but with a shorter cycle time. The water-assisted injection molding process can also enable greater freedom of design, material savings, weight reduction, and cost savings in terms of tooling and press capacity requirements [2–4]. Typical applications include rods and tubes, and large sheet-like structural parts with a built-in water channel network. On the other hand, despite the advantages associated with the process, the molding window and process control are more critical and difficult since additional processing parameters are involved. Water may also corrode the steel mold, and some materials including thermoplastic composites are difficult to mold successfully. The removal of water after molding is also a challenge for this novel technology. Table 1 lists the advantages and limitations of water-assisted injection molding technology.

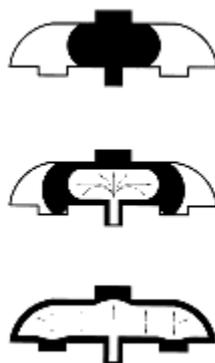


Fig. 1. Schematic diagram of water-assisted injection molding process.

Water assisted injection molding has advantages over its better known competitor process, gas assisted injection molding [5], because it incorporates a shorter cycle time to successfully mold a part due to the higher cooling capacity of water during the molding process. The incompressibility,

low cost, and ease of recycling the water makes it an ideal medium for the process. Since water does not dissolve and diffuse into the polymer melts during the molding process, the internal foaming phenomenon [6] that usually occurs in gas-assisted injection molded parts can be eliminated. In addition, water assisted injection molding provides a better capability of molding larger parts with a small residual wall thickness. Table 2 lists a comparison of water and gas assisted injection molding. With increasing demands for materials with improved performance, which may be characterized by the criteria of lower weight, higher strength, and a faster and cheaper production cycle time, the engineering of plastics is a process that cannot be ignored. These plastics include thermoplastic and thermoset polymers. In general, thermoplastic polymers have an advantage over thermoset polymers in popular materials in structural applications. Poly-butylene-terephthalate (PBT) is one of the most frequently used engineering thermoplastic materials, which is formed by polymerizing 1,4 butylene glycol and DMT together. Fiber-reinforced composite materials have been adapted to improve the mechanical properties of neat plastic materials. Today, short glass fiber reinforced PBT is widely used in electronic, communication and automobile applications. Therefore, the investigation of the processing of fiber-reinforced PBT is becoming increasingly important [7–10]. This report was made to experimentally study the water-assisted injection molding process of poly-butylene-terephthalate (PBT) materials. Experiments were carried out on an 80-ton injection-molding machine equipped with a lab scale water injection system, which included a water pump, a pressure accumulator, a water injection pin, a water tank equipped with a temperature regulator, and a control circuit. The materials included a virgin PBT and a 15% glass fiber filled PBT composite, and a plate cavity with a rib across center was used. Various processing variables were examined in terms of their influence on the length of water penetration in molded parts, which included melt temperature, mold temperature, melt filling speed, short-shot size, water pressure, water temperature, water hold and water injection delay time. Mechanical property tests were also performed on these molded parts, and XRD was used to identify the material and structural parameters. Finally, a comparison was made between water-assisted and gas-assisted injection molded parts.

Table 1

Advantages and disadvantages of water-assisted injection molding

Advantages	Disadvantages
1. Short cycle time	1. Corrosion of the steel mold due to water
2. Low assisting medium cost (water is much cheaper and can be easily recycled)	2. Larger orifices for the injection pin required (easier to get stuck by the

	polymer melt)
3. No internal foaming phenomenon in molded parts	3. Some materials are more difficult to mold (especially amorphous thermoplastics)
	4. Removal of water after molding is required

2. Experimental procedure

2.1. Materials

The materials used included a virgin PBT (Grade 1111FB, Nan-Ya Plastic, Taiwan) and a 15% glass fiber filled PBT composite (Grade 1210G3, Nan-Ya Plastic, Taiwan). Table 3 lists the characteristics of the composite materials.

2.2. Water injection unit

A lab scale water injection unit, which included a water pump, a pressure accumulator, a water injection pin, a water tank equipped with a temperature regulator, and a control circuit, was used for all experiments [3]. An orifice-type water injection pin with two orifices (0.3 mm in diameter) on the sides was used to mold the parts. During the experiments, the control circuit of the water injection unit received a signal from the molding machine and controlled the time and pressure of the injected water. Before injection into the mold cavity, the water was stored in a tank with a temperature regulator for 30 min to sustain an isothermal water temperature.

2.3. Molding machine and molds

Water-assisted injection molding experiments were conducted on an 80-ton conventional injection-molding machine with a highest injection rate of 109 cm³/s. A plate cavity with a trapezoidal water channel across the center was used in this study. Fig. 2 shows the dimensions of

the cavity. The temperature of the mold was regulated by a water-circulating mold temperature control unit. Various processing variables were examined in terms of their influence on the length of water penetration in water channels of molded parts: melt temperature, mold temperature, melt

fill pressure, water temperature and pressure, water injection delay time and hold time, and short shot size of the polymer melt. Table 4 lists these processing variables as well as the values used in the experiments.

2.4. Gas injection unit

In order to make a comparison of water and gas-assisted injection molded parts, a commercially available gas injection unit (Gas Injection PPC-1000) was used for the gas assisted injection molding experiments. Details of the gas injection unit setup can be found in the Refs. [11–15]. The processing conditions used for gas-assisted injection molding were the same as that of water-assisted injection molding (terms in bold in Table 4), with the exception of gas temperature which was set at 25 °C.

2.5. XRD

In order to analyze the crystal structure within the water-assisted injection-molded parts, wide-angle X-ray diffraction (XRD) with 2D detector analyses in transmission mode were performed with Cu K α radiation at 40 kV and 40 mA. More specifically, the measurements were performed on the mold-side and water-side layers of the water-assisted injection-molded parts, with the 2 θ angle ranging from 7° to 40°. The samples required for these analyses were taken from the center portion of these molded parts. To obtain the desired thickness for the XRD samples, the excess was removed by polishing the

Table 3

Characteristics of the glass–fiber reinforced PBT composite

Property	ASTM PBT	15% G.F. PBT
----------	----------	--------------

Yield strength (kg/cm ²)	D-638 600 1000
Bending stress (kg/cm ²)	D-570 900 1500
Hardness (R-scale)	D-785 119 120
Heat distortion temperature(^L C) (18.6 kg/cm ²)	D-648 60 200
Melt flow index (MFI)	D-1238 40 25 1238
Impact strength (Kg-cm/cm)	D-256 5 5
Melting temperature (^L C)	DSC 224 224

samples on a rotating wheel on a rotating wheel, first with wet silicon carbide papers, then with 300-grade silicon carbide paper, followed by 600- and 1200-grade paper for a better surface smoothness.

2.6. Mechanical properties

Tensile strength and bending strength were measured on a tensile tester. Tensile tests were performed on specimens obtained from the water-assisted injection molded parts (see Fig. 3) to evaluate the effect of water temperature on the tensile properties. The dimensions of specimens for

the experiments were 30 mm · 10 mm · 1 mm. Tensile tests were performed in a LLOYD tensiometer according to the ASTM D638M test. A 2.5 kN load cell was used and the crosshead speed was 50 mm/min.

Bending tests were also performed at room temperature on water-assisted injection molded parts. The bending specimens were obtained with a die cutter from parts (Fig. 3) subjected to various water temperatures. The dimensions of the specimens were 20 mm · 10 mm · 1 mm. Bending tests were performed in a micro tensile tester according to the ASTM D256 test. A 200 N load cell was used and the crosshead speed was 50 mm/min.

2.7. Microscopic observation

The fiber orientation in molded specimens was observed under a scanning electron microscope (Jeol Model 5410). Specimens for observation were cut from parts molded by water-assisted injection molding across the thickness (Fig. 3). They were observed on the cross-section perpendicular to the flow direction. All specimen surfaces were gold sputtered before observation.

3. Results and discussion

All experiments were conducted on an 80-ton conventional injection-molding machine, with a highest injection rate of 109 cm³/s. A plate cavity with a trapezoidal water channel across the center was used for all experiments

Table 4

The processing variables as well as the values used in the experiments

A	B	C	D	E	F
Melt pressure (Mpa)	Melt temperature (^L C)	Short shot size (%)	Water pressure (Mpa)	Water temperature (^L C)	Mold temperature (^L C)
140	280 (270)	76	8	80	80
126	275 (265)	77	9	75	75
114	270 (260)	78	10	70	70
98	265 (255)	80	11	65	65
84	260 (250)	81	12	60	60

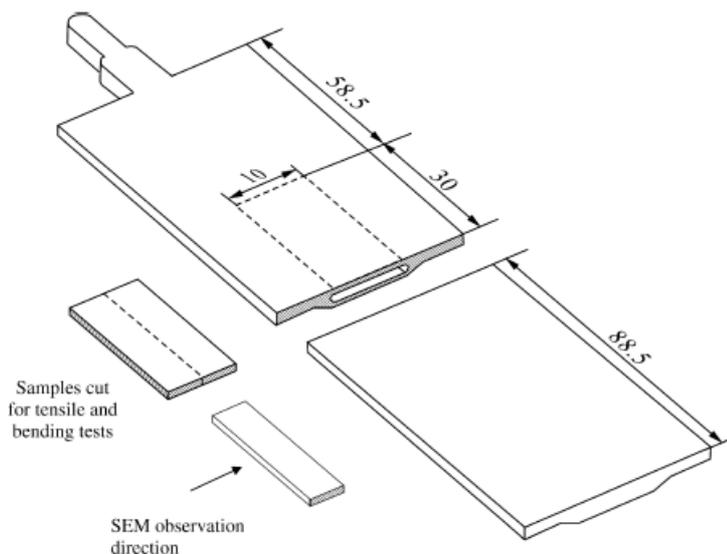


Fig. 3. Schematically, the positioning of the samples cut from the molded parts for tensile and bending tests and microscopic observations.

3.1. Fingerings in molded parts

All molded parts exhibited the water fingering phenomenon at the channel to plate transition areas. In addition, molded glass fiber filled composites showed more severe water fingerings than those of non-filled materials, as shown photographically in Fig. 4. Fingerings usually form when a less dense, less viscous fluid penetrates a denser, more viscous fluid immiscible with it. Consider a sharp two phase interface or zone where density and viscosity change rapidly. The pressure force ($P_2 \gamma P_1$) on the displaced fluid as a result of a virtual displacement dx of the interface can be described by [16], where U is the characteristic velocity and K is the permeability. If the net pressure force is positive, then any small displacement will be amplified and lead to an instability

and part fingerings. For the displacement of a dense, viscous fluid (the polymer melt) by a lighter, less viscous one (water), we can have $Dl = 11 \gamma l_2 > 0$, and $U > 0$ [16]. In this case, instability and the relevant fingering result when a more viscous fluid is displaced by a less viscous one, since the less viscous fluid has the greater mobility. The results in this study suggest that glass fiber filled composites exhibit a higher tendency for part fingerings. This might be due to the fact that the viscosity difference Dl between water and the filled composites is larger than the difference between water and the non-filled materials. Water assisted injection molded composites thus exhibit more severe part fingerings.

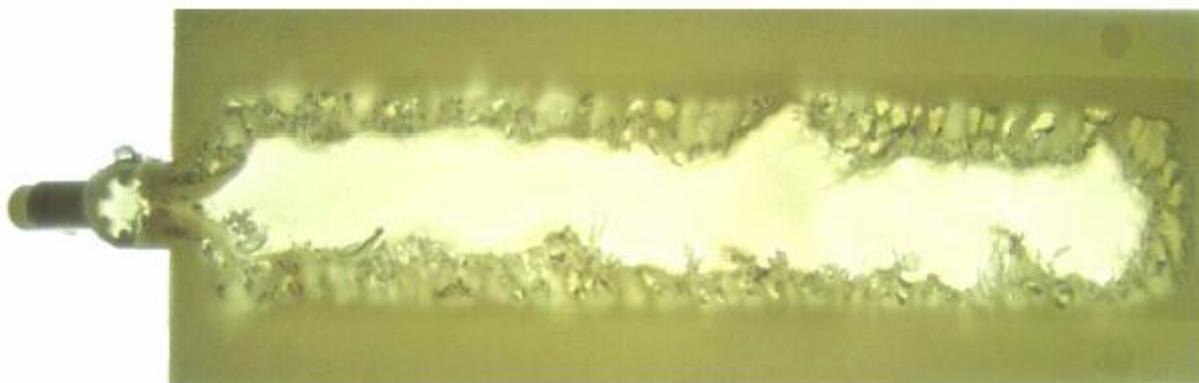


Fig. 4. Photograph of water-assisted injection molded PBT composite part.

3.2. Effects of processing parameters on water penetration

Various processing variables were studied in terms of their influence on the water penetration behavior. Table 4 lists these processing variables as well as the values used in the experiments. To mold the parts, one central processing condition was chosen as a reference (bold term in Table

By changing one of the parameters in each test, we were able to better understand the effect of each parameter on the water penetration behavior of water assisted injection molded composites. After molding, the length of water penetration was measured. Figs. 5–10 show the effects of these processing parameters on the length of water penetration in molded parts, including melt fill pressure, melt temperature, mold temperature, short shot size, water temperature, and water pressure. The experimental results in this study suggest that water penetrates further in virgin PBT than in glass fiber filled PBT composites. This is due to the fact that with the reinforcing glass fibers the composite materials have less volumetric shrinkage during the cooling process. Therefore, they mold parts with a shorter water penetration length. The length of water penetration decreases with the melt fill pressure (Fig. 5). This can be explained by the fact that increasing the melt fill pressure increases the flow resistance inside the mold cavity. It is then more difficult for the water to penetrate into the core of the materials. The length of water penetration decreases accordingly [3]. The melt temperature was also found to reduce the water penetration in molded PBT composite parts (Fig. 6). This might be due to the fact that increasing the melt temperature decreases viscosity of the polymer melt. A lower viscosity of the materials helps the water to pack

the water channel and increase its void area, instead of penetrating further into the parts [4]. The hollow core ratio at the beginning of the water channel increases and the length of water penetration may thus decrease. Increasing the mold temperature decreases somewhat the length of water penetration in molded parts (Fig. 7). This is due to the fact that increasing the mold temperature decreases the cooling rate as well as the viscosity of the materials. The water then packs the channel and increases its void area near the beginning of the water channel, instead of penetrating further into the parts [3]. Molded parts thus have a shorter water penetration length. Increasing the short shot size decreases the length of water penetration (Fig. 8). In water-assisted injection molding, the mold cavity is partially filled with the polymer melt followed by the injection of water into the core of the polymer melt [4]. Increasing the short shot size of the polymer melt will therefore decrease the length of water penetration in molded parts. For the processing parameters used in the experiments, increasing the water temperature (Fig. 9) or the water pressure (Fig. 10) increases the length of water penetration in molded parts. Increasing the water temperature decreases the cooling rate of the materials and keeps the polymer melt hot for a longer time; the viscosity of the materials decreases accordingly. This will help the water penetrate

further into the core of the parts [3]. Increasing the water pressure also helps the water penetrate into the materials. The length of water penetration thus increases. Finally, the deflection of molded parts, subjected to various processing parameters, was also measured by a profilometer. The maximum measured deflection is considered as the part warpage. The result in Fig. 11 suggests that the part warpage decreases with the length of water penetration. This is due to the fact that the longer the water penetration, the more the water pressure can pack the polymeric materials against the mold wall. The shrinkage as well as the relevant part warpage decreases accordingly.

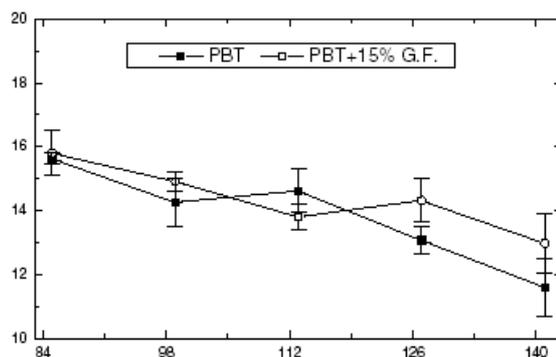


Fig. 5. Effects of melt fill pressure on the length of water penetration in molded parts.

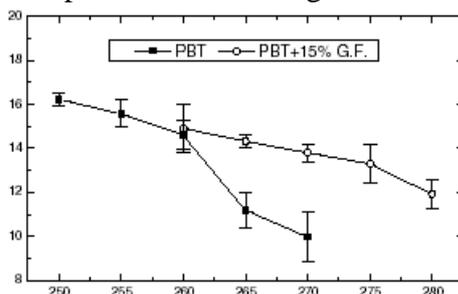


Fig. 6. Effects of melt temperature on the length of water penetration in molded parts.

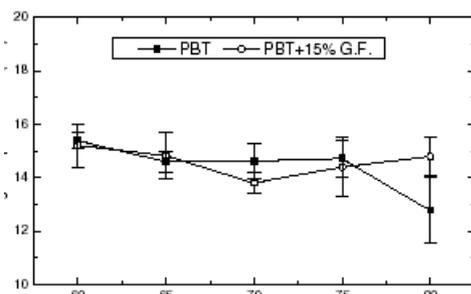


Fig. 9. Effects of water temperature on the length of water penetration in molded parts.

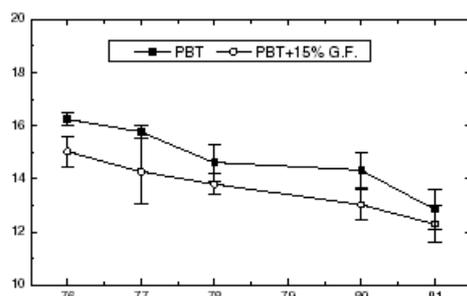


Fig. 7. Effects of mold temperature on the length of water penetration in molded parts.

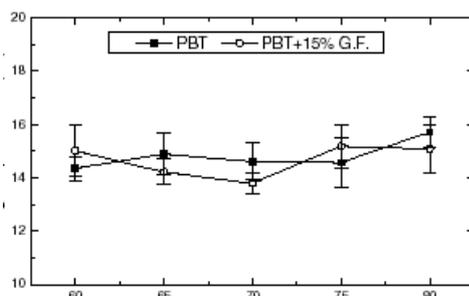


Fig. 8. Effects of short shot size on the length of water penetration in molded parts.

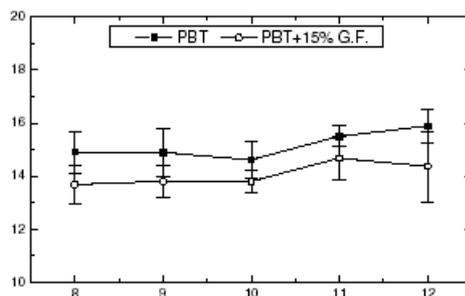


Fig. 10. Effects of water pressure on the length of water penetration in molded parts.

3.3. Crystallinity of molded parts

PBT is a semi-crystalline thermoplastic polyester with a high crystallization rate. In the water-assisted injection molding process, crystallization occurs under non-isothermal conditions in which the cooling rate varies with cooling time. Here the effects of various processing parameters

(including melt temperature, mold temperature, and water temperature) on the level of crystallinity in molded parts were studied. Measurements were conducted on a wideangle X-ray diffraction (XRD) with 2D detector analyses(as described in Section 2). The measured results in Fig. 12 showed that all materials at the mold-side layer exhibited a higher degree of crystallinity than those at the water-side layer. The result indicates that the water has a better cooling capacity than the mold during the cooling process. This matches our earlier finding [17] by measuring the in-mold temperature distribution. In addition, the experimental result in Fig. 12c also suggests that the crystallinity of the molded materials generally increases with the water temperature. This is due to the fact that increasing the water temperature decreases the cooling rate of the materials during the cooling process. Molded parts thus exhibited a higher level of crystallinity. On the other hand, to make a comparison of the crystallinity of parts molded by gas and water, gas-assisted injection molding experiments were carried out on the same injection molding machine as that used with water, but equipped with a high-pressure nitrogen gas injection unit [11–15]. The measured results in Fig. 13 suggests that gas-assisted injection molded parts have a higher degree of crystallinity than water-assisted injection mold parts. This is due to the fact that water has a higher cooling capacity and cools down the parts faster than gas. Parts molded by water thus exhibited a lower level of crystallinity than those molded by gas.

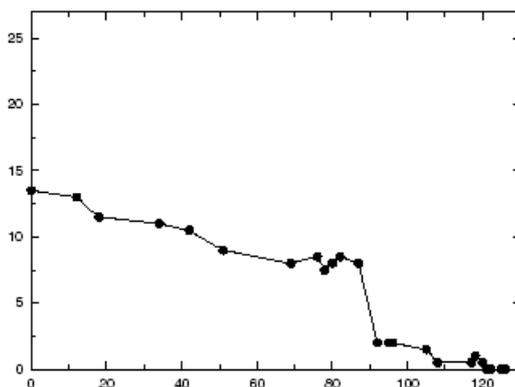


Fig. 11. Measured warpage of molded parts decreases with the length of water penetration.

3.4. Mechanical properties

Tensile tests were performed on specimens obtained from the water-assisted injection molded parts to examine the effect of water temperature on the tensile properties. Fig. 14 showed the measured decrease subjected to various water temperatures. As can be observed, both yield strength and the elongational strain at break of water assisted molded PBT materials decrease with the water temperature. On the other hand, bending tests were also performed at room temperature on water-assisted injection molded parts. The measured result in Fig. 15 suggests

that the bending strength of molded parts decreases with the water temperature. Increasing the water temperature generally decreases the cooling rate and molds parts with higher level of crystallin-content of free volume and therefore an increasing level of stiffness. However, the experimental results here suggest that the quantitative contribution of crystallinity to PBT's mechanical properties is negligible, while there is a more important quantitative increase of tensile and bending strength for the PBT materials. The mechanical properties of molded materials are dependent on both the amount and the type of crystalline regions developed during processing. The fact that the ductility of PBT decreases with the degree of crystallinity may indicate that a more crystalline and stiffer PBT developed at a lower cooling rate during processing and did not exhibit higher stress values in tensile tests because of a lack of ductility, and therefore did not behave as strong as expected from their stiffness [18]. Nevertheless, more detailed experiments will be needed for the future works to investigate the morphological parameters of water-assisted injection molded parts and their correlation with the parts' mechanical properties.

3.5. Fiber orientation in molded parts

Small specimens were cut out from the middle of molded parts in order to observe their fiber orientation. The position of the specimen for the fiber orientation observation is as shown in Fig. 3. All specimen surfaces were polished and gold sputtered before observation. Fig. 16 shows the microstructure of the water-assisted injection molded composite parts. The measured result suggests that the fiber orientation distribution in water-assisted injection molded parts is quite different from that of conventional injection ity. As is usually encountered in semi-crystalline thermoplastics, a higher degree of crystallization means a lower molded parts. In conventional injection molded parts, two regions are usually observed: the thin skin and the core. In the skin region near the wall, all fibers are oriented parallel to the injection molding, water-assisted injection molding technology is different in the way the mold is filled. With a conventional injection molding machine, one cycle is characterized by the phases of filling, packing and cooling. In the water-assisted injection molding process, the mold cavity is partially filled with the polymer melt followed by the injection of water into the core of the polymer melt. The novel filling process influences the orientation of fibers and matrix in a part significantly. From Fig. 16, the fiber orientation in water-assisted injection molded parts can be approximately divided into

three zones. In the zone near the mold-side surface where the shear is more severe during the mold filling, fibers are principally parallel. For the zone near the water-side surface, the shear is smaller and the velocity vector greater. In this case, the fiber tends to be positioned more transversely in the direction of injection. At the core, the fibers tend to be oriented more randomly. Generally speaking, the glass fibers near the mold-side surface of molded parts were found to be oriented mostly in the flow direction, and oriented substantially perpendicular to the flow direction

with increasing distance from the mold-side surface. Finally, it should be noted that a quantitative comparison of morphology and fiber orientation [21] in waterassisted molded and conventional injection molded parts will be made by our lab in future works.

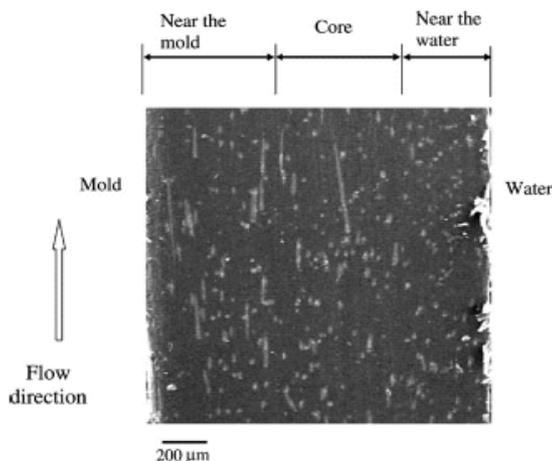


Fig. 16. Fiber orientation across the thickness of water-assisted injection molded PBT composites.

4. Conclusions

This report was made to experimentally study the water-assisted injection molding process of poly-butylene-terephthalate(PBT) composites. The following conclusions can be drawn based on the current study.

1. Water-assisted injection molded PBT parts exhibit the fingering phenomenon at the channel to plate transition areas. In addition, glass fiber filled composites exhibit more severe water fingerings than those of non-filled materials.

2. The experimental results in this study suggest that the length of water penetration in PBT composite materials increases with water pressure and temperature, and decreases with melt fill pressure, melt temperature, and short shot size.

3. Part warpage of molded materials decreases with the length of water penetration.

4. The level of crystallinity of molded parts increases with the water temperature. Parts molded by water show a lower level of crystallinity than those molded by gas.

5. The glass fibers near the surface of molded PBT composite parts were found to be oriented mostly in the flow direction, and oriented substantially perpendicular to the flow direction with increasing distance from the skin surface.

玻璃纤维增强复合材料水辅注塑成型的实验研究

摘要 : 本报告的目的是通过实验研究聚对苯二甲酸丁二醇复合材料水辅注塑的成型工艺。实验在一个配备了水辅注塑系统的 80 吨注塑机上进行, 包括一个水泵, 一个压力检测器, 一个注水装置。实验材料包括 PBT 和 15% 玻璃纤维填充 PBT 的混合物以及一个中间有一个肋板的空心盘。实验根据水注入制品的长度的影响测得了各种工艺参数以及它们的机械性能。XRD 也被用来分别材料和结构参数。最后, 作了水辅助和气体辅助注塑件的比较。实验发现熔体压力, 熔融温度, 及短射类型是影响水注塑行为的决定性参数。材料在模具一面比在水一面展示了较高的结晶度。气辅成型制品也要比水辅成型制品结晶度高。另外, 制品表面的玻璃纤维大部分取向与流动方向一致, 而随着离制品表面距离的增加, 越来越多的垂直与流动方向。

关键词: 水辅注塑成型, 玻璃纤维增强 PBT, 工艺参数, 机械性能, 结晶,

1. 前言

依靠重量轻, 成型周期短, 消耗低, 水辅注塑成型技术在塑料制品制造方面已经取得了突破。在水辅注塑成型中, 模具行腔被部分注入聚合物熔体, 而后向这些聚合物中心注入水。水辅注塑成型的原理如图 1

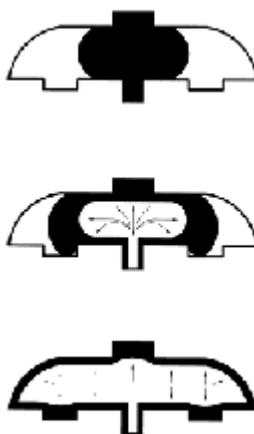


图 1 水辅注塑成型的原理如图

水辅注塑成型能够在更短的循环时间内生产出收缩小, 翘曲小, 表面质量好的各种薄厚的制品。水辅注塑成型工艺也可根据工具及设备的承受压力在设计, 节省材料, 减轻重量, 减少成本方面取得更大的自由。典型的应用有棒, 管材, 水路管网建设用的大型复合结构管。另一方面, 尽管有很多优势, 由于加入了额外的工艺参数, 模具和工艺控制变的更加严峻和困难。水也可能腐蚀模具钢, 同时一些材料包括热塑性塑料难以成型。成型后水的清除也是对这个新技术的一个挑战。表 1 列出了水辅注塑成型技术的优势和局限性。

表 1

优势	局限性
1, 成型周期短	1, 水腐蚀模具
2, 成本低(水更便宜而且可方便地循环利用)	2, 需要较大的注塑元件。(容易陷入聚合物熔体)
3, 制品内部不产生泡沫现象。	3, 一些材料难以成型(尤其是非晶态热塑性材料)
	4, 成型后需要清除水

表 1

2. 实验步骤

2.1 材料

实验材料包括 PBT (牌号 1111FB, 南亚塑料, 台湾) 和 15% 玻璃纤维填充 PBT 的混合物 (牌号 1210G3, 南亚塑料, 台湾)。表 3 列出了此混合材料的特征。

表 3 纤维增强 PBT 复合材料特征

性质	ASTM	PBT	15% G.F.PBT
屈服应力(kg/cm ²)	D-638	600	1000
弯曲应力(kg/cm ²)	D-570	900	1500
硬度	D-785	119	120
热变形温度 (°C)	D-648	60	200
MFI	D-1238	40	25
冲击强度	D-256	5	5
熔点 (°C)	DSC	224	224

2.2 水辅注塑元件

一个实验室注水元件, 包括一个水泵, 一个压力检测器, 一个注水阀, 一个配备了温度调节装置的水箱, 以及一个控制电路。这个孔板型注水阀每边有两个孔, 用来成型制件。实验过程中, 注水阀的控制电路收到由注塑机产生的信号实现对时间和注水压力的控制。在注入模具行腔之前, 水在有温控装置的水箱里加热 30 分钟。

2.3 注塑机和模具

水辅注塑成型实验在一个最高注塑速率 109cm³/s 的 80 吨注塑机上进行。研究使用了一个中间有一个肋板的空心盘。图 2 显示了这个行腔的尺寸。模具温度由一个水循环模温控制元件调节。实验根据水注入制品的长度的影响测得了各种工艺参数, 包括熔体温度, 模具温度, 熔体充模压力, 水温和水压, 注水延迟时间和保持时间, 以及熔体短射类型。表 4 列出这些工艺参数及在实验中的数值。

为了对水辅和气辅注塑成型制件进行比较, 气辅注塑成型实验使用了一个商用气辅注塑成型元件, 其具体配置可参考 RCFS。气辅注塑成型工艺控制和水辅注塑成型一样, 除了气体温度设置为 25 外。

2.5 XRD

为了分析水辅注塑成型制品的晶体结构, 实验使用了具有二维探测分析传输模式的广角 X 射线衍射仪。更特别的是实验对水辅注塑成型制品模具一边和水一边的样品在 7 到 40 的范围内进行测量。分析所用的样品来自制品中心。为了获得 XRD 样品要求的厚度, 多余的部分在一个旋转轮上打磨掉。首先用湿的碳硅纱布, 而后用粒度 300 的, 再用粒度 600 和 1200 的, 以获得更好的表面质量。

2.6 机械性能

拉伸强度和弯曲强度测试在一个拉力测试机上进行。实验对水辅注塑成型制件样本进行拉力测试以评估水温对拉伸性能的影响。样本的尺寸为 30mm*10mm*1mm。

水辅注塑成型制件的弯曲实验也在室温下进行。弯曲样本的尺寸为 20mm*10mm*1mm

2.7 显微镜观察

用电子扫描显微镜 (型号 5410) 观察制品中纤维的分子取向。样品为取自注塑成型制件厚度方向上 (图 3)。在垂直于流动方向了对截面进行观察。观察前, 所有样品表面镀金。

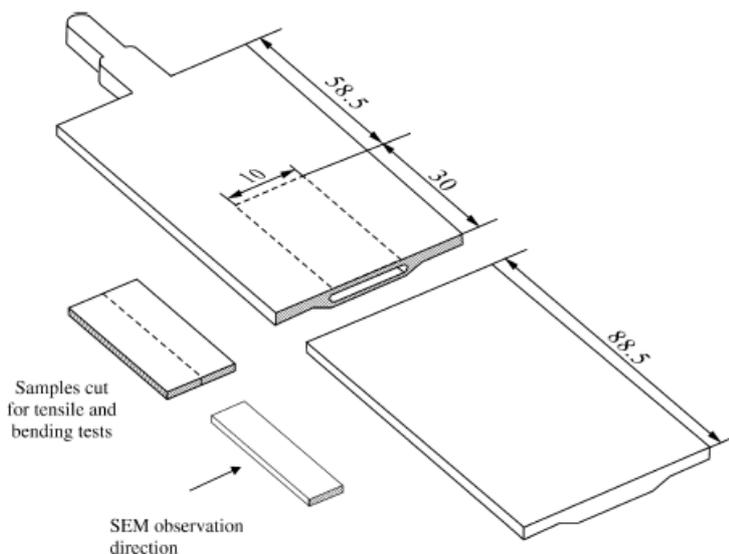


图3 拉伸和弯曲测试切取样品的位置图示

3 结果和讨论

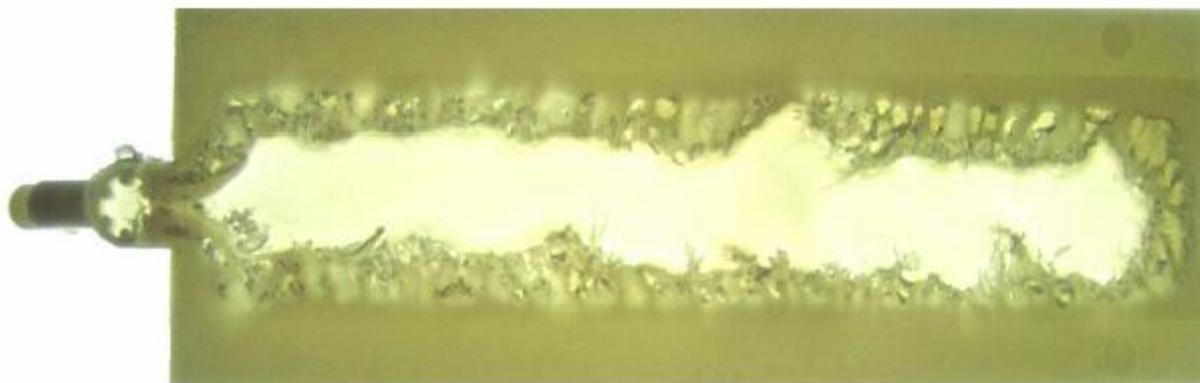
所有实验在一个最高注塑速率 $109\text{cm}^3/\text{s}$ 的 80 吨注塑机上进行。所有研究中使用了一个中间有一个肋板水道的空心盘。

3.1 制品的指形效应

所有制品都在水道的过度区域出现了指形效应。并且，玻璃纤维增强的复合材料指形效应比不增强的更严重，如图 4 所示。指形效应一般在一种密度小，粘性低的液体穿过另一种密度大，粘性高的不相溶液体时产生。考虑一个密度和黏度变化都很快的两相界面或区域。流体移动的压力 $P_2 - P_1$ 导致有效的置换量用下式描述

$$\delta P = (P_2 - P_1) = [(\mu_1 - \mu_2)U/K]\delta x$$

这里 U 是特性速率， K 是穿透性。当压力为正时，任何很小的置换量都会被放大，导致不稳定并出现指形效应。当一种液体被比它密度低，黏度小的液体置换时，我们知道 $u = u_1 - u_2 \gg 0$ ，而且 $U \gg 0$ 。这时，当一个黏度较高的液体被一种黏度较低的液体置换时，这种液体流动性较高，会出现不稳定和指形效应。这次研究的结果显示玻璃纤维增强的复合材料更倾向于指形效应。这也许是因为玻璃纤维增强的复合材料和水的黏度差比较大。因此



水辅注塑成型复合材料显示了更严重的指形效应。

图4 PBT 复合材料水辅注塑成型照片

3.2 工艺参数对水穿透的影响

实验根据水穿透行为的影响测得了各种工艺参数。表 4 列出这些工艺参数以及实验中使用的数值。为了成型制件，引用了一个重要工艺条件。通过在每一个实验中改变一个参数，我们可以更好的理解在复合材料水辅注塑成型中每个参数对水穿透行为的影响。成型后，实验测量了水注塑的长度。图 5-10 显示了工艺参数对水注塑长度的影响，包括熔体充模压力，熔体温度，模具温度，短射类型，水温以及水压。

实验结果显示，水在纯净 PBT 中比在玻璃纤维增强 PBT 复合材料中穿透更深。这是由于玻璃纤维增强复合材料冷却过程中体积收缩更小，因此，制品被水穿过的长度要短些。

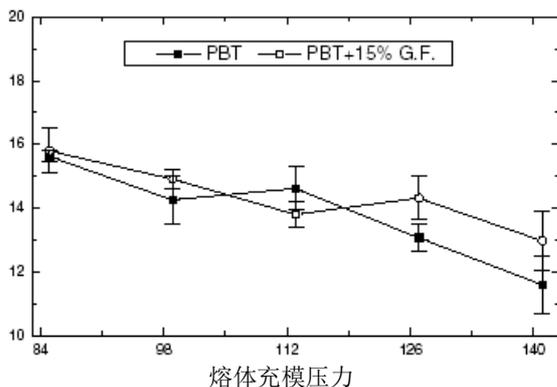


图 5, 熔体充模压力对水穿过长度的影响

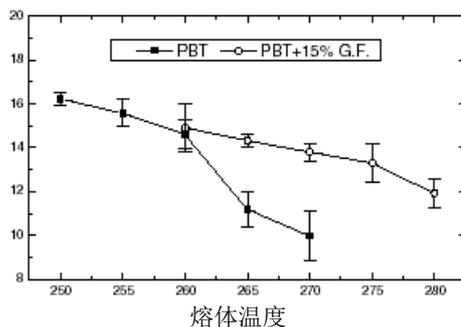


图 6 熔体温度对水穿过长度的影响

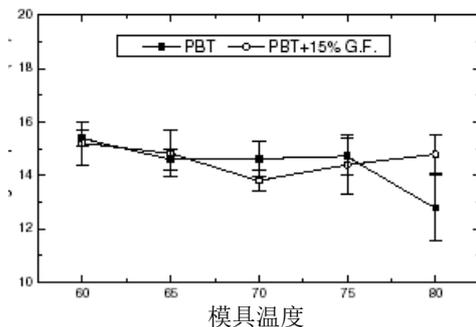


图 7 模具温度对水穿过长度的影响

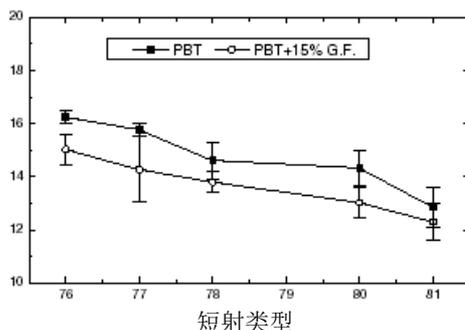


图 8 短射类型对水穿过长度的影响

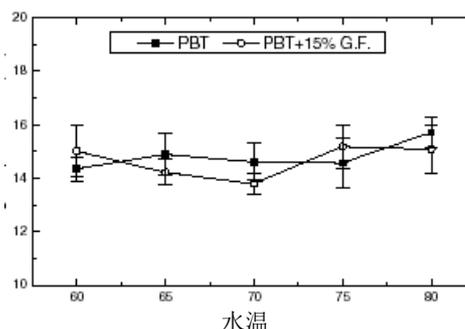


图 9 水温对水穿过长度的影响

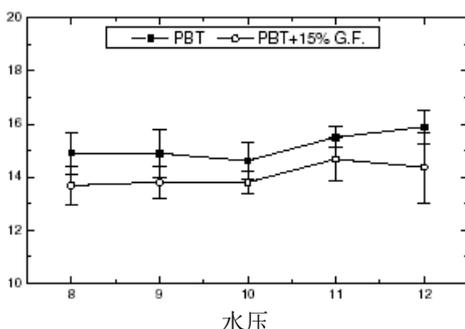


图 10 水压对水穿过长度的影响

由图 5 可以看出,水穿过长度随着熔体充模压力的增大而减小。这可以解释为由于熔体充模压力增大,模具行腔对流动的阻力增加,因此水更难以进入材料的内部。水穿过长度因而变短。

图 6 可以看出成型 PBT 复合材料制品时,随着熔体温度是增加水穿过长度也会变短。这也许是因为随着温度增加聚合物熔体的黏度降低。较低的熔体黏度有利于水包裹住水道,减少空闲区域,而不是更深的穿透。水道开头孔的变小导致了水穿过长度的变短。

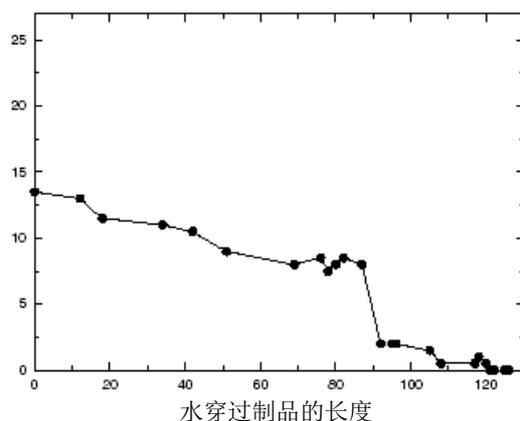
如图 7,增加模具温度稍微降低了水在成型制品中的穿过长度。这也许是因为增加模具温度降低了冷却速率以及材料的黏度。于是水就包裹了水道,减少了水道口附近的空闲空间,而不是更深的穿透制品。

如图 8,增加短射率降低了水穿过长度。在水辅注塑成型中,模具行腔被部分注入聚合物熔体,而后向这些聚合物中心注入水。聚合物熔体短射率的增加降低了水在成型制品中的穿过长度。

作为实验中的工艺参数,增加水温或者水压都增加了水在成型制品中的穿过长度。增加水温降低了冷却速率,是聚合物熔体更长时间内保温,它的黏度也因此降低。这有利于水更深的进入进口中心。增加水压也有利于水穿过物体,因此而获得更深的穿透长度。

最后,制品的偏差,各种工艺参数测量的主观性,最大的制品偏差是翘曲。表 11 的结果显示制品翘曲随着水在成型制品中的穿过长度的降低

而减少。这是因为水穿过制品的长度越长，包裹聚合物材料的水就越多。制品的翘曲和收缩也因而降低。



3.3 成型制品的结晶

PBT 是一个结晶速率很高的半结晶热塑性聚脂。在水辅注塑成型过程中，结晶在非等温条件下发生，冷却速率随着冷却时间而变化。这里研究了各种工艺参数包括充熔体温度，模具温度，以及水温对成型制品结晶的影响。测量使用了 2 维广角 X 射线衍射仪。表 12 的结果显示所有材料在模具层的结晶比在水层的结晶度要高。这个结果标志着在冷却过程中水有着更好的冷却能力。这与我们早先通过测量模内温度分布得到的结果一致。另外，表 12C 的实验结果显示成型材料的结晶随着水温的增加而增加。这是因为增加水温降低了冷却过程中的材料冷却速率。成型制品因而有更高的结晶度。

另一方面，为了对水辅和气辅注塑成型制品的结晶作一个比较，我们在同一台注塑机上做了实验，不同的是注塑机装备了一个高压氮气注塑装置。结果显示气辅注塑成型制品比水辅注塑成型制品有着更高的结晶度。这是因为水比空气的冷却能力高，冷却快。因而水辅注塑成型制品比气辅注塑成型制品的结晶度要低些。

3.4 机械性能

对水辅注塑成型制品样本进行拉伸测试以观察水温对拉伸性能的影响，表 14 的测量结果显示其随水温增高而降低。正如我们看到的，PBT 材料的屈服应力和拉伸应力都随着温度增高而降低。另一方面，PBT 水辅注塑成型制品弯曲强度测试也在室温下进行。图 15 的测试结果显示，制品的弯曲强度也随温度升高而降低。

一般来说，增高水温降低了冷却速率，使制品的结晶度增高。正如我们所知，对于半结晶热塑性塑料，较高的结晶度意味着较低的自由体积因而增加了制品的刚度。但是，实验结果显示，结晶度对 PBT 力学性能的影响是微不足道的，有更重要的增加了 PBT 材料的拉伸和弯曲应力。成型材料的机械性能取决于成型过程中结晶的数量和晶体类型。PBT 的延展性随着结晶降低的事实说明 PBT 在冷却速率较低的成型过程中结晶度和刚性增加，因为缺乏延展性，成型制品在拉伸测试中的数值较高，而刚度没有预期的高。无论如何，需要更详细的实验研究水辅注塑成型制品的形态参数以及相关的机械性能。

3.5 成型制品中纤维取向

从制品的中间切取小的样品用来观察纤维的取向。观察的位置如图 3 所示。观察前，所有样品的表面被磨光并镀金。图 16 显示了水辅注塑成型制品的微型结构。

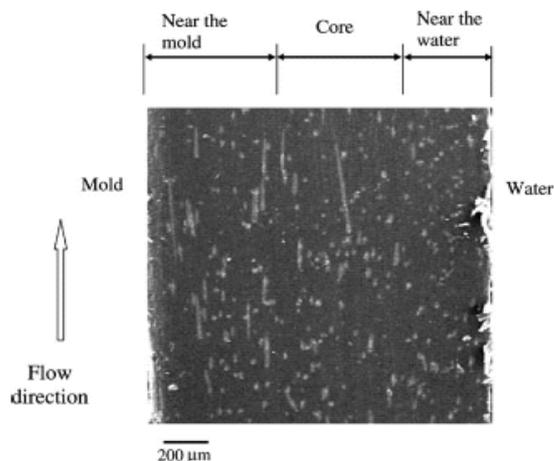


图 16 PBT 复合材料水辅注塑成型制品的纤维取向

测量结果显示水辅注塑成型制品中的纤维取向与常规注塑制品有明显区别。

在常规注塑制品中一般观察两个区域：薄壁处与中心。在薄壁区域，所有纤维取向与流动方向平行，而在中心，纤维在流动平面内取向随意。与常规注塑成型相比，水辅注塑成型技术的充模方式不同。对于常规注塑机，一个循环周期被定义为充模，保压，冷却 3 个阶段。而在水辅注塑成型过程中，模具行腔被部分注入聚合物熔体，而后向这些聚合物中心注入水。这个新颖的充模方式明显影响了纤维的取向。

由图 16 可以看出，水辅注塑成型制品的纤维取向大致可分为 3 个区域，在模具一边的表面，这里充模时剪切很严重，纤维很规则的平行。在水一侧的表面，剪切作用不明显，速率快，在这种情况下，纤维更倾向与垂直与注射方向。在制品中心，纤维取向很随意。总的来说，模具一边的制品表面的玻璃纤维取向大部分与流动方向一致，而随着离这一表面距离的增加，纤维取向逐渐的垂直与流动方向。最后，应该注意的是，我们实验室应该在今后的研究中对水辅注塑成型和常规注塑成型的纤维取向和形态做一个定量的比较。

4 结论

本报告的目的是通过实验研究聚对苯二甲酸丁二醇复合材料水辅注塑的成型工艺。基于当前实验可得出以下结论

1.水辅注塑成型制品在水道的过度区域出现了指形效应。并且，玻璃纤维增强复合材料的指形效应比不增强的更严重

2.研究的实验结果显示 PBT 复合材料的水穿透长度随着水温和水压的增加而增加。随着熔体充模压力，熔体温度，模具温度，短射量的增加而降低。，

3.制品的翘曲随着水穿透的程度而降低了。

4.注塑制品的结晶度随着水温的升高而提高。水辅成型制品的结晶度比气辅的要低。

5.模具一边的制品表面的玻璃纤维取向大部分与流动方向一致，而随着离这一表面距离的增加，纤维取向逐渐的垂直与流动方向。