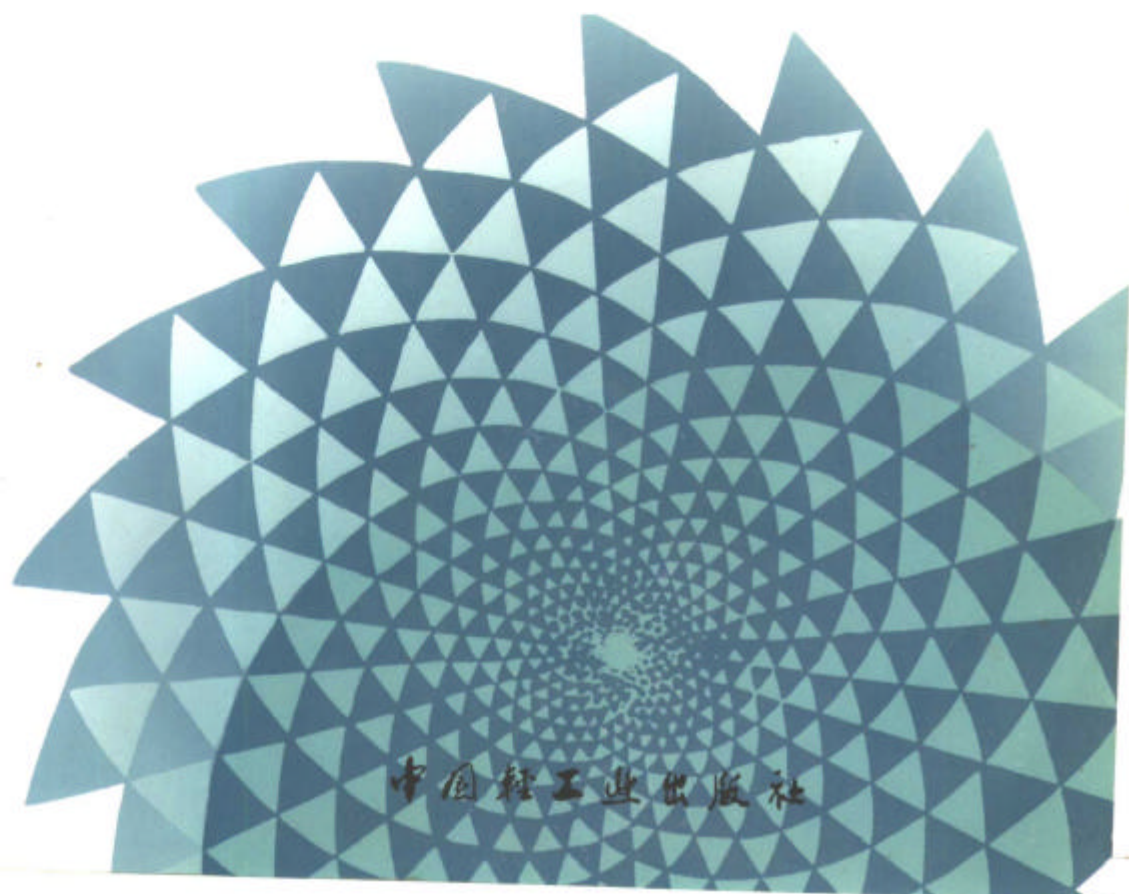


HotMold.com 收集整理 欢迎转载

· 塑料模具设计与制造丛书 ·

大型 注塑模具设计

· 奚永生 鲍明飞 刘晓明 编著 ·



中国轻工业出版社

0.66

塑料模具设计与制造丛书

大型注塑模具设计

奚永生 鲍明飞 刘晓明 编著

中国轻工业出版社

内 容 简 介

本书重点讨论了大型注射模具的设计步骤,计算方法,采用微型计算机模拟注射模具系统的设计等。根据大型塑料注射模具的特点,向读者介绍了大型注射模具的结构。选材、热处理。型腔表面处理、延长模具使用寿命的措施等,对塑件产生废疵品的原因和如何提高制品质量等工艺问题,也有详细的分析。

本书适合于从事模具设计的技术人员、工人及在校的大中专模具专业的师生阅读。

图书在版编目(CIP)数据

大型注塑模具设计/奚永生等编著. —北京:中国轻工业出版社,1996.8

(塑料模具设计与制造丛书/王淳主编)

ISBN 7-5019-1905-4

I. 大… II. 奚… III. 注塑-塑料模具-设计 IV. TQ320.

66

中国版本图书馆 CIP 数据核字(96)第 14171 号

塑料模具设计与制造丛书

大型注塑模具设计

奚永生 鲍明飞 刘晓明 编著

责任编辑 王淳

*

中国轻工业出版社出版

(北京市东长安街6号)

三河市宏达印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

*

787×1092 毫米 1/16 印张:8.50 字数:200千字

1996年12月 第1版第1次印刷

印数:1—4000 定价:17.00

ISBN7-5019-1905-4/TQ·0104

出版说明

为了满足从事模具设计和制造的读者需要,我们组织编辑了模具设计与制造丛书,包括《实用注塑模具设计》、《大型注塑模具设计》、《精密注塑模具设计》等。把塑料注射模具以泛用、大型、精密三种形式,向读者介绍了模具在设计 and 制造加工过程中的问题及注意重点。

这套丛书是从中小型普通模具到大型、精密模具的顺序编辑的,所以读者可以从塑料注射模具设计的“入门”开始,逐步深入研究,并提高其模具的设计水平。从内容上,我们要求作者将其理论与生产实际相结合,力求使这套丛书既有感性知识又有理性知识。

《大型注塑模具设计》是作为塑料模具设计丛书之二出版的,本书的作者根据自己多年从事塑料模具的设计、研究、应用中的经验编写而成。就目前我国多数塑料制品厂家所使用的大型塑料模具依赖从国外进口的局面,以及我国有关方面资料甚少的情况,我们感到此书的设计理论和方法很富于启发性,值得读者参考。

此书的出版,希望能使广大从事模具生产的技术人员、制造模具的工人、在校的大中专模具专业的师生开拓视野、提高模具的设计水平。衷心希望广大读者对此书提出宝贵意见。

中国轻工业出版社

1996年6月16日

内 容 介 绍

本书共 18 章，内容十分广泛，几乎包含塑料模具设计的各个方面。前 3 章分别为流体流动基本方程、塑料基本性能及塑件结构设计；第四章注射模设计；第五章压模设计；第六章传递模设计；第七章挤塑模设计；第八章热成型模具设计；第九章中空吹塑模设计；第十章塑料模具结构零件及标准；第十一章塑料模 CAD/CAM；第十二章注射模结构 CAD；第十三章注射模 CAE；第十四章注射模软件开发与应用；第十五章试模与投产；第十六章模具验收维护及保养；第十七章塑料模具价格估算；第十八章塑料模具设计基础，为模具设计师提供了相关的标准与咨询服务。

本书集系统性、全面性、先进性、实用性与典型性于一身，可供从事塑料制品设计、塑料模具设计及其 CAD 软件开发与应用，以及塑料模具维护与管理的设计师、工程师、技术人员参考。尤其适用于大专院校相关专业学生课程设计与毕业设计查阅。乡镇企业亦颇具实用价值。

目 录

第一章 绪论	(1)
一 大型塑料注射模具的区分标准	(1)
二 大型塑料注射模具设计步骤与特点	(2)
三 大型塑料模具设计程序	(2)
第二章 大型塑料注射模具设计	(4)
一 有关注射机参数的校核	(4)
(一)最大注射量的校核	(4)
(二)注射压力的校核	(4)
(三)锁模力的校核	(5)
(四)注射机与模具安装尺寸的校核	(5)
(五)开模行程与顶出装置的校核	(5)
二 浇注系统的设计	(9)
(一)普通浇注系统的设计	(10)
(二)无流道系统的设计	(19)
三 加热冷却系统的设计	(23)
(一)模具冷却分析	(24)
(二)冷却面积的计算	(25)
(三)冷却水流量和所需孔径及孔数的确定	(26)
(四)冷却时间的计算	(28)
(五)冷却系统的设计	(29)
(六)加热系统的设计	(32)
(七)微型计算机模拟注射模具冷却系统设计	(34)
四 成型零件的设计	(36)
(一)成型零件工作尺寸的计算	(36)
(二)型腔壁厚和垫板厚度的计算	(39)
(三)分型面的确定	(47)
(四)排气系统的设计	(48)
(五)成型零件的设计	(49)
(六)细长型芯的变形	(51)
五 合模导向机构的设计	(55)
(一)设计导向机构的要点	(55)
(二)导向机构的设计	(56)
(三)锥面定位结构设计	(58)
六 侧向分型抽芯机构的设计	(59)
(一)侧向分型抽芯机构的抽拔力计算	(59)

(二)侧抽拔距的计算	(60)
(三)斜导柱驱动滑块抽芯机构的设计	(60)
(四)T型板分型	(65)
(五)油缸液压分型	(66)
(六)弯销分型抽芯机构	(67)
(七)斜滑的组合式型腔侧抽芯结构	(67)
七 脱模机构的设计	(67)
(一)脱模力的计算	(68)
(二)推杆脱模机构的设计	(69)
(三)推板脱模机构的设计	(71)
(四)腔模分段加对开分型的脱模机构	(72)
(五)浮动导向滑块推出机构的设计	(73)
八 塑料三板式注射模具的设计	(75)
第三章 延长模具使用寿命的措施	(81)
一 设计大型塑料注射模具应采取的措施	(81)
(一)大型塑料注射模具的结构设计	(81)
(二)塑料模具材料的选择	(81)
(三)塑料模具材料的热处理	(83)
二 塑料模具型腔表面硬化处理的方法	(90)
(一)模具对型腔表面硬化特性要求	(90)
(二)模具型腔表面硬化处理的方法	(90)
(三)表面强化工艺特点及其应用	(90)
三 模具使用应采取的措施	(93)
(一)模具使用时的保养措施	(93)
(二)模具型腔磨损后的修复措施	(93)
(三)模具不使用时的保管	(95)
第四章 塑件废品原因分析	(96)
一 概述	(96)
二 试模	(96)
三 在试模过程中塑件易产生的缺陷及原因	(96)
第五章 大型模具常用塑料的性能、用途、结构图例	(101)
一 热塑性塑料的技术数据	(101)
二 大型注塑模具结构设计实例及工艺条件	(111)
三 各种几何图形的面积及各种几何体的表面面积和体积计算	(119)
本书主要参考资料	(126)

第一章 绪 论

近年来,随着塑料工业突飞猛进地向前发展,模具设计和制造工业也发生了根本的变化。高效率、自动化、大型、超小型、高精度、高寿命的模具在整个模具产量中所占的比例越来越大,如电视机外壳、洗衣机内缸(单双缸)、电冰箱、空调机零件、浴盆、桶、周转箱等等模具。人们注意开发大型塑料模具设计和加工的新技术、新工艺。由于中小型模具的设计和制造方法对大型模具已不完全适用,从事大型塑料模具设计的科技人员迫切希望得到有关大型塑料模具设计的资料和信息。为此,本书就大型塑料模具设计要点、步骤、方法、计算、延长模具寿命等方面从理论和实践上加以详细论述。

一 大型塑料注射模具的区分标准

通常,使用的注射成型机分为大、中、小型。注射成型机以其最大注射量或最大锁模力为主要参数,但对大型模具分法不一。作者认为:锁模力在 4.9MN(500t)以上或注射量在 1kg 以上的注射机使用的模具为大型塑料注射模具。大型模具实例见表 1-1。

表 1-1 大型模具实例

名称	模具尺寸/mm	模具质量/kg	制品尺寸/mm	注射机	
				注射量/kg	锁模力/N
压滤板	200×1400×1260	2.6×10^4	1400×390×40	32	3.4×10^7
浴盆	1280×920×500	4.5×10^3	1000×600×200	1	1.5×10^7
双缸洗衣机	1240×800×1090	8.0×10^3	600×385×535	6	1.8×10^7
面包周转箱	1040×840×730	5.0×10^3	685×436×160	4	9.8×10^6
牛奶周转箱	800×640×535	2.0×10^3	476×348×156	2	5.4×10^6
盛器	720×640×580	2.0×10^3	356×294×193	2	5.4×10^6
集装箱托盘 F	1750×1700×880	1.9×10^4	1100×1100×150	—	—
集装箱托盘 B	1500×1500×620	1.0×10^4	1100×110×75	—	—
洗衣机外壳	1400×1200×950	1.3×10^4	660×660×20	—	—
汽车翼片	1550×1350×1100	1.8×10^4	910×700×600	—	—
冷藏库内箱	1700×1150×1050	1.9×10^4	1000×500×400	—	—
46cm(18in)电视框架	900×900×720	4.5×10^4	560×420×190	—	—
百叶窗	2100×1300×630	1.4×10^4	1800×900×506	—	—

二 大型塑料注射模具设计步骤与特点

(一) 受力零件的刚度要求

在设计中,对小型模具,其型腔受力件多以校核强度为准,但对大型模具则不然。因为满足强度要求的模具型腔在高压作用下仍可能产生较大变形。模具尺寸越大,这种弹性变形量也就越大,因而也就越易产生溢料现象。故大型模具的型腔校核应以刚度校核为准。

(二) 成型零件的组合适性要求

在大型模具中为了机械加工、研磨、抛光和热处理的方便,一般使用组合式结构。模具越大,型腔尺寸就越大,对组合的要求就愈高。有时从刚度角度考虑,或组合式结构不能满足刚度要求,也可采用整体式结构。

(三) 脱出制品可靠性要求

脱模机构合理与否是衡量设计水平的重要标志之一。对注射模具脱模机构的要求是:

- (1) 脱模机构能否准确可靠地脱出制件。
- (2) 脱模机构本身运动灵活,推出零件有足够的刚度和稳定性。
- (3) 推出零件应当设置在脱模阻力的合力中心且与制件要有足够大的接触面积。
- (4) 结构简单,操作方便。

(5) 在设计脱模机构时,脱模力要求准确计算,以求得可靠数据,保证受力零件的强度和刚度要求。

(6) 推出板重量大,单靠几根推杆和回程杆承担是不够的。必须另设导向机构以保证推出机构平稳运动。

(四) 对型腔排气的要求

由于大型塑料注射模具的浇注系统和型腔体积很大,积存的空气很多,同时注入型腔的熔融塑料所产生的水汽也多,熔料微量分解放出的气体也积存在型腔内。因此,排气问题在大型模具设计中显得特别重要。关于排气系统的设计,大型模具与中小型模具完全不同,这将在以后章节中叙述。

此外,设计大型模具时,要同时设置加热和冷却系统。因为在大型模具初始注射前,模具要预热到一定的模温后才能开始注射;待生产一段时间后模温升高,要保证模具温度不能太高,模具需要冷却。在发达国家,大型模具温度调节系统为恒温自动控制。

三 大型塑料模具设计程序

为了避免大型模具设计差错的发生,必须严格执行如下设计程序:

- (1) 按塑件设计原则设计产品图。
- (2) 编制设计任务书。包括估工时、估价、预报制造周期和成本。
- (3) 设计者根据塑件形状对模具结构进行构思并绘制装配草图。
- (4) 加工方案的拟定。
- (5) 总装图执行设计(提供锻造母模尺寸、电极和木型图)。

- (6) 模具设计制图(模型图、型腔电极图、机加工工艺图和零件图)。
- (7) 总体结构审核。
- (8) 尺寸校对,批准试制。
- (9) 中途产品图变更,设计改图。
- (10) 制造和试模后,记录修模部位和修改图纸尺寸。

第二章 大型塑料注射模具设计

一 有关注射机参数的校核

(一) 最大注射量的校核

大型塑料制品中所用注射成型机都是螺杆式,其最大注射能力通常以螺杆在料筒内的最大推进容积(cm^3)表示。规定最大注射量为一次注射聚苯乙烯塑料的最大千克数或体积数(kg 或 cm^3)。

注射机最大注射量 G_1 与额定注射量 G 的换算关系为:

$$G_1 = G \frac{\rho}{1.06} \quad (2-1)$$

式中 G_1 ——注射机最大注射量(kg 或 cm^3);

G ——注射机额定注射量(kg 或 cm^3);

ρ ——待加工塑料密度(g/cm^3)。

成型所需要的注射总量应小于所选注射机最大换算注射量的 80%。即:

或

$$G_1 \times 80\% > m_{\text{总质量}}$$

$$G \frac{\rho}{1.06} \times 80\% > m_{\text{总质量}} \quad (2-2)$$

式中 $m_{\text{总质量}}$ ——塑料件加浇注系统凝料的总质量(kg)。

故得:

$$m_{\text{总质量}} = n(m_{\text{件}} + m_{\text{分}}) + m_{\text{主}} + m_{\text{毛}} \quad (2-3)$$

式中 n ——模具的型腔数;

$m_{\text{件}}$ ——塑件的质量(kg);

$m_{\text{分}}$ ——浇注系统分流道凝料的质量(kg);

$m_{\text{主}}$ ——主流道凝料质量(kg);

$m_{\text{毛}}$ ——塑件飞边质量(kg)。*

由式(2-2)和式(2-3)可得注射机与模具成型塑件所需要的注射量的关系式为:

$$G \frac{\rho}{1.06} \times 80\% > n(m_{\text{件}} + m_{\text{分}}) + m_{\text{主}} + m_{\text{毛}} \quad (2-4)$$

如果注射机最大注射量以容积 V 表示,在计算注射量时就不必考虑塑料密度的问题,只把塑件加浇注系统的总容积计算出来就可以选择注射机。

(二) 注射压力的校核

在选择注射机注射压力时,应选择大于制品注射成型压力的注射压力。如果塑件形状

* 根据模具加工精度及新旧程度而定,在计算过程中适当考虑即可,浇口质量很小,可忽略不计。

复杂、壁薄,应取稍高一点的压力。反之,可以取低一点。一般在 50~200MPa 范围内选取为好。

(三)锁模力的校核

塑件和浇注系统在分型面上的投影面积之和乘以型腔内熔料的压力之积,称为锁模力。所选注射机的锁模力应大于模具所需要的锁模力,否则,模具在分型面上容易被高压熔融塑料所涨开。由上述得锁模力计算公式如下:

$$F_{\text{机}} > PA \quad (2-5)$$

式中 $F_{\text{机}}$ ——注射机的锁模力(N);

P ——模具型腔内的熔料压力(Pa);

A ——塑料件和浇注系统在分型面上的投影面积之和, (m^2)。

模腔内的压力 P 一般取 20~50MPa。有的资料给出 p 为 40~50MPa。给出这个范围值是从以下几点考虑:

1 注射机喷嘴的结构不同,阻力也不同。有的注射机喷嘴是一个弹簧喷嘴,注射时阀打开,不注射时阀在弹簧的压力作用下使喷嘴封闭。这样,在注射时就要克服弹簧阻力才能注射。所以,喷嘴结构不同,压力损失也不一样。

2 模具浇注系统的阻力不同,对熔料流动阻力也不一样,故影响模具型腔内的压力高低。

3 塑件形状复杂程度和塑件壁厚的影响也很大,形状复杂而且壁薄的塑件对熔料充模阻力特别大,即压力损失很大。流动阻力与塑料本身的流动特性也有直接关系。

综上所述,如果根据这些原因进行实测,可得到较准确的压力值。但是,进行这样的测试耗资较大,有一定的困难。所以,只能给出模具型腔内的压力范围,这个压力范围有使用的广义性。在实际计算时要考虑以上因素的影响,然后决定模腔压力的取值。

(四)注射机与模具安装尺寸的校核

各种注射机的安装模具部位的尺寸各不相同。在设计时可以参考注射成型机的样本来确定模具有关尺寸及形状。具体要校核以下几部分:

1 模具主流道始端球半径尺寸的确定。

2 定位圈尺寸的确定。

3 模具厚度尺寸的确定。

4 模板上安装螺孔的选择。

上述校核的详细内容可参看成都科技大学等合编的《塑料成型模具》一书*中关于注射机与模具安装尺寸的校核部分,这里不再叙述。

(五)开模行程与顶出装置的校核

在《塑料成型模具》一书中已详细叙述校核开模行程和顶出装置,但它是针对中小型模具设计而言的,对大型塑料注射模具来说不完全实用。大型塑件所用的注射机都是卧式的,很少使用角式注射机,所以选用的设备在校核开模行程时和模具厚度无关,只是与模具总体结构有关。具体校核如下:

* 成都科技大学、北京化工学院、天津轻工业学院合编。《塑料成型模具》,北京:轻工业出版社,1983

1 单分型面注射模具所需要的开模行程

如图 2-1a)所示,给出了单分型面模具开模行程的校核,并得公式如下:

$$S \geq h_1 + h_2 + (5 \sim 10) \text{mm}$$

式中 h_1 ——顶出距离(或型芯高度)(mm);
 h_2 ——塑件加料把总高度(mm);
 S ——开模行程(mm)。

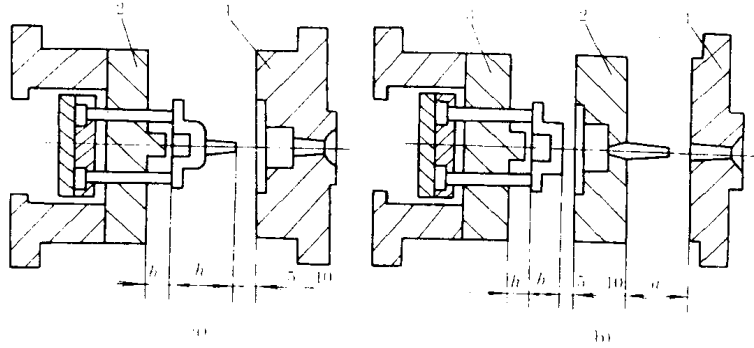


图 2-1 模具开模行程的校核

a)单分型面模具 b)双分型面模具

1—定模 2—动模 3—型腔板

2 双分型面注射模具所需要的开模行程由图 2-1 b)可得:

$$S \geq h_1 + h_2 + a + (5 \sim 10) \text{mm}$$

式中 a ——定模板与浇口板分离距离(mm)。

h_1, h_2 含义同上式。

3 侧向分型抽芯机构的注射模具所需要的开模行程

如图 2-2 所示。

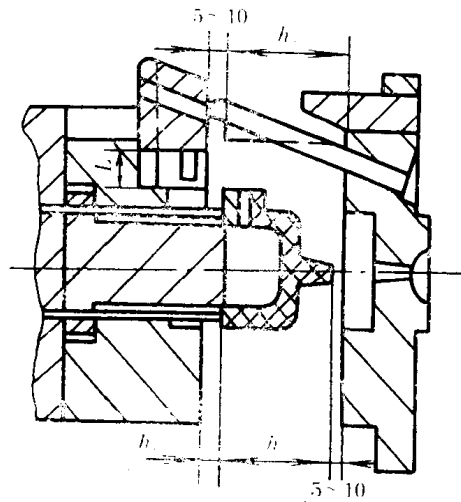


图 2-2 有侧抽芯时开模行程校核

当模具侧型芯抽拔距为 L 时所需要开模距为 h_c 。

如果 $h_c \geq h_1 + h_2$

开模行程按下式计算：

$$S \geq h_c + (5 \sim 10) \text{mm}$$

如果 $h_c \leq h_1 + h_2$

开模行程按下式计算：

$$S \geq h_1 + h_2 + (5 \sim 10) \text{mm}$$

4 注射成型机顶出形式

注射成型机顶出形式一般可分为以下三种：

- (1)中心顶出,(有机械顶出和液压顶出,以及机械和液压联合顶出)。
- (2)两侧双顶杆顶出(顶出机构同上)。
- (3)中心顶出和两侧顶出联合作用。

了解注射机的顶出形式的目的在于设计大型模具时参考确定模脚尺寸,使得注射机顶出杆能准确地顶在模具顶出底板上,这样就不会碰坏模具。

总之,模具开模行程与顶出装置的校核目的,就是以能使塑件顺利地从小腔内取出为原则。在不妨碍塑件取出时,开模行程最好要尽量小些。以使模具零件减少,由于行程太大而受到的磨损,有利于延长模具的使用寿命。

有关大型注射机技术规范,详见表 2-1、表 2-2 和表 2-3。

表 2-1 意大利进口注射机主要技术参数

型 号	3000g	6000g	10000g
有效注射量/g	3312	6354	10404
注射压力/MPa	147	129	137
锁模力/MN	9.32	12.26	13.73
锁模冲程小/大(mm)	500/900	—	550/1050
模具厚度小/大(mm)	300/1000	300/1000	500/1200
模板尺寸/mm	1320/1320	1600/1600	1730×1730
推出力/KN	294	—	343
固定压板厚度/mm	380	470	450
拉杆直径/mm	170	220	240
连杆间距离宽×高/mm	850×850	—	1050×1050
模板调整/mm	700	—	700
螺杆直径/mm	105	125	145
推出行程/mm	250	200	250

表 2-2

日本三种类型注射机主要技术参数

型 号	J650		J800		J1250	
公称注射容量/(cm ³)	2300	3100	3100	4200	4200	7000
注射压力/MPa	160	161.3	161.3	160	160	161.3
理论注射容量/cm ³	2290	3140	3140	4180	4180	7030
实际注射容量/g	2080	2860	2860	3804	3804	6397
合模力/MN	6.5	6.5	8.0	8.0	12.5	12.5
开模力/MN	0.65	0.65	0.80	0.80	1.25	1.25
拉杆间距(宽×高)/mm	930×900	930×900	1030×1000	1030×1000	1265×1200	1265×1200
动模行程/mm	950	950	1200	1200	1500	1500
模板最大开距/mm	2010	2010	2360	2360	2860	2860
模具厚度/mm	500—1060	500—1060	600—1160	600—1160	700—1360	1700—1360
模板尺寸(宽×高)/mm	1380×1350	1380×1350	1530×1530	1530×1530	1880×1830	1880×1830

表 2-3

部分国产大型注射机主要技术参数

型 号	XS-ZY	XS-ZY	XS-ZY	XS-ZY	XS-ZY	XS-ZY	XS-ZY
	-1000	-2000	-3000	-4000	-6000	-7000	-32000
公称注射容量/cm ³	1000	2000	3000	4000	6000	3980,5170,7000	32000
螺杆直径/mm	85	110	120	130	150	110,130,150	250
注射压力/MPa	121	90	90,115	106	110	158,85,113	130
注射行程/mm	260	280	340	370	400	450	829
合模力/MN	4.5	6.0	6.3	10.0	18.0	18.0	35.0
S_{max}/cm^2	1800	2600	2520	3800	5000	7200~1400	14000
动模行程 L_{max}/mm	700	750	1120	1100	1400	1500	3000
模厚 h_{max} /mm	700	800	960,680、 400	1000	1000	1200	2000
模厚 h_{min}/mm		500					
模板尺寸/mm		1180×1180	1350×1250			1800×1900	2650×2460
拉杆空间距/mm	650×550	760×700	900×800	1050×950	1350×1460	1200×1800	2260×2000
模板开距/mm	1300	1550		2100			
顶出形式	中心液压顶 出,两侧 顶杆顶出	中心顶出, 两侧顶杆 顶出		中心液压 顶出,两侧 顶杆顶出			
产地	上海	大连	无锡	上海	常州	天津	上海

注:此表是我国注射机旧系列。现各注射机生产厂商与国外合资生产的注射机其型号、标准不统一。比较多的采用SZ-系列请参考续表。

续表

SZ 系列塑料注射成型机主要技术参数

序	项 目	单 位	SZ— 1000/300	SZ— 2500/500	SZ— 4000/800	SZ— 6300/1000	SZ— 8000/1000	SZ— 32000
1	理论注射容量	cm ³	1000	2500	4000	6300	8000	3200
2	螺杆直径	mm	70	90	110(115)	130(135)	140	250
3	注射压力	MPa	150	150	150	140	130	130
4	注射速率	g/s	325	570	770	1070	1200	
5	塑化能力	kg/h	180	245	325	430	470	
6	螺杆转速	r/min	0~150	0~120	0~80	0~80	0~80	0~45
7	锁模力	kN	3000	5000	8000	10000	10000	35000
8	拉杆内间距	mm	760×700	900×830	1120×1200	1100×1180	1100×1180	2260×2000
9	模板行程	mm	650	850	1200	1200	1200	3000
10	最小模具厚度	mm	340	400	600	600	600	1000
11	最大模具厚度	mm	650	750	1100	1100	1100	2000
12	顶出行程	mm	165	200	300	300	300	
13	顶出力	kN	70	110	280	280	280	
14	油泵电机功率	kW	37	40	110	135	135	
15	加热功率	kW	24.5	28.1	40.4	40.4	40.4	170
16	机器尺寸	m	6.7×1.9 ×2.3	10×2.7 ×2.8	12×2.8 ×3.8	12×2.8 ×3.8	12×2.8×3.8	20×3.24 ×3.8
17	机器质量	t	15	29	65	70	70	240

二 浇注系统的设计

浇注系统通常分为普通浇注系统和无流道浇注系统。设计浇注系统时,首先要了解塑料及其流动特性,根据流动比范围确定主流道、分流道、浇口的长度尺寸,再根据计算确定流道断面尺寸。设计分流道时(点浇口)应尽量均匀布置或使各浇口处的熔体压力降相等,这样才能保证产品的质量。大型模具设计中常用的有直接浇口、潜伏式浇口、点浇口、环形浇口、轮辐式浇口、热流道浇注系统等。

设计浇注系统应遵循以下原则:

(1)能顺利地引导熔融塑料流到型腔各部位,尤其是型腔各个深处。在填充过程中不产生涡流、紊流,使型腔内的气体能顺利地排出。

(2)尽量避免熔融塑料流正面冲击小直径型芯和金属嵌件,若是小浇口时必须设计冲击性浇口。

(3)应尽量选择最短的流程。

(4)浇注系统应有较低的表面粗糙度,尽量减少折弯,以减小压力损失并起到补料的作用。

(5) 进料口应结合塑件的形状而定。

(6) 浇注系统的体积应取最小值。

(一) 普通浇注系统的设计

1 流动比的计算

流动比是指塑料的流动长度(L)和厚度(t)的比值(L/t)。

流动比可按式计算：

$$\frac{L}{t} = \frac{L_1}{t_1} + \frac{L_2}{t_2} + \dots + \frac{L_n}{t_n} = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{t_i} \quad (2-6)$$

即成型时的总流程的流动比等于各个部分流程的流动比之和。图 2-3 为塑料注射过程中的流动比计算示意图。例举 a)、b)、c) 三种。

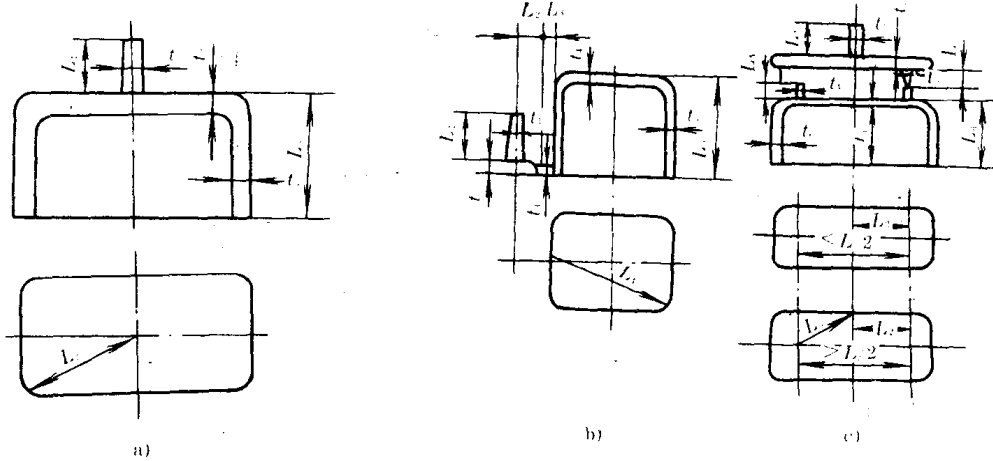


图 2-3 流动比计算

图 a) 中：

$$\frac{L}{t} = \frac{L_1}{t_1} + \frac{L_2}{t_2} + \frac{L_3}{t_3}$$

图 b) 中：

$$\frac{L}{t} = \frac{L_1}{t_1} + \frac{L_2}{t_2} + \frac{L_3}{t_3} + \frac{2L_4}{t_4} + \frac{L_5}{t_5}$$

图 c) 中：

$$\frac{L}{t} = \frac{L_1}{t_1} + \frac{L_2}{t_2} + \frac{L_3}{t_3} + \frac{L_4}{t_4} + \frac{L_5}{t_5} + \frac{L_6}{t_6}$$

对于大型塑件来说，判断制品能否成型的标准还需要把流动比和面积比同时考虑。这里仅就有关 PS 树脂的已知数据例举说明：

$$\text{面积比} = \frac{t(\text{制品的厚度})}{A(\text{制品的表面积})}$$

一般面积比为 $(1 \sim 3 \times 10^{-4}) \sim (1 \sim 3 \times 10^{-5})$ 被认为是可能成型的条件。

表 2-4 列出了大型塑料制品常用塑料的流动比。由于流动比受到熔体温度、注射压力、物料特性、浇口种类等的影响，因此只是给出范围值供设计时参考。

表 2-5 列出了部分塑料壁厚与流动比的关系

表 2-4

大型塑料制品常用塑料的流动比

塑料名称	注射压力 p/MPa	流动比 L/t	塑料名称	注射压力 p/MPa	流动比 L/t
PE	150	280~250	PA	90	320~200
PE	60	140~100	ABS	60	300~260
PP	120	280	PS	90	300~280
PP	70	240~200	PS	120	150~120
PP	50	140~100	PC	90	130~90

表 2-5

塑料壁厚与流动比的关系

塑料名称	塑件厚度/mm	流动比	塑料名称	塑件厚度/mm	流动比
PE	0.3~3.0	280~200	PMMA	1.5~5.5	150~100
PP	0.6~3.0	280~160	PVC(硬)	1.5~5.0	150~100
聚缩醛	1.5~5.0	250~150	PC	1.5~5.0	150~100
PA	0.8~3.0	320~200	乙酰基纤维素	1.4~4.0	300~200
PS	1.4~4.0	300~227	ABS	1.5~5.0	280~260

以上各表仅供参考之用,具体数据应根据实际情况而定。在设计注射模具浇注系统时,先掌握流动比的计算很重要。

2 主流道的设计

主流道是指从注射机喷嘴开始到分流道为止的那一部分流道,如图 2-4 所示。为了使凝料从主流道中拔出,主流道设计成锥形,锥角为 $1^\circ\sim 3^\circ$ 。内表面粗糙度为 $Ra0.4\mu\text{m}$ 以下,这一表面粗糙度要求,在实际加工时很难达到。主流道小端直径在 $4\sim 12\text{mm}$ 范围内,具体数据视制品重量及需要补料时间长短而定。但小端直径应大于喷嘴直径约 1mm 。主流道长度最好不超过 60mm 。开设位置应尽量在模具中心线上。主流道直径不应过小,否则会引起塑料流动中热量和压力过多损失而导致流动性变差;但也不能过大,过大易形成涡流,使制件产生气孔。具体设计的尺寸可参考表 2-6。

表 2-6

主流道直径尺寸

塑料名称	PS	PE	ABS	PC
小端直径 d/mm	3	3	4	5
大端直径 D/mm	8	7	8	10

由于主流道要与高温的塑料熔体及硬化了的料把反复摩擦,所以大型模具中必须设置拆卸方便的主流道衬套。衬套要选用优质钢材,单独进行加工和热处理。当主流道贯通几块模板时,若无主流道衬套,由于模板间的拼合缝溢料将导致主流道凝料无法取出。如图 2-5 为典型的主流道衬套的设计。应当指出,主流道衬套常受到型腔或分流道熔料反压作用而退脱出来。因此,它与定模板应可靠联接,并起到止退作用。

3 分流道的设计

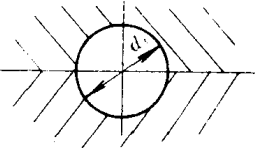
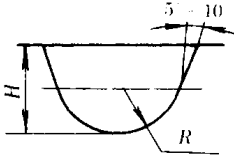
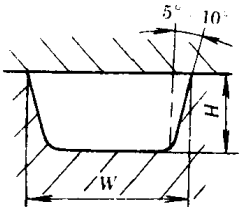
设计分流道时,一般要求熔料尽快地充满型腔,流动中温度降低尽量小,阻力尽可能低,压力损失最小。分流道长度一般不超过 8~30mm。大型模具中常用的有下面三种流道:圆形流道、U 型流道、梯形流道。这三种流道的比表面积小,热量损耗小。表 2-7 给出了分流道常用的断面尺寸。

设计分流道时也应考虑进料口尺寸,如图 2-6,图中 C 值一般取 0.8~2mm,进料口与制品接合处应成 R0.3 的圆角和 0.3×45°的倒角。

在选择适当的流道断面时必须考虑流道的脱模。两极式模具,其分型面是平面时,采用圆形流道;分型面的两侧加工复杂流道非常困难时,可采用梯形流道。三板式模具采用梯形流道。

表 2-8 给出了常用塑料的流道直径。

表 2-7 分流道常用断面尺寸

分流道断面	尺寸	尺寸数据(mm)								
	d_3	5	6	7	8	9	10	11	12	
	R	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	
	H	5	6	7	8	9	10	11	12	
	W	3.5	4	5	5.5	6	7	8	9	
	H	5	6	7	8	9	10	11	12	

注:有的资料推荐 U 型流道 $H = \frac{5}{4}R$, 梯形流道 $H = \frac{2}{3}W$ 。

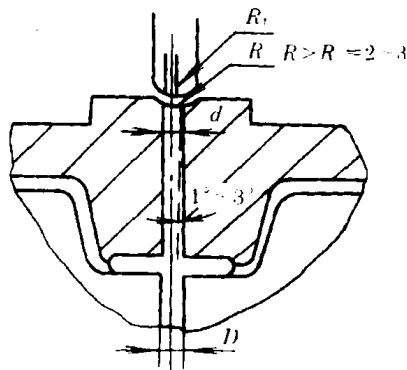


图 2-4 主流道

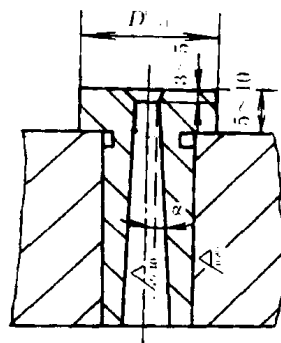


图 2-5 主流道衬套

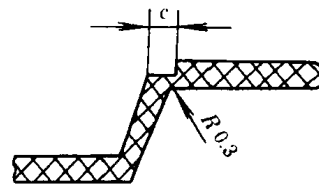


图 2-6 进料口尺寸

表 2-8

常用塑料的流道直径

塑料名称	流道直径/mm	塑料名称	流道直径/mm
AS ABS	4.8~9.5	PP	4.8~9.5
POM	3.2~9.5	PE	1.6~9.5
丙烯基	8.0~9.5	PPO	6.4~9.5
耐冲击丙烯基	8.0~12.7	PS	3.2~9.5
PA ₆	1.6~9.5	PVC	3.2~9.5
PC	4.8~9.5		

4 梯形流道最佳尺寸的确定

图 2-7 所示为梯形流道断面图。公式推导简略如下。

梯形流道断面周长 L ：

$$L = a + b + 2c \quad (2-7)$$

因为

$$c = \frac{h}{\sin \alpha} = h \cdot \csc \alpha \quad (2-8)$$

又

$$(b-a)/2 = h \cdot \cot \alpha \quad (2-9)$$

将式(2-8)、(2-9)代入式(2-7)得到：

$$L = 2cb - h \cdot \cot \alpha + h \cdot \csc \alpha \quad (2-10)$$

梯形流道断面积 S ：

$$S = h(b+a)/2 = hb - h^2 \cdot \cot \alpha \quad (2-11)$$

将式(2-11)代入式(2-9)得到：

$$L = 2S/h + 2h \cdot \csc \alpha \quad (2-12)$$

当 S 和 α 一定时, L 只是 h 的一元函数, 则有：

$$\frac{dL}{dh} = -\frac{2S}{h^2} + 2\csc \alpha$$

令：

$$\frac{dL}{dh} = 0 \text{ 可解得:}$$

$$h = \sqrt{S \cdot \sin \alpha} \quad (2-13)$$

由高等数学知识知 $h = \sqrt{S \cdot \sin \alpha}$ 是最小值, 则有：

$$b = \frac{s}{h} + h \cdot \cot \alpha = \sqrt{\frac{s}{\sin \alpha}} (1 + \cos \alpha) \quad (2-14)$$

当 S 和 α 一定时, 得到一组梯形流道最佳尺寸如下：

$$b = \sqrt{S/\sin \alpha} \cdot (1 + \cos \alpha) \quad (2-15)$$

$$h = \sqrt{S \cdot \sin \alpha} \quad (2-16)$$

有关资料介绍应取：

$$\beta = 5^\circ \sim 15^\circ; h = \frac{2}{3}b; a = \frac{3}{4}b.$$

如果按式(2-15)和式(2-16)计算, 当 $\beta = 5^\circ \sim 15^\circ$, 即 $\alpha = 65^\circ \sim 75^\circ$, 这时 $h/b = 20/21 \sim 10/11$, 而不是 $h/b = 2/3$, 使流道比表面积最小。欲使 $h = b(2/3)$, 则 $\alpha = 68^\circ, \beta = 22^\circ$ 。我们建议

采用 $\alpha=70\pm 2^\circ$, $h/b=3/4\sim 2/3$, 这时梯形流道有最小比表面积, 也就是有最佳数据。

实际设计中仍然在许多场合采用半圆形、长方形和梯形分流道。其中, 由于梯形分流道比长方形分流道更易于推出, 所以更受欢迎。对于长方形和梯形分流道, 普遍采用的尺寸比例是:

$$\text{深度} = \left(\frac{2}{3} \sim \frac{4}{5}\right) \text{宽度}$$

侧壁倾斜度一般是单面 $5^\circ\sim 15^\circ$ 。

一般情况下, 浇道系统的总直径不应小于塑件断面最厚处的 3 倍, 实际上, 这个值是介于 3.2mm(最小)和 9.5mm(最大)之间。

浇道尺寸不应小于最小值。对于厚断面的塑件, 为了预防缩凹陷(在厚壁处因为收缩引起凹面), 需在型腔中保持足够的压力, 所以需要浇道的断面增加到最大值以上。

5 冷料穴和拉料杆的设计

冷料穴的作用, 一是将前锋冷料贮存, 以免流入型腔影响塑件的质量; 二是将主流道凝料从主流道衬套中拉出。常见的冷料井(或冷料穴)和拉料杆头部结构可分为二种类型。

(1)带 Z 型头拉料杆的冷料井。拉料杆头部做成 Z 型, 底端固定在顶出底板上, 故在制件顶出时冷料一同被顶出。如图 2-8a)所示。

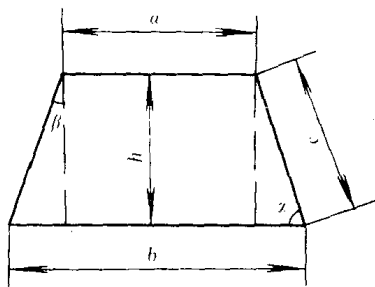


图 2-7 梯形流道尺寸

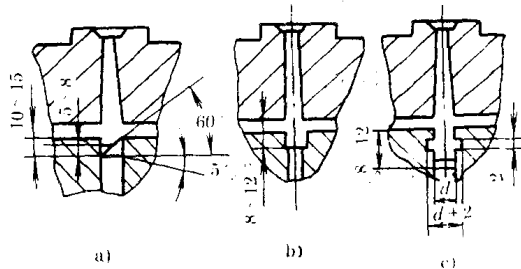


图 2-8 冷料井和拉料杆

同类型的还有带顶杆的倒锥冷料井(如图 2-8b)所示)和圆环槽冷料井(如图 2-8c)所示), 其凝料顶出杆也固定在顶出机构上, 开模脱件时强行顶出料把, 这两种结构, 即图 2-8b)和 c), 常用于弹性较好的塑料。

(2)带球形头拉料杆的冷料井。这种拉料杆专用于制作以脱模板脱模的模具中。球头拉料杆的根端固定在型芯固定板上, 并不随顶板移动, 如图 2-9a)所示。图 2-9b)所示为图 2-9a)的变异形式, 称为菌形拉料杆。

6 浇口的设计

浇口设计是浇注系统设计的一个重要环节, 它决定着塑料的成型周期, 也是决定产品质量好坏的关键。对于浇口设计应根据制件的形状、大小、要求程度来设计正确的浇口位置、数量、断面尺寸等。

(1)浇口数量的确定

大型塑料制品可根据树脂的流动性拟定浇口的形式和浇口的数量。如已知大型箱状制品壁厚 $t=3\text{mm}$, 从制品外型底部中央进料计算, 其最大流程 $L_{\max}=980\text{mm}$, 那么, $L/t=980/3=326.6$ 。又已知 PP 的 L/t 一般成型的可能值为 $200\sim 240$, 此制品以 PP 为原料,

则： $980/(200\sim240)=4.08\sim4.9$ ，即浇口数可取4~5。若采用中央进料的直接浇口，则注不满型腔而要设计成点浇口。因此在设计时应首先拟定浇口数量，以免注不满型腔。

(2) 浇口形式的确定

① 直接浇口和间接大浇口(大浇口)。大浇口进料不但压力损失小，而且容易成型，任何塑料都可采用。这种形式将大大简化模具结构。大浇口进料位置一般设在制品底部中央或制品有穿孔的地方。大浇口一般分为直接大浇口和间接大浇口，如图2-10所示。

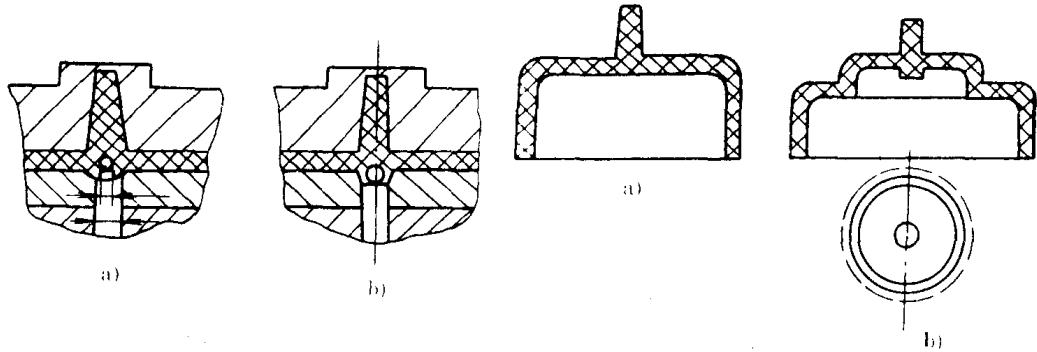


图 2-10 大浇口

图 2-9 用于脱板脱模的拉料杆

表 2-9 给出了大浇口尺寸的推荐值。

表 2-9 大浇口尺寸推荐值(mm)

种类	尺寸	d	D	大浇口简图
PE、PP		4~5	8~10	
ABS、PS		5~6	10~12	
PC		6~7	12~14	

② 潜伏式浇口。潜伏式浇口如图2-11所示。

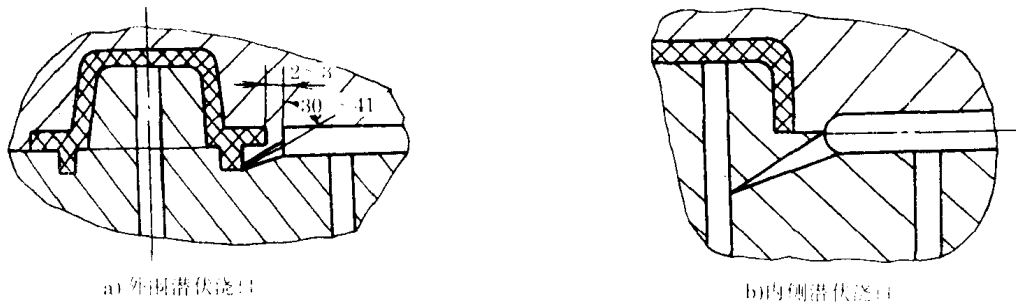


图 2-11 潜伏式浇口

潜伏式浇口是大浇口和点浇口的结合形式,它与制品侧壁成某一角度。设计这种浇口时,必须在流道处设置顶出机构,以便将流道中的凝料把顶出。

③点浇口。点浇口如图 2-12 所示。图中不设小凸台(高 0.5 mm)也可。

点浇口在模具设计中是常用的一种。它有许多优点:制品可以设置多个进料口,从而保证了熔接缝牢度;可以减小制品的翘曲变形,防止裂纹的发生;成型周期缩短,能够快速充满型腔;浇口位置选择自由度大;在制品上留的痕迹几乎看不见。点浇口与大浇口相比其不足之处是,点浇口压力损失大,所以在注射时注射成型压力要比大浇口大一些;点浇口易发生喷射而造成熔体破裂现象。只要注意设计成冲击性浇口就可以避免此现象的发生。设计一付能实现自动化生产的模具,必须设计自动脱料把机构,这也是点浇口又一不足之处。

点浇口一般适用于 ABS、PE、PP、PS 等对剪切速率敏感的塑料。

设计点浇口时,除浇口料把的机构有两种结构:采用弹簧自动去浇口料把,如图 2-13 所示;拉杆式去浇口料把,如图 2-14 所示。

④环形浇口。环形浇口,如图 2-15 所示。这种浇口主要用于圆筒形制品。环形浇口具有理想的填充过程,能获得大致相同的流程,排气条件良好。缺点是当制品孔较大时,浇注系统回收料较多。浇口厚度一般取 0.8~1.5mm,后加工去除料把。

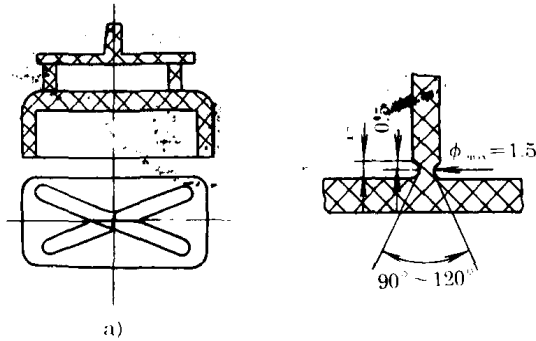


图 2-12 点浇口

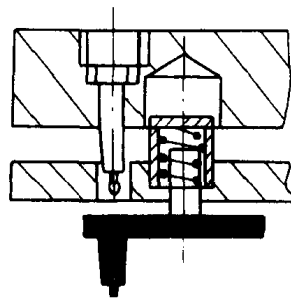


图 2-13 弹簧自动去料把

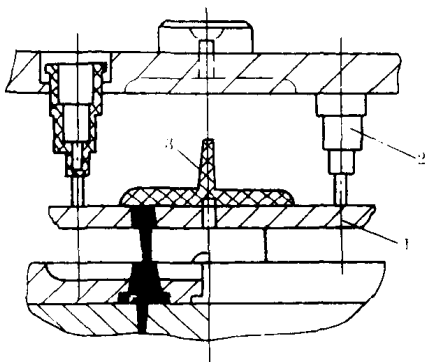


图 2-14 拉杆式去浇口料把
1—脱模板 2—拉杆 3—料把

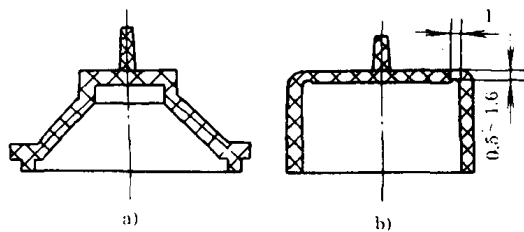


图 2-15 环形浇口

⑤轮辐式浇口。轮辐式浇口,如图 2-16 所示。从形式上看基本与环形浇口相同。其差

异为,前者是几段进料口而后者为全面进料。这种进料易形成冷接痕,但去浇口方便,回收料少。

⑥侧浇口。如图 2-17 所示,侧浇口一般开在分型面上,从制件边缘进料。侧浇口一般都采用矩形的断面形状。它可分别调整充模时的剪切速率和浇口封闭时间。

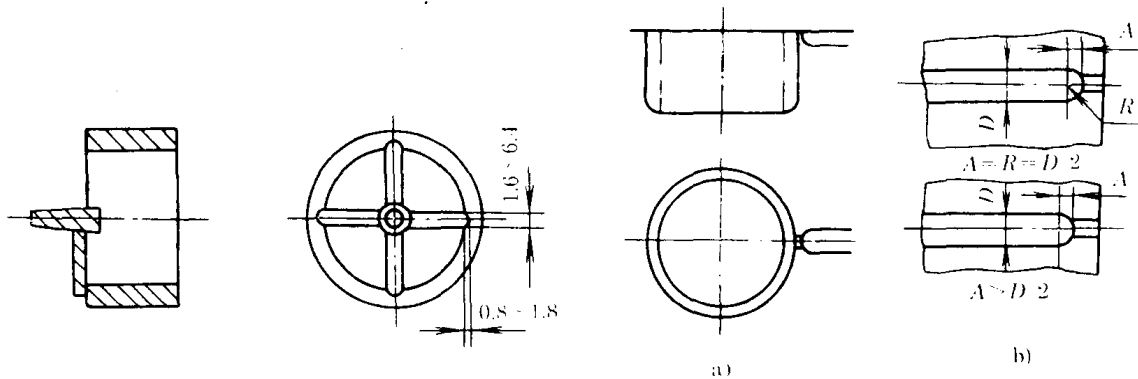


图 2-16 轮辐浇口

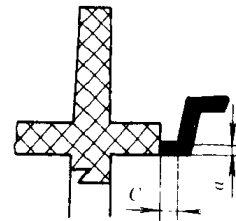
图 2-17 侧浇口

a) 侧浇口形式 b) 浇口与分流道的连接

表 2-10 给出一组浇口推荐尺寸,供设计时参考。浇口尺寸除表外,还可以由下列经验公式计算。浇口断面形状有圆形和矩形两种。

表 2-10 浇口推荐尺寸

制品壁厚/mm	塑料名称 a 值/mm 形状	PE	PMMA	PS
		PP PS	ABS POM	PSF PPO
<1.5	复杂	0.5~0.6	0.5~0.8	0.6~1
	简单	0.5~0.7	0.6~0.8	0.8~1.2
1.5~3	复杂	0.6~0.8	0.8~1.2	1.2~1.5
	简单	0.6~0.9	1.2~1.4	1.3~1.6
>3	复杂	0.8~1	1~1.4	1.4~1.6
	简单	0.8~1.1	1.2~1.5	1~1.6



$c = 0.8 \sim 2.0 \text{mm}$, 浇口宽一般 $> 10a$

点浇口尺寸: $\Phi 0.4 \sim \Phi 1.2 \text{mm}$, 一般常以 $\Phi 0.7 \text{mm}$ 最好, $\Phi_{\text{max}} = 1.5 \text{mm}$

矩形浇口尺寸: 深, 塑件壁厚的 $0.2 \sim 0.3$ 倍。

宽, 分流道的 $0.2 \sim 0.4$ 倍。

长, 浇口深的 $2 \sim 4$ 倍。

具体计算方法在下节论述。

7 流道及浇口断面尺寸计算法

对于注射模具, 确定流道和浇口断面尺寸是一个即重要又复杂的问题。由于多种因素的影响, 目前很难得到精确的计算, 所以仍然是近似值。根据多次实验证明, 主流道和分流

道的剪切速率 $\dot{\gamma} = 5 \times 10^2 \sim 5 \times 10^3 S^{-1}$, 浇口剪切速率 $\dot{\gamma} = 10^4 \sim 10^5 S^{-1}$ 。此种场合基本属于等温流动。由于塑料融体都是非牛顿型流体, 故剪切应力 τ 与剪切速率 $\dot{\gamma}$ 的关系为:

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (2-17)$$

由于 $\eta_a = K\dot{\gamma}^{n-1}$, 则有:

$$\tau = \eta_a \dot{\gamma} \quad (2-18)$$

在剪切速率 $\dot{\gamma} = 5 \times 10^2 \sim 5 \times 10^3 S^{-1}$ 的范围内, 它们的非牛顿流动指数 n 皆 0.2~0.4 之间。如果使用平均值 $n=0.3$, 则误差不超过 6%, 这是允许的。为了方便研究, 在计算流道半径时用当量半径 R_N 表示, R_N 由下式计算:

$$R_N = \sqrt[3]{\frac{2A^2}{L\pi}} \quad (2-19)$$

式中 A ——流道断面积 (mm^2);

L ——流道周长 (mm)。

计算体积流量 q_v 时, 根据实践证明, 在 $\dot{\gamma} = 5 \times 10^2 \sim 5 \times 10^3 S^{-1}$ 的范围内, 经验公式为:

$$\dot{\gamma} = \frac{3 \cdot 3q_v}{\pi R_N^3} \quad (2-20)$$

此式表示了剪切速率 $\dot{\gamma}$ 、体积流量 q_v 和流道断面尺寸三者之间的关系。根据目前所用注射机的生产能力, 将此关系绘成图 (如图 2-18 所示曲线) 以供查阅。

在设计流道断面尺寸时, 一般应按以下步骤进行:

(1) 根据所用注射机技术规格查找出最大体积流量 q_{vmax} , 或者计算出与给定液压系统压力 p 相适应的熔体体积流量 q_v 。

(2) 然后在规定的 q_v 值下查 $\dot{\gamma} = f(R_N)$ 曲线图形, 在 $\dot{\gamma} = 5 \times 10^2 \sim 5 \times 10^3 S^{-1}$ 的范围内确定 R_N 值, 要注意 R_N 得出的是平均值。

(3) 在一般场合设计模具时, 首先要了解或拟定一个成型压力 p_1 , 可根据 p_1 求出注射机液压系统的压力 p , 按下式计算:

$$p = p_1 (d^2/D^2) \quad (2-21)$$

式中 D ——液压活塞直径 (mm);

d ——螺杆直径 (mm)。

当体积流量同液压系统压力相匹配时, 确定的 R_N 值才是准确合理的。所求得的 R_N 值不仅应当同喷嘴孔大小相宜, 并且还要通过保压过程能量平衡的校核。若设计点浇口, 其长度一般为 0.8~2.0mm, 断面尺寸可在图 2-18 中取 $\dot{\gamma} = 10^5 S^{-1}$ 处的 R_N 值, 也可以用 $\dot{\gamma} = 4q_v/\pi R_N^3$ 或 $\dot{\gamma} = 3 \cdot 3q_v/\pi R_N^3$ 计算, 二者之差不超过 18%。当体积流量 $\leq 250 cm^3/s$ 时, 断面 $R_N = 0.3 \sim 1.4 mm$ 。

另外, 在设计单腔多点浇口时, 还要保持各浇口处的压力降一样, 也就是说各浇口处的压力值应相同, 这样才能同时注入型腔。如图 2-19 所示为非对称的多针点浇口分布形式。要想使各浇口的压力降相等, 则应用:

$$\Delta p_1 = \Delta p_2 = \Delta p_3 = \Delta p_4 = \Delta p_5 \quad (2-22)$$

而 $\Delta p_1 = \Delta p_{\text{流道}} + \Delta p_{\text{浇口}}$

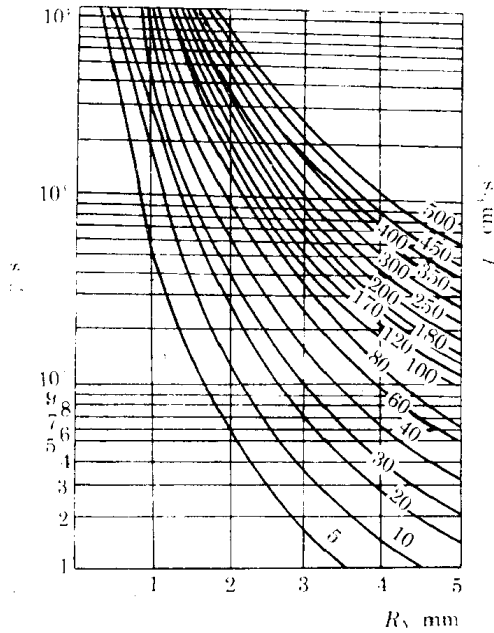


图 2-18 剪切速率、体积流率和流道断面尺寸的关系

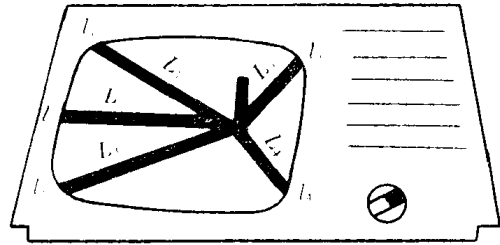


图 2-19 电视机前盖

$$\Delta p_{\text{流道}} = 8q_{v1}\eta L_1 / \pi R_1^4$$

$$\Delta p_{\text{浇口}} = 8q_{v1}\eta l_1 / \pi r_1^4$$

则得: $\Delta p_1 = (8q_{v1}\eta / \pi) (L_1 / R_1^4 + l_1 / r_1^4)$ (2-23)

同理: $\Delta p_2 = (8q_{v2}\eta / \pi) (L_2 / R_2^4 + l_2 / r_2^4)$ (2-24)

所以: $\Delta p_i = (8q_{vi}\eta / \pi) (L_i / R_i^4 + l_i / r_i^4)$ (2-25)

根据式(2-22)得到浇口压力平衡式如下:

$$\begin{aligned} & q_{v1} (L_1 / R_1^4 + l_1 / r_1^4) \\ &= q_{v2} (L_2 / R_2^4 + l_2 / r_2^4) \\ &= q_{v3} (L_3 / R_3^4 + l_3 / r_3^4) \end{aligned} \quad (2-26)$$

若设有几个浇口,则有以下一般形式平衡方程式:

$$\begin{aligned} q_{v1} (L_1 / R_1^4 + l_1 / r_1^4) &= q_{v2} (L_2 / R_2^4 + l_2 / r_2^4) \\ &= q_{v3} (L_n / R_n^4 + l_n / r_n^4) \end{aligned} \quad (2-27)$$

式中 q_{vi} ——分流道,浇口内熔体流速;

R_i ——分流道半径(或当量半径 R_N);

L_i ——分流道长度;

r_i ——浇口半径(或当量半径 r_n);

l_i ——浇口长度。

上述计算方法可以帮助设计者分析和计算流道及浇口断面尺寸

(二)无流道系统的设计

无流道系统,这项新技术的开发乃是注射模具的一次重大改革。它的应用不仅缩短了成型周期、提高了生产效率,同时也节省了原料。在大型模具设计中,无流道系统设计应用愈来愈广,特别是热流道模具,它是大型模具的发展方向。下面就热流道模具加以讨论。热

流道模具之所以得到广泛应用,是因为它具有以下独特优点:

- (1)缩短成型周期,一般可达 30%~40%。
- (2)避免回收大量回头料,从而节省原料,降低成本。
- (3)由于严格控制温度,因此提高了制品质量,保证了制品的尺寸精度和强度。
- (4)热流道有利于压力传递,从而可以降低注射压力。
- (5)缩短开模行程,有利于保护模具,延长模具使用寿命。
- (6)无需修剪料把,节省工时和人力。
- (7)缩短制模周期,制品成本降低,在一般情况下生产成本降低 16%。

但是热流道模具也有其缺点,对所有的塑料并非都能选用。热流道模具可分为三种:一种是单型腔热流道模具,另一种是阀式浇口的热流道模具,再一种是热管式喷嘴热流道模具,下面详细讨论。

1 单型腔热流道模具

(1)塑料层绝热延伸式喷嘴,如图 2-20 所示,喷嘴的环面与模具间留有不大的间隙。在第一次注射时,此间隙立即充满塑料,起到绝热的作用。环形间隙最厚在两侧,最薄在浇口附近,厚度约 0.5mm。浇口以外两侧环形间隙,以最厚不超过 1.5mm 为宜。喷嘴直径为 $\Phi 0.75 \sim 1.5\text{mm}$,便于严格控制喷嘴温度。A 面为承压面,小些好,以减少热量损失。

(2)空气绝热延伸式喷嘴,如图 2-21 所示。喷嘴与型腔在浇口附近直接接触,因此大量的热量从喷嘴传向型腔。为了减少热量传递,应减小二者间的接触面积,除浇口周围外,其它部分留作空气间隙。喷嘴尺寸为 $\Phi 1\text{mm} \times 2\text{mm}$,在制品上留有 $\Phi 1\text{mm} \times 4\text{mm}$ 的料把,浇口尺寸为 $\Phi 0.75\text{mm} \sim \Phi 1\text{mm}$ 时,空气绝热间隙为 1mm 左右。

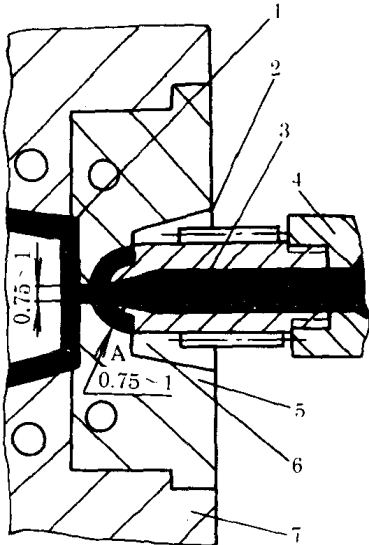


图 2-20 塑料层绝热延伸式喷嘴

- 1—型芯 2—加热圈 3—延伸式喷嘴 4—注射机筒
5—浇口衬套 6—承压面 7—定模

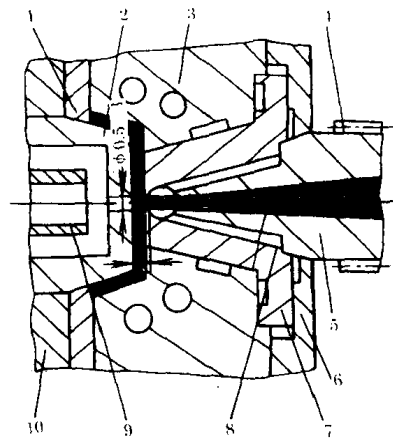


图 2-21 空气绝热延伸式喷嘴

- 1—脱模板 2—型芯 3—定膜型腔板 4—加热圈
5—延伸式喷嘴 6—定模底板 7—浇口衬套
8—承压面 9—冷却管 10—固定板

(3)空气绝热的外加热流道模具,如图 2-22 所示,其结构简单,成本低廉,使用可靠,

更换方便。喷嘴直径为 $\Phi 0.5 \sim 1.5\text{mm}$ ，喷嘴小端直径为 $\Phi 6\text{mm}$ ，流道直径为 $\Phi 5\text{mm}$ 。

(4)生产大型制品热流道点浇口喷嘴。喷嘴球面与浇口有约 1mm 的空隙，其余间隙逐渐加宽，在第一次注射后充满熔料起绝热作用。喷嘴直径为 $\Phi 2\text{mm}$ ，浇口直径为 $\Phi 1.5\text{mm}$ ，高为 1.5mm 。如图 2-23 所示。

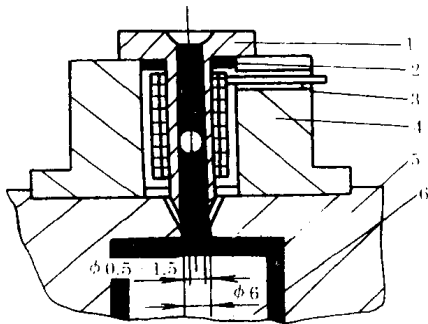


图 2-22 空气绝热的外加热流道模具

1—主流道衬套 2—石棉橡胶板 3—加热线圈
4—支持套 5—定模 6—型芯

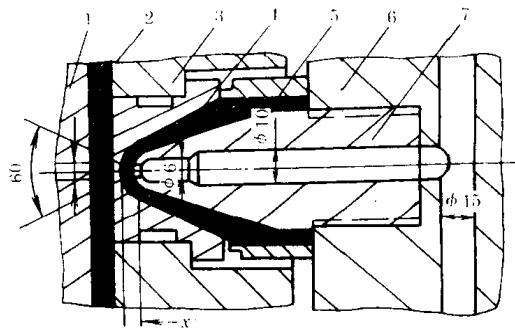


图 2-23 生产大型制品热流道点浇口喷嘴

1—型芯 2—塑件 3—定模板 4—浇口衬套
5—活动压环 6—热流道板 7—内喷嘴

(5)喷嘴内加热、外绝热的热流道模具。如图 2-24 所示，绝热层厚 0.5mm ，加热器尖端从喷嘴前端伸出，进入浇口中心，离型腔壁约 0.5mm 的地方，用作鲍尔环热流道模具的注嘴。图 2-25 是浇口加热探针局部放大图。

(6)内加热点浇口热流道模具。如图 2-26 所示。此热流道体系仿日本 TKG 热流道模具，采用内、外加热相结合的办法以使浇口不堵塞。内加热功率 150W ，外加热功率 250W ，浇口尺寸为 $\Phi 0.6 \sim \Phi 1.8\text{mm} \times 1\text{mm}$ 。

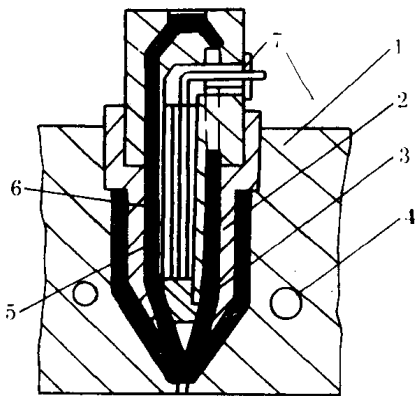


图 2-24 喷嘴内加热外绝热的热流道模具

1—定模板 2—喷嘴体 3—鱼雷头
4—冷却水孔 5—鱼雷体
6—内加热器 7—引线头

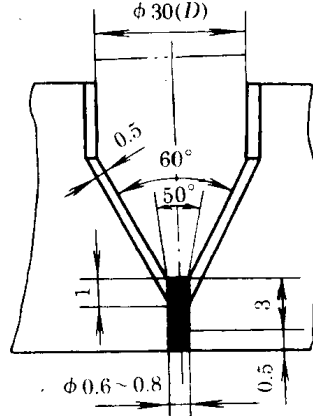


图 2-25 浇口加热探针局部放大图

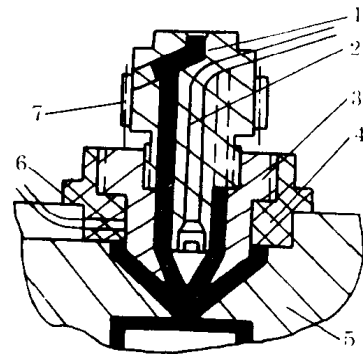


图 2-26 内加热点浇口热流道模具

1—喷嘴体 2—内加热器
3—喷嘴套 4—绝热层 5—定模
6—加热棒 7—外加热圈

(7)外加热式内探针浇口热喷嘴。如图 2-27 所示，喷嘴体由铜合金(磷青铜)制造，其前端为一针尖。喷嘴体内呈圆环形，布置六个小通孔作为塑料熔体通道。喷嘴体前、后各加端盖，即构成完整的流道。喷嘴体采用外加热，其功率为 200W 时效果良好。

2 阀式浇口的热流道模具

对于熔体粘度很低的塑料来说,为了避免流涎现象,热流道模具可以采用特殊的阀式浇口。在注射和保压阶段使浇口处的针阀开启,在保压结束后将阀关闭。如图 2-28 所示是采用弹簧的针形阀,喷嘴采用外加热器(功率为 300~400W),弹簧丝直径为 $\Phi 0.6 \sim \Phi 1.8\text{mm}$ 。对于通用塑料可以选择白钢丝。对于工程塑料(PC、PA、POM 等),选用铬钒钢丝才能在高温下(260~300℃)正常工作。

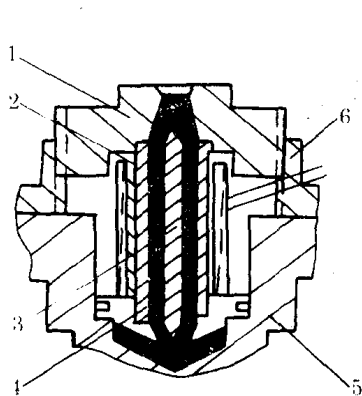


图 2-27 外加热式探针浇口热喷嘴
1—进料头 2—外加热器 3—喷嘴体
4—喷嘴套 5—浇口套 6—定位环

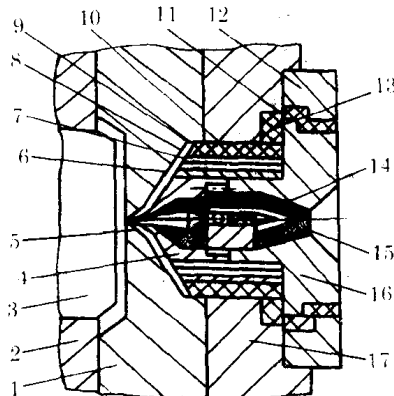


图 2-28 采用弹簧的针形阀

1—定模型腔板 2—脱模板 3—型芯 4—喷嘴头 5—针形阀
6—加热线圈骨架 7—隔热板(AL) 8—加热线圈 9—绝热套
10—绝热圈 11—绝热环 12—定位环 13—绝热线圈
14—弹簧 15—鱼雷体 16—浇口套 17—定模底板

图 2-29a 所示是喷嘴内加热的阀式浇口热流道模具,其阀芯内装有管式内加热器,以免浇口温度过低。

针形阀的移动是由安装在模具外的液压油缸带动开有斜槽的滑动板作往复运动,从而利用斜槽使针形阀启闭。这种结构的喷嘴,可以长一些,特别适于大型制品成型使用。如图 2-29b 是采用全部内加热的热流道模具。在分流道内和浇口处各有加热器,阀后设有碟形簧片。在高压熔料作用下,阀门打开,注射完后在弹簧的作用下自动关闭,阀的行程仅为 2.8mm。管芯内设有加热器,其尾部有一弹簧,使加热器前端始终紧贴针形阀。

3 热管式喷嘴热流道模具

图 2-30 是美国 Kenies 公司利用热管原理设计的热流道系统,其特点是流道的温度差非常小,最大温度差只有 2℃左右,所以塑料熔体从热流道板或注射机喷嘴经热管式喷嘴流向浇口时,温度降低很微小,不会凝固。热流阻力和注射压力损失都很小。通过浇口处模具的冷却装置调节温度,保持热平衡,控制塑料的凝固和熔融,使浇口自封。

热管式喷嘴除了具有热流道模具的优点外,还有以下独特优点:

- (1)不需要设分流梭和内加热器,使模具结构简单、操作方便,不易损坏,易维修。
- (2)塑料熔体流通宽畅,流动阻力小。通过控制热平衡,浇口不会出现堵塞和流涎现象。
- (3)不需拆卸清洗,更换颜色快,关于热管的作用原理,将在加热冷却系统设计中阐述。

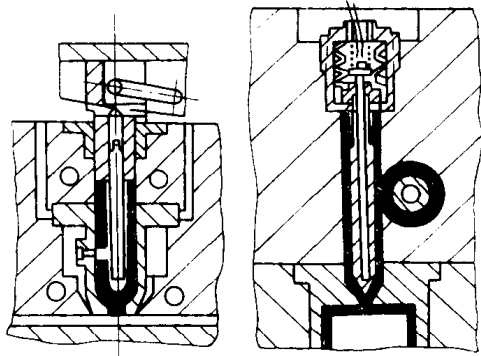


图 2-29 内加热的阀式浇口热流道模具

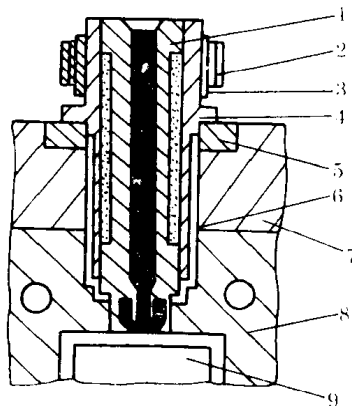


图 2-30 利用热管原理设计的热流道系统
1—内管 2—加热圈 3—传热铝套 4—外壳 5—定位环
6—传热介质 7—模板 8—型腔板 9—型芯

三 加热冷却系统的设计

模具温度调节有两个目的：一是提高成型率，二是提高制品的质量。注射成型时，对多数塑料来说，是把 200℃ 左右的塑料熔体注入模腔内，固化后模温降低到 50~60℃ 时取出制品。这个温差若调节不好，不但影响熔料充模，且易使制品翘曲变形和开裂。模具内快速冷却定型，是缩短成型周期，提高生产效率的重要措施。

加热是调节模具温度的一个方面。为了保持一定的注射温度，应对模具进行加热。大型模具中，如果成型距离较长，塑件壁厚，即使是低熔点塑料，为了防止充模不满，在初始注射时也应应对模具进行加热。如对 PA、POM 等，成型大面积制品时，模具也需要加热到 100℃ 以上。可用热水、热油或电加热。对需要加热的模具（即大型模具），要注意可动部件活动间隙适当。考虑模具受热膨胀使可动部件卡住，对于中等熔点的 PP、ABS 塑料等大型制品的模具，在成型之前进行预热，之后进行生产，当模温升到超过规定范围时，要进行冷却，但有时也使用局部加热的方法，以防止制品发生残余变形。

在模具内设置冷却系统是控制模具温度的有效措施。为了缩短制品模制周期，总是希望模具温度低一些，但是模温太低会使塑件产生料流迹、熔接缝线（或熔接不牢），强度差和严重缺料等问题。模温过高，虽然熔料流动性好，制品表面粗糙度小，力学性能好，但却发生大的收缩，成型周期长并产生缩孔。因此，模具应保持一定的模温，这样就必须靠模具的加热、冷却系统来调节。

影响模具温度调节的因素很多，主要是模具材料的影响。要提高模温调节效果就必须选择导热系数高的金属材料。表 2-11 列出了不同材料的导热系数，以供选择参考。

表 2-11 不同材料的导热系数

模 具 材 料	导 热 系 数/ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
纯铜(100℃)	377
铍铜(20℃, 275℃)	121,109

续表

模 具 材 料	导 热 系 数/ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$
铝青铜	189
纯铝(300℃)	230
铝合金(94%~98%铝,3%~5%铜,0.5%镁)	164
铝合金(87%铝,13%铜)	164
碳素钢(S50C、0.5%C)、(1%C)、(1.5%C)	53、43、36
SKD61	34
不锈钢(12%铬)、(1%铬)	16、26
铬钢	60

设计时要合理选择水孔直径大小、数量及其分布,对于厚壁处应加强冷却。为了使模具冷却均匀,冷水入口和出口温差以小为好。一般温差小于 $5^{\circ}C$,对于精密制品的模具温差小于 $2\sim 3^{\circ}C$ 。此外,在冷却回路长度为 $1.2\sim 1.5m$ 以上时需要增加流道数量,加大流量。液体流动最好是端流,这样冷却效果好。下面将从加热和冷却两个方面详细讨论。表2-12列出部分塑料的工艺参数,以供调节温度时参考。

表 2-12 部分塑料成型温度与模温关系

塑 料 名 称	成型温度/ $^{\circ}C$	模具温度/ $^{\circ}C$
PS	200~300	40~60
苯乙烯-丙烯腈	200~260	40~60
ABS	200~260	40~60
PE	150~300	40~60
PMMA 或甲基丙烯酸共聚体	180~250	50~70
PP	160~260	55~65
PA	200~320	80~120
POM	180~200	80~110
PC	280~320	90~120
醋酸纤维素	160~250	40~60
PVC	180~210	40~60

(一) 模具冷却分析

塑料注射模具的冷却剂常用压缩空气、水和冷冻水,但其温度不宜过低,过低导致冷却效率降低,一般选在 $10^{\circ}C$ 适宜。冷却剂在 $-1.1^{\circ}C$ 时需要加入25%的乙二醇,用来获得较低的冷却剂温度,使冷却剂流速降低。低速流动时流动状态是层流而不是湍流,因此,热传递明显下降。如水温在 $-12.2^{\circ}C$ 时需加入56%的乙二醇,这时冷却效率更低,如图2-31所示。

对于大型模具最好以自来水冷却,有条件时可用深井水冷却,这样较为经济。由上述

得知,水在模具通道中的流速应尽可能高一些。就流动状态来说,湍流比层流好,在湍流条件下,热传递速率高于层流 10~20 倍。因为在层流中冷却水以平行于冷却通道壁的诸同心层运动,从而妨碍了模具向冷却水散热过程的进行。然而,一旦达到湍流状态,再增加冷却水在管内的流速,其传热速率并无明显提高。如图 2-32 所示。

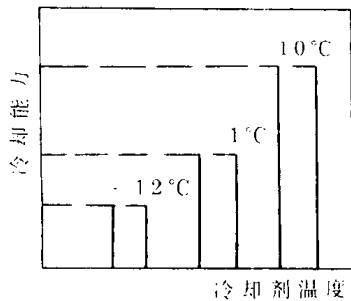


图 2-31 冷却剂温度—冷却能力

(二)冷却面积的计算

计算冷却面积的目的是为了设计冷却回路,求得恰当的冷却管道直径与长度,以满足冷却的要求。但是,由于传热方式不同等很多因素的影响,精确计算是很困难的。下面仅对冷却介质在管内作强制对流散热情况进行计算。

假设由塑料放出的热量全部传给模具,则有:

$$Q = nG\Delta h$$

其中

$$\Delta h = C_p(T_1 - T_0)$$

式中 Q ——传热速度(kJ/s);

n ——单位时间(秒)注射的次数;

G ——每次注射的塑料质量(kg);

Δh ——塑料热焓(kJ/kg);

T_1 ——塑料进入模腔时的温度(°C);

T_0 ——脱模时的温度(°C);

C_p ——塑料定压比热容[kJ/(kg·K)]。

这时冷却水管的传热面积 $A(\text{m}^2)$ 为:

$$A = \frac{Q}{(\alpha \cdot \Delta T)}$$

式中 α ——冷却介质对管壁的传热系数[W/(m²·K)];湍流时:

$$\alpha = 0.023 \left(\frac{\lambda}{d}\right) \left(\frac{ud\rho}{\mu}\right)^{0.8} \left(\frac{\mu C_{p2}}{\lambda}\right)^{0.4}$$

式中 λ ——流体导热系数[W/(m·K)];

d ——管内径(m);

u ——流体流速(m/s);

ρ ——流体密度(kg/m³);

μ ——流体粘度(Pa·s);

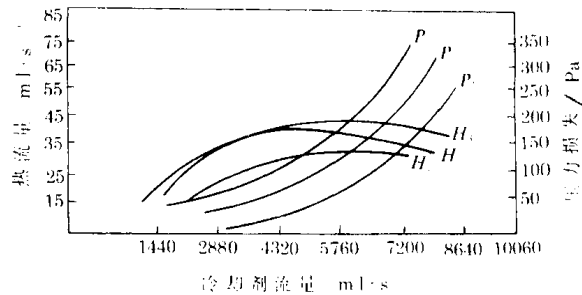


图 2-32 热流量—冷却剂流量—压力损失图

1—10°C水 2—1.1°C25%乙二醇溶液

3—12.2°C50%乙二醇水溶液

C_{p2} ——流体定压比热容(J/(kg·k));

ΔT ——模具和冷却介质的平均温度(°C)。

用此式计算时,必须满足下列条件:

(1)雷诺准数 $R_e > 10^4$ ($R_e = \frac{ud\rho}{\mu}$)

(2)普兰特准数 $P_r = 0.7 \sim 2500$ ($P_r = \frac{\mu C_p}{\lambda}$)

(3)用流体进出口温度的算术平均值作定性温度,再按此温度确定流体的各个物性常数。

(4)管长(L)与管内径(d)之比(L/d) > 50(即长管)。

(三)冷却水流量和所需孔径及孔数的确定

塑料注射模冷却时所需冷却水流量可按式计算:

$$q_{m2} = \frac{m_1 Q_0}{[C_{p2}(T_1 - T_2)]} \quad (2-28)$$

或
$$q_{v2} = \frac{m_1 Q_0}{[\rho C_{p2}(T_1 - T_2)]} \quad (2-29)$$

式中 m_1 ——单位时间注入模具中的塑料质量(kg/s);

Q_0 ——在模腔内单位质量熔融塑料凝固所放出的热量[kJ/kg];

ρ ——冷却水的密度(kg/m³);

c_{p2} ——冷却水的定压比热容[kJ/(kg·k)];

T_1 ——冷却水出口温度(°C);

T_2 ——冷却水入口温度(°C);

q_{m2} ——冷却水的质量流量(kg/s);

q_{v2} ——冷却水的体积流量(m³/s)。

由式(2-29)求出冷却水的体积流量后,便可根据湍流状态下水流量与管道的直径关系确定水孔直径,见表 2-13。

表 2-13 通道直径与体积流量的关系

通道直径 d/mm	体积率 $q_v/10^{-5}m^3/s$
8	6.33
11	15.83
19	63.33
24	126.67

表 2-14 给出了常用塑料熔体凝固时放出的热量(Q_0)。

表 2-14 常用塑料熔体凝固时放出热量

塑料名称	热量/kJ·kg ⁻¹	塑料名称	热量/kJ·kg ⁻¹	塑料名称	热量/kJ·kg ⁻¹
ABS	314~398	LDPE	586~691	POM	419
HDPE	691~816	PP	586	PS	272
PVC	167~356	CA	293	CAB	272
PA	649~754	SAN	272~335	丙烯酸塑料	293

冷却水孔数目的确定可由下式求得：

$$n = \frac{A}{\pi db} \quad (2-30)$$

式中 n ——水孔数目；

A ——传热面积(m^2), $A = \frac{Q}{\alpha \cdot \Delta T}$;

b ——模具上冷却水孔深,即模宽(m);

d ——水孔直径(m);

Q ——单位时间放出的热量(kJ/s);

ΔT ——平均温差($^{\circ}\text{C}$)。

从冷却效果来看,冷却水孔数目多比少要好,故虽然计算确定了冷却水孔数目,但最终在设计水孔数目时以大于计算数目为好。

有的资料推荐用如下公式求 α 值:

$$\alpha = A_0 \frac{(\rho u)^{0.8}}{d^{0.2}} \quad (2-31)$$

式中 α ——传热系数 [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$];

A_0 ——与入口冷却水温有关的物理常数。

表 2-15 列出了一系列 A_0 值供参考。

表 2-15 不同水温对应 A_0

平均入口水温/ $^{\circ}\text{C}$	0	5	10	15	20	25	30	35
A_0	5.71	6.16	6.61	7.06	7.50	7.95	8.40	8.84
平均入口水温/ $^{\circ}\text{C}$	40	45	50	55	60	65	70	75
A_0	9.28	9.66	10.05	10.43	10.82	11.16	11.51	11.86

例:某注射模具用于 PP 塑料零件成型,产量为 50kg/h ,用常温水 20°C 作为冷却介质,其出口温度为 27°C ,水在管内呈湍流。求其冷却水孔直径及其应开设冷却水孔的孔数 n (设模具各点的平均温度为 40°C ,模宽 $b=30\text{cm}$)。

解 (1)求水的体积流率 q_v

由公式 2-29 有:

$$\begin{aligned} q_v &= \frac{m_1 Q_0}{[\rho c_{p2}(T_1 - T_2)]} \\ &= [(50/3600) \times 586] / [1000 \times 4.183 \times (27 - 20)] \text{m}^3/\text{s} \\ &= 2.78 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

根据水的流率与水孔直径关系查表得水孔直径 $d=15\text{mm}$ 。

(2)求水的流速 u

$$\begin{aligned} u &= \frac{q_v}{A_{\text{孔}}} = \frac{q_v}{\frac{1}{4} \pi d^2} \\ &= \frac{2.78 \times 10^{-4}}{\frac{1}{4} \times 3.14 \times \left(\frac{15}{1000}\right)^2} \text{m/s} \\ &= 1.57 \text{m/s} \end{aligned}$$

(3)求传热系数 α

$$\begin{aligned}\alpha &= A_0 \frac{(\rho u)^{0.8}}{d^{0.2}} \\ &= \frac{7.5 \times (1000 \times 1.57)^{0.8}}{(15/1000)^{0.2}} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \\ &= 6.26 \times 10^3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) = 6.26 \text{ kW}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})\end{aligned}$$

(4)求传热面积 A

$$\begin{aligned}A &= \frac{Q}{\alpha \cdot \Delta T} = \frac{m_1 Q_0}{\alpha \cdot \Delta T} \\ &= \frac{50}{3600} \times 586 / [6.26 \times (40 - \frac{27+20}{2})] \text{ m}^2 \\ &= 0.0788 \text{ m}^2\end{aligned}$$

(5)求水孔数 n

$$\begin{aligned}n &= \frac{A}{\pi db} \\ &= \frac{0.0788}{3.14 \times \frac{15}{1000} \times \frac{30}{100}} = 5.6\end{aligned}$$

则取 $n=6$,即开 6 个水孔合适。

(四)冷却时间的计算

冷却时间在注射制品成型周期中占的比例较大,一般达 55% 左右。冷却时间太长,只会降低生产效率。太短,则开模残余温度过高,会引起制品变形。因此,应合理控制冷却时间,冷却时间可由下式求得:

$$t = \frac{b^2 \rho c \ln[(\theta_e - \theta_m)/(\theta_e - \theta_m)]}{\pi^2 \lambda} \quad (2-32)$$

式中 t ——制品冷却时间(s);

b ——制品厚度(m);

ρ ——制品材料的密度(kg/m^3);

λ ——制品材料的导热系数($\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$);

c ——制品的比热容($\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$);

θ_e ——型腔内熔料温度($^{\circ}\text{C}$);

θ_c ——脱模温度($^{\circ}\text{C}$);

θ_m ——模具温度($^{\circ}\text{C}$)。

例:注射壁厚 $b=4\text{mm}$ 的 ABS 圆筒,注射模腔熔料温度 220°C ,模具温度不高于 63°C ,制品脱模温度不高于 75°C ,求冷却时间 t 。

解:ABS 塑料性能参数 $\lambda=0.272\text{J}/(\text{m} \cdot \text{K} \cdot \text{s})$,

$C=1.46 \times 10^3\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $\rho=1040\text{kg}/\text{m}^3$

又知: $b=4\text{mm}$, $\theta_e=220^{\circ}\text{C}$, $\theta_c=75^{\circ}\text{C}$, $\theta_m=63^{\circ}\text{C}$

则由冷却时间计算公式求得:

$$t = \frac{b^2 \rho c \ln[(\theta_e - \theta_m)/(\theta_c - \theta_m)]}{\pi^2 \cdot \lambda} = \frac{(4/1000)^2 \times 1040 \times 1.46 \times 10^3 \times \ln(\frac{220-63}{75-63})}{(3.14^2 \times 0.272)}$$

$$= 23.4(s)$$

这样计算与实际值有一定误差,但在设计时有一定的参考价值。

(五)冷却系统的设计

冷却系统的设计好坏直接关系到产品的质量。冷却不均匀,会使制件翘曲变形,产生内应力、开裂等。同时也影响塑件的成型周期。因而设计冷却系统在整个塑料模具设计中占有较为重要的作用。在设计冷却系统时应遵循以下原则:

(1)冷却水孔数量多、尺寸大、间距小,冷却效果好。

(2)水孔排列尽可能按型腔形状排列,离型腔的距离视制件的壁厚情况而定。如图 2-33 所示。

(3)热量聚集的地方加强冷却(塑件壁厚处和热浇口处),如图 2-34 所示。

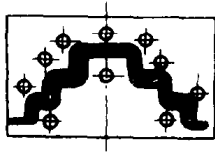


图 2-33 水孔排列方式

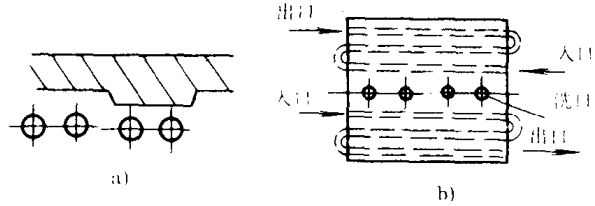


图 2-34 厚壁和浇口处加强冷却
a)厚壁处加强冷却 b)浇口处加强冷却

(4)降低入口和出口的水温差,这样就要求流程尽可能要短而不要过长。

(5)在产生熔接痕处避免冷却过度,以免影响熔接牢度。

(6)一般情况下,水孔直径不得过小,在 $\Phi 8 \sim \Phi 12\text{mm}$ 之间选取较好。

下面介绍大型模具中常见的冷却方式。如图 2-35 是常见的外缘冷却形式之一,其制品一般为圆筒形。

如图 2-36 所示是大型制品的高级冷却形式,成型件为圆筒时,将型腔做成套筒式,在外圆做成环状回路。型芯做成喷水式对进料口附近进行冷却。

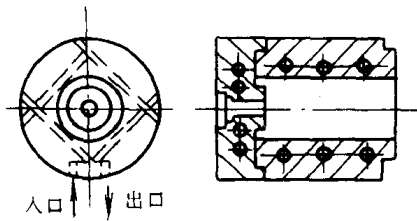


图 2-35 深腔冷却

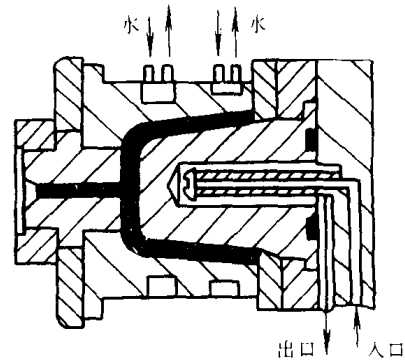


图 2-36 大型制品型腔冷却

如图 2-37 所示,采取型芯冷却,水道为盘卷形,用中心进水在浇口处加强冷却,这种冷却一般用于浅型大面积型腔或平板制品。

图 2-38 是盘旋形水道,这种水道的冷却效果良好,用于深腔制品。要求良好地密封。

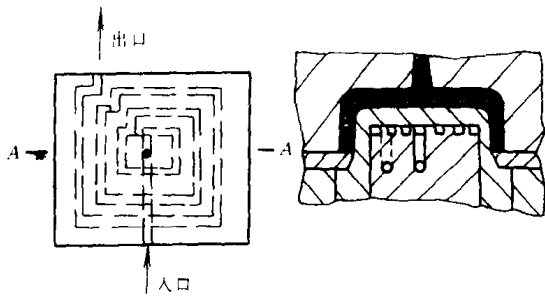


图 2-37 盘卷形水道型芯冷却

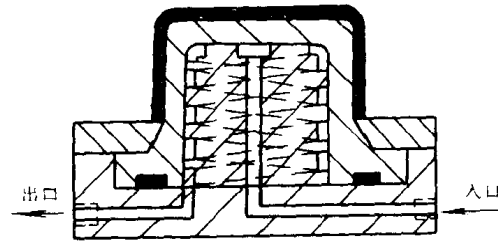


图 2-38 盘旋形水道

图 2-39 为喷淋式冷却,沿喷口附近成回路,其目的是对喷口处加强冷却。当采用多点浇口时,可同时设几个喷水管进行冷却。

图 2-40 为挡板式冷却系统。这种冷却系统加工简单,适合筒状件冷却。

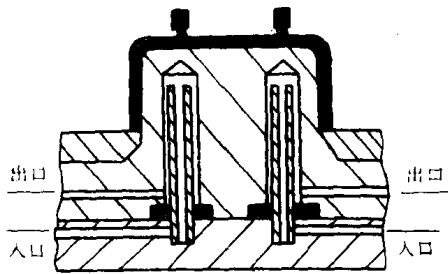


图 2-39 喷淋式冷却

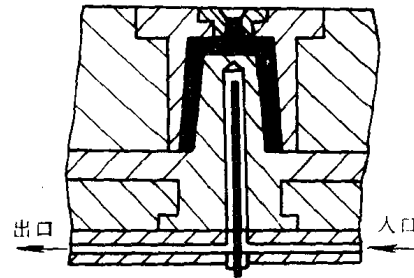


图 2-40 挡板式冷却

图 2-41 为卷状水孔冷却路线。

图 2-42 同时进行型腔和型芯的冷却,采用贯通式水道,水孔的布置按制品形状而排列,这种冷却在大型模具中较为合适。

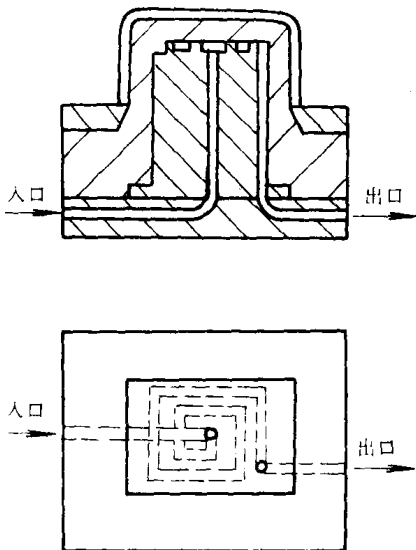


图 2-41 卷状水孔冷却线路

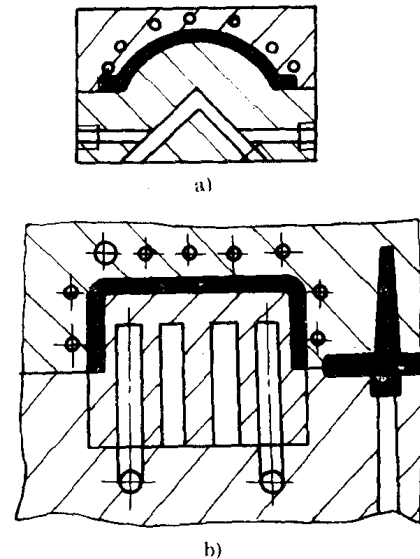


图 2-42 贯通式水道

图 2-43 为深腔壁厚冷却系统,为盘旋形水槽和型腔循环冷却,这种冷却效率非常高,但结构复杂。在模具上有时会遇到局部热量积聚的地方,这就要及时采用局部冷却。

图 2-44 即是局部冷却单元。这个单元与孔的配合如果有间隙则效果降低,故需加以注意。

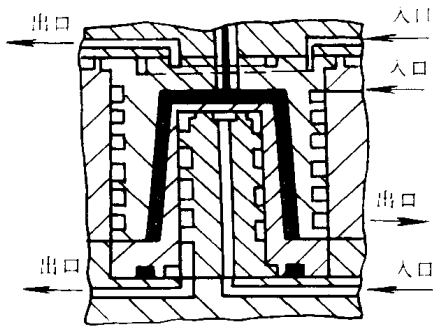


图 2-43 深腔大制品冷却

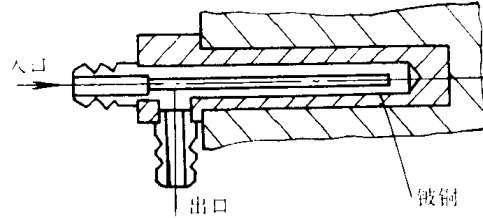


图 2-44 冷却单元

图 2-45 为热管冷却,热管冷却效果很好,国外已得到广泛应用。热管不仅用于局部冷却,而且逐渐趋向于用热管代替水管冷却。其优点如下:

- (a) 成型周期可缩短 30% 以上;
- (b) 降低废品率;
- (c) 制品精度高,色泽最佳;
- (d) 延长模具使用寿命;
- (e) 降低能源损耗。

目前采用水管冷却缺点如下:

- (a) 模具水道壁易生锈;
- (b) 树脂热量过大时易引起沸腾,短时产生气体阻碍水的流动,冷却能力下降;
- (c) 有漏水现象。

现在很多人认为,只要加强冷却(冷却剂温度很低)就可以缩短成型周期。但实际上适得其反。温度高的水蒸发快,易散热,热管就是依据这个原理设计的。热管安装是否适当,也影响其冷却效果。在热管与模具之间留有间隙,就会影响冷却效果。一般热管安装以卧式为佳。热管的工作原理可以说是蒸发-冷凝原理和毛细现象的巧妙结合。在一个密闭结构中装有若干载热介质,借助于热介质的蒸发,蒸汽的输出和冷凝,然后通过毛细作用使冷凝液从冷凝段返回蒸发段,这样就把热量从结构的一部分传给另一部分。其热管由三段组成,在蒸发段 A(图 2-45),被外热源加热时,毛细芯中的载热介质就被蒸发成蒸汽,同时吸收了汽化潜热。由于存在压力差的关系,蒸汽沿着中间通道经过绝热段流向冷凝段,变成液体。液态载热介质在毛细吸力的作用下,从毛细芯中又流回蒸发段,维持受热蒸发,如此往复循环,连续不断地把热量由蒸发段传递到冷凝段。

热管具有超高的导热性能,被称为“热的超导体”,导热能力可达铜的几百至一千倍,如图 2-46 所示,因此它特别适宜于局部加热和冷却。日本新柯公司热管有 $\Phi 2\text{mm}$ 、 $\Phi 3\text{mm}$ 、 $\Phi 4\text{mm}$ 、 $\Phi 5\text{mm}$ 、 $\Phi 6\text{mm}$ 、 $\Phi 8\text{mm}$ 和 $\Phi 9.5\text{mm}$ 数种。表 2-16 给出了国外生产导热管的标准尺

寸,此外也有根据客户要求制作的。

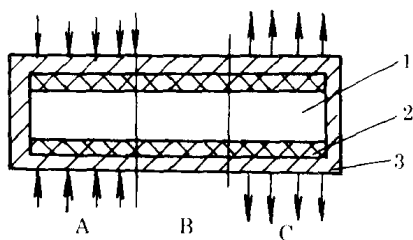


图 2-45 热管工作原理

1—蒸气腔 2—毛细口及液芯 3—管壳
A—加热段 B—绝热段 C—冷却段

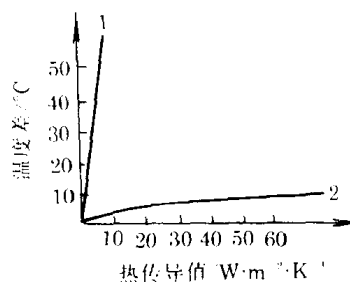


图 2-46 热管和铜的导热性能比较

1—铜棒(Φ7mm) 2—热管(外径 Φ7mm)

表 2-16

热管的标准尺寸

(mm)

直 径 \ 长 度	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	95	105	115	120	125	135	145	155	165	185	205
2	-	0	-	-	-	0	-	-	-	0	-	0	-	0	0	0	0	0	-	-	-
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-
4	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	-	-	-	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	0	-	-	0	-	0	0	0	0	0

注:—表示无,0表示有

(六) 加热系统的设计

大型模具的加热装置常采用以下两种形式:

1 热水和过热水加热

这种加热装置的结构和设计原则与冷却水孔无异,这对于开机前的预热、正常生产一段时间后又需要冷却的塑料注射模来说大为方便。在有条件的地方最好使用热水或过热水(模具温度要求在 80℃ 以上者),因为这样的加热装置有强制流动过程,可使整个模温分布较为均匀,有利于制品质量的提高,但模温调节有困难,且延滞期较长,应予以充分考虑。

2 电热棒加热

在模具适当的部件上钻孔,将电热棒插入并接入温度自动控制屏,或在加热棒与电源间接入调压变压器进行温度控制。这种加热系统结构简单,使用方便,清洁卫生,传热好,为要求模温较高的大型塑料射模所采用。但有局部过热的缺点,应予以注意。

关于电热棒加热功率及其所需要电热棒根数的确定如下:

(1) 电加热模具所需总功率计算

计算公式如下:

$$P = \frac{mc(T_R - T_\theta)}{\tau\eta} \quad (2-33)$$

式中 m ——模具质量(kg);

c ——模具材料的比热容[J/(kg·K)], 碳钢为 628J/(kg·K);
 T_R ——所需要的模温(°C);
 T_θ ——模具初始温度(°C);
 η ——加热效率;
 τ ——加热时间(s)。

(2) 电加热棒加热模具所需总功率的验算其验算公式如下:

$$P = 0.24m(T_R - T_\theta) \quad (2-34)$$

(3) 电加热模具所需总功率的经验公式如下:

$$P = mP_\theta \quad (2-35)$$

式中 P_θ ——加热单位质量模具至所需温度的电功率(W/kg), 大型模具采用加热棒时 P_θ 的经验值为 25W/kg, 采用加热环时 P_θ 经验值为 65W/kg。

(4) 电热棒根数的确定

计算公式如下:

$$n = \frac{P}{P_0} \quad (2-36)$$

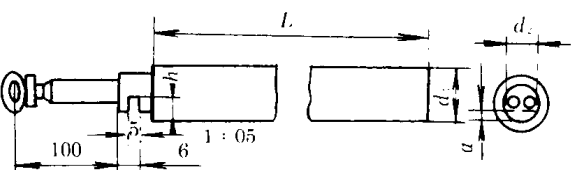
式中 n ——电加热棒根数;
 P ——总功率(W);
 P_0 ——电热棒的额定功率(W)。

电热棒额定功率 P_0 按表 2-17 选取。

局部加热时使用热管效果很好, 关于热的讨论, 这里不再重述。

有时也可使用微型加热管, 管的直径在 8mm 以下, 电压为 220V, 功率在 500W 以下, 用它代替电阻丝可简化模具结构, 制造安装方便。

表 2-17 电热棒外形尺寸与额定功率表



名义直径/mm	13	16	18	20	25	32	40	50
允许公差/mm	±0.1		±0.12			±0.2		±0.3
盖直径 d /mm	8	11.5	13.5	14.5	18	26	34	44
槽深 h /mm	1.5	2	3			5		
长度 L /mm	功率 P_0 /W							
60~3	60	80	90	100	120			
80~3	80	100	110	125	160			
100~3	100	125	140	160	200	250		
125~4	125	160	175	200	250	340		
160~4	160	200	225	250	320	400	500	

续表

名义直径/mm	13	16	18	20	25	32	40	50
200~4	200	250	280	320	400	500	600	800
250~5	150	320	350	400	500	600	800	1000
300~5	300	375	420	480	600	750	1000	1250
400~5		500	550	630	800	1000	1250	1600
500~5			700	800	1000	1250	1600	2000
650~6				900	1250	1600	2000	2500
800~8					1600	2000	2500	3200
1000~10					2000	2500	3200	4000
1200~10						3000	3800	4750

(七)微型计算机模拟注射模具冷却系统设计

1 概述

上述注射模冷却加热的设计是凭设计者的经验和一些经验公式进行的。为了使塑料制品在模具中得到均匀冷却,要求合理设计注射模具冷却系统,否则,想提高注塑制品的精度,避免制品的冷斑、凹陷、翘曲变形等缺陷,提高生产率和降低成本都是一句空话。

国外塑料工业发达的国家对微机模拟注射模的冷却系统设计都已引起重视并进行运用,目前,我国也正在研制和推广微型计算在塑料工业方面应用。在塑料工业中,用微型计算机辅助模具设计(CAD)和辅助模具制造(CAM)是完全有条件的,也是可行的。微型计算机模拟计算注射模冷却过程,任意瞬间温度差的变化及制品内外表面温度分布、型腔与型芯的冷却速率等参数,可用于新型注塑模的优化设计和对现有注射模的改造。

微型计算机的模拟过程可代替真正的注射模试模过程,可在模具真正加工制造以前预知模具的性能、制品内外表面的最大温差、冷却时间、型腔与型芯冷却的平衡性等数据。这不仅节省了试模的费用和时间,而且大大加快了制品投产的速度。

2 微型计算机模拟过程

首先输入注射制品和模具的几何尺寸、塑料及模具的导热系数、定压比热容、密度、对流传热系数、以及模具冷却工艺条件等参数,程序自动地建立有限网络将模具划分成若干个结点和单元,随后计算在给定时间间隔时模具各结点的温度、输出模具温度差分布的数据、制品内、外表面平均温差与最大温差、型腔与型芯散热效率及模具温度场分布图。若制品冷却未到达热变形温度,则以此时模具温度场的数据作为下一时间间隔的初始温度、重新计算下一时间间隔温度的变化,直到制品达到热变形温度为止。如果结果不满意,可以修改冷却水道的位置、尺寸和数量等参数,直到得到满意的结果为止。

3 两型腔注射模模拟

现以两型腔注射模(图 2-47)为例来说明模拟过程。

该模定模型腔嵌件设有四根冷却水道、动模型芯嵌件因有推杆仅有两条水道。模具两型腔对称分布,仅需模拟一个型腔即可。

为简化计算过程,假设:

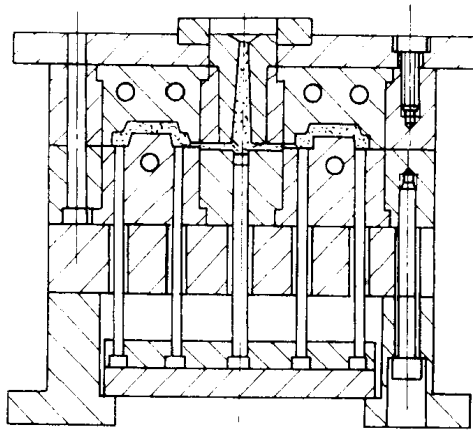


图 2-47 两型腔注射模

- (1) 聚丙烯熔体温度为 200 C 充满型腔, 热量通过型腔壁传给模具;
- (2) 模具初始温度为 43 C;
- (3) 冷却水温度为 20 C;
- (4) 模具外表面同室温, 为 20 C, 做自然对流传热。

模具与聚丙烯塑料的热性能见表 2-18

型腔充满熔料后即行冷却, 4s 后模具三维温度分布场见图 2-48。

表 2-18 模具和聚丙烯塑料热性能

物理性能	模 具	塑 料
导热系数/ $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$	36	0.15
模具与水的传热系数/ $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$	2800	
比热容/ $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	444	3580
密度/ $kg \cdot m^{-3}$	8000	770

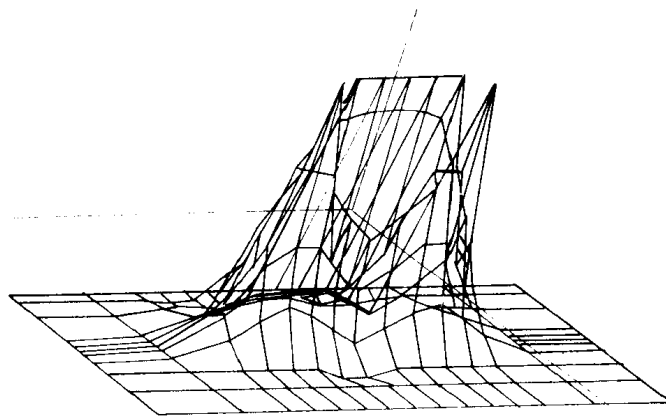


图 2-48 模具三维温度分布状况

图中两点最高温度处于制品外表面侧壁转角处, 制品厚度的中心部分也处于较高温度。模具三维等温线分布见图 2-49。

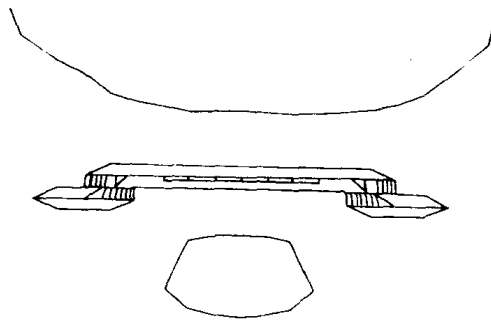


图 2-49 模具二维等温线分布状况

图中上部两条冷却水道冷却面积显然大于下部一条冷却水道的冷却面积,沿制品厚度方向有七个温度层、外层面温度较低,最内层温度较高,注射制品内、外表面随冷却时间的延长,其温度变化见图 2-50。冷却到 2s 时最大温差达 14℃,60s 后缩小为 2℃。制品内外表面的温差是由于型腔与型芯不平衡的冷却造成的。热流速率与冷却时间的变化见图 2-51。随着冷却过程的延续,热流速率逐渐下降。

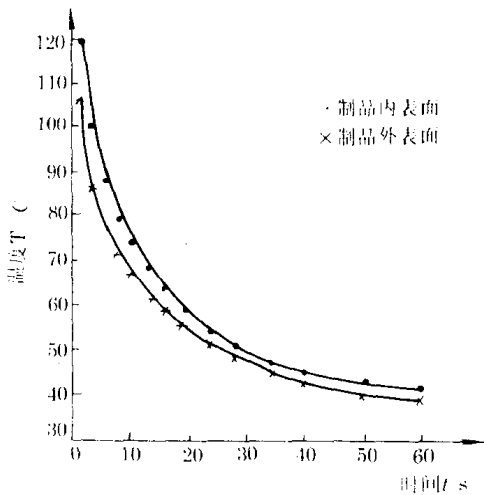


图 2-50 制品温度与冷却时间的关系

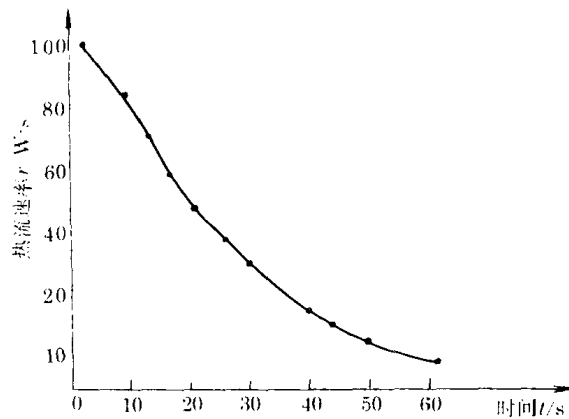


图 2-51 热流速率与冷却时间的关系

四 成型零件的设计

成型零件是指构成模具型腔和型芯的零件,设计时必须准确计算。由于塑料熔体的高压作用,为了满足使用要求,必须对成型零部件做刚度和强度校核。对于大型塑料注射模具的型腔壁厚计算,主要做刚度校核即可。

(一)成型零件工作尺寸的计算

大型塑料注射模具零件工作尺寸的确定,不能采用中小型模具零件计算方法,因为模具制造公差对中小型塑件尺寸精度影响很大,而塑料收缩率波动值却对大塑件(即大型模具)尺寸精度影响很大。在计算时应根据原四机部制订的塑件尺寸公差表和精度选用表为依据,同时考虑模具材料的热膨胀和塑件的综合收缩率,而不采取平均收缩率值算法。下面用直接代入 δ_c 和 δ_z 的方法讨论。

1 型腔或型芯径向尺寸计算

(1)型腔内径尺寸按下列公式计算:

$$D_{M1} = (D_S + D_S S_Q - \frac{\Delta}{2} - \frac{\delta_z}{2} - \frac{\delta_c}{2})^{+\delta_z} \quad (2-37)$$

(2)型腔外径尺寸按下述公式计算:

$$D_{M2} = (d_s + d_s S_Q + \frac{\Delta}{2} + \frac{\delta_z}{2} + \frac{\delta_c}{2})_{-\delta_z} \quad (2-38)$$

2 型腔深度和型芯高度计算

(1)型腔深度计算公式:

$$H_M = (H_S + H_S S_Q - \frac{\Delta}{2} - \frac{\delta_z}{2})^{+\delta_z} \quad (2-39)$$

(2)型芯高度尺寸计算公式:

$$h_M = (h_s + h_s S_Q + \frac{\Delta}{2} + \frac{\delta_z}{2})_{-\delta_z} \quad (2-40)$$

3 孔中心距尺寸计算

计算公式如下:

$$L_M = (L_S + L_S S_Q)_{\pm \frac{\delta_z}{2}} \quad (2-41)$$

式中 D_{M1} ——型腔内径尺寸;

D_S ——塑件相应的最大极限尺寸;

S_Q ——塑料的综合收缩率;

Δ ——塑件制造总公差;

δ_z ——模具成型零件的制造公差;

δ_c ——模具成型零件的总磨损值;

D_{M2} ——型腔外径尺寸;

d_s ——塑件相应的最小极限尺寸;

H_M ——型腔深度尺寸;

H_S ——塑件相应的最大极限尺寸;

h_s ——塑件相应的最小极限尺寸;

h_M ——型芯高度尺寸;

L_M ——中心距尺寸;

L_S ——塑件上相应中心距公称尺寸。

上述式中应注意以下几点:

(1)综合收缩率 S_Q :在精确计算时除塑件收缩率影响外,还应考虑模具成型零件材料的热膨胀率。由于膨胀和收缩是相互抵消的,因此收缩率即是塑料的收缩率 S 减去模具成型零件材料的热膨胀率 Q ,即:

$$S_Q = S - Q \quad (2-42)$$

材料的膨胀率计算公式如下

$$Q = \alpha(T - T_1) \times 100\% \quad (2-43)$$

式中 α ——金属材料膨胀系数($^{\circ}\text{C}^{-1}$);
 T ——模具成型零件的加工温度($^{\circ}\text{C}$);
 T_1 ——模具常温($^{\circ}\text{C}$)。

(2)正确选择 δ_c 和 δ_z ;对于成型比较软而且具有自滑性的 PE、PP、PA 等的塑料模具, δ_c 可取零,但考虑到大型模具成本高和降低产品成本的需要,为了延长模具的使用寿命,可以将 δ_c 取得大一点,但是应远小于 $\Delta/6$,如果取 $\delta_c = \Delta/6$,模具磨损寿命将大大延长。对于大型制件, $\delta_c = \Delta/6$ 是极不合理的。

对于大型制件,如果维持制造公差 $\delta_z = \Delta/3$,则加工精度低,而且随着制件尺寸变大,加工精度愈来愈低,因此大型制件的模具应取 $\delta_z < \Delta/3$ 。

成型零件工作尺寸另一种计算方法是采用对称公差进行计算:对称公差就是双向值分布公差 $\pm \Delta/2$,标注制件尺寸和成型尺寸,然后进行计算。按双向等公差标准时,塑件的基本尺寸为平均尺寸 L_{SCP} 。 L_{SCP} 加上收缩率后,即为模具使用到额定寿命一半时的平均尺寸 L_{MCP} 。

即:
$$L_{MCP} = L_{SCP} + L_{SCP}S_{CP} \quad (2-44)$$

对于型腔内径来说,对称公差的名义尺寸 L_{MCP} 与单向公差名义尺寸 L_M 的关系为:

$$L_{MCP} = L_M + \frac{\delta_c}{2} + \frac{\delta_z}{2} \quad (2-45)$$

即:
$$L_M = L_{MCP} - \frac{\delta_z}{2} - \frac{\delta_c}{2} \quad (2-46)$$

型腔内径等于磨损中会变大或易修大的成型尺寸减去修模余最 δ_x ,再标上制造公差,故得:

$$L_M = (L_{MCP} - \frac{\delta_z}{2} - \frac{\delta_c}{2} - \delta_x)^{+\delta_z} \quad (2-47)$$

令 $\frac{\delta_c}{2} + \delta_x = \frac{\delta_z}{2}$,于是上式变为:

$$L_M = (L_{MCP} - \delta_x)^{+\delta_z} \quad (2-48)$$

对于在磨损中会变小或易修小的成型尺寸,如型芯径向尺寸, L_{MPC} 的计算方法同式(2-44),改标为单向公差,其名义尺寸如下:

$$L_M = L_{MCP} + \frac{\delta_z}{2} + \frac{\delta_c}{2}$$

考虑到制造公差 δ_x ,则有:

$$L_M = (L_{MCP} + \frac{\delta_z}{2} + \frac{\delta_c}{2} + \delta_x)_{-\delta_x} \quad (2-49)$$

令 $\frac{\delta_c}{2} + \delta_x = \frac{\delta_z}{2}$,则式(2-49)变为:

$$L_M = [L_{MCP} + \delta_x]_{-\delta_x} \quad (2-50)$$

令 $\frac{\delta_c}{2} + \delta_x = \frac{\delta_z}{2}$ 比令 $\delta_z = \Delta/6$ 、 $\delta_c = \frac{\Delta}{3}$ 更合理。当型腔易修深时,可采用型腔内径公式(2-47)计算型腔深度尺寸。当型芯易修短时,可采用型芯外径公式(2-49)计算型芯高度尺寸。但是当型腔易修浅、型芯易修高时仍采用上面的公式是不合理的。这时建议采用下式计算型腔易修线的型腔深度尺寸:

$$L_M = (L_{MCP} - \frac{\delta_z}{2}) + \delta_z \quad (2-51)$$

用下式计算型芯易修高的型芯高度尺寸：

$$L_M = (L_{MCP} + \frac{\delta_z}{2}) - \delta_z \quad (2-52)$$

(二)型腔壁厚和垫板厚度的计算

理论分析和实践证明,大型模具的刚度是主要问题,而强度是次要问题。模具在生产中很少有因强度不足而损坏的,损坏往往是由刚度问题而引起的,因此,确定成型零件结构尺寸应以满足刚度条件为前提,对型腔和垫板进行刚度校核。校核原则如下:

(1)所允许的型腔变形量不能产生溢料。当高压熔体注入型腔时,由于构件弹性变形会产生溢料间隙。为此,根据不同塑料的粘度特征,在组合式型腔中的配合面上以其不溢料的最大间隙作为刚度条件。如果制件要求精度高。则可适当减小其允许挠曲量(δ),以增加型腔壁厚和垫板厚度。表 2-19 列出了几种常用塑料的允许变形量(δ)的范围。

表 2-19 几种塑料 δ 值允许范围

粘度特征	塑料品种	δ 值允许范围/mm
高粘度	PC、PPO、PSF	0.06~0.08
中粘度	PS、PMMA、ABS	0.04~0.05
低粘度	PA、PE、PP	0.03~0.04

(2)保证大型制件的尺寸精度。当某些工作部位尺寸和配合精度要求较高时,就要求模具相应的型腔有很好的刚度,取其最大弹性变形 $\delta_{max} = \Delta / (20 + 10\Delta)$ 作为刚度依据,其中 Δ 为塑料制品尺寸的允许公差,按 SJB72-78 公差值选用。如果要求的精度不太高,在满足其它条件的前提下,可适当放大 δ_{max} 值,取 $\Delta/10$ 左右,甚至可到 $\Delta/5$,应以具体情况而定。

1 型腔壁厚的确定

(1)组合式圆形型腔侧壁厚度计算:大型塑料注射模具考虑到加工困难和缩短制模周期,一般模具型腔都采用组合式,是没有整体式型腔。可以把组合式型腔视为两端开口,受有均匀内压力的厚壁圆筒。如图 2-52 所示,壁厚可用下式求得:

$$t = R \sqrt{\frac{1 - \mu + \frac{E\delta}{Rp}}{\frac{E\delta}{Rp} - \mu - 1}} \quad (2-53)$$

式中 μ ——泊松比,碳钢为 0.25;

t ——壁厚(mm);

R ——圆形型腔内半径(mm);

E ——模具材料的弹性模量,碳钢为 210GPa;

δ ——允许变形量(即刚度条件)(mm);

p ——型腔压力(Pa)。

对式(2-53)讨论;

(a) 当 $E\delta/(Rp) > \mu + 1$ 时 t 值为有效, 此时 δ 值在满足不溢料的前提下取可能的大值。这样不仅减轻了模具重量, 缩小了总体尺寸, 而且节省了材料。

(b) 当 $E\delta/(Rp) \leq \mu + 1$ 时, t 值无意义。这时如果要想满足原来的刚度条件, 无论壁厚怎样大都达不到要求。因此, 当塑料熔体注入型腔时压力甚高或型腔尺寸大于某一值时, 无论 t 值怎样也不会满足条件。但如果条件许可, 可适当放宽型腔径向尺寸, 从而改变允许变形量 δ 值。

(c) 根据所给刚度条件算出型腔壁厚后, 可考虑改用斜止口增强结构。如图 2-53 所示。斜止口结构除起增强型腔侧壁的作用外(对型腔作用不大), 由于模具注射时的种种条件还可能发生侧压, 使动模和侧模之间发生错位, 斜止口结构尚可以弥补由导柱定位所产生的间隙差。有时斜止口也可以用防胀键结构来代替。关于斜止口和防胀键尺寸计算以后讨论。

大型注射模具一般没有整体型腔, 所以有关圆形整体式型腔壁厚就不再讨论了。如果特殊情况型腔形状简单, 采用了整体式, 可以按组合式圆形型腔计算方法计算壁厚。

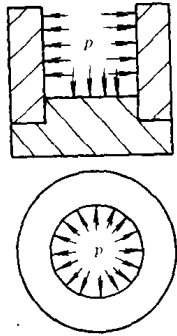


图 2-52 圆形型腔受力图

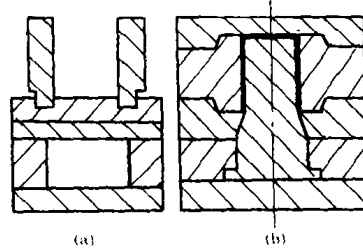


图 2-53 斜止口增强结构形式
(a) 单面斜止口 (b) 双面斜止口

(2) 组合式矩形型腔侧壁厚度的计算: 目前, 组合式矩形型腔侧壁厚度计算方法日益增多, 各有各的观点。现分别介绍如下三种方法。这三种计算方法对大型模具型腔侧壁厚度计算还是合理的, 而且在实践中已证实是可行的。

(a) 如图 2-54 所示, 在这种结构中取出长为 L_1 (mm), 宽为 h (mm) 的某一侧壁, 将其视为受均布静载荷的固定梁力学模型, 最大挠度发生在中点, 则有:

$$\delta_{\max} = \frac{phL_1^4}{384EJ} \quad (2-54)$$

由于 $J = AS^3/12$, 则有:

$$S = \sqrt[3]{\frac{phL_1^4}{32EA\delta_{\max}}} \quad (2-55)$$

- 式中: p ——型腔内压力(MPa);
 J ——模型的惯性矩(mm^4);
 S ——型腔壁厚(mm);
 E ——模具材料的弹性模量(MPa);
 A ——型腔壁总长度(mm);

δ_{\max} ——最大挠度(mm)。

(b)如图 2-55 所示,取出如上侧壁体,将其视为受均布静载荷的简支梁力学模型,最大挠度发生在中点:

$$\delta_{\max} = \frac{5WL_1^4}{384EJ} \quad (2-56)$$

式中 W ——宽度方向所受的力(MPa/(mm)), $W = ph$ 。

将 $J = \frac{AS^3}{12}$ 代入式(2-56)解得:

$$S = \sqrt[3]{\frac{5phL_1^4}{32EA\delta_{\max}}} \quad (2-57)$$

将式(2-55)和式(2-57)比较便知:第二种方法是第一种方法解出的壁厚的 $\sqrt[3]{5}$ 倍。

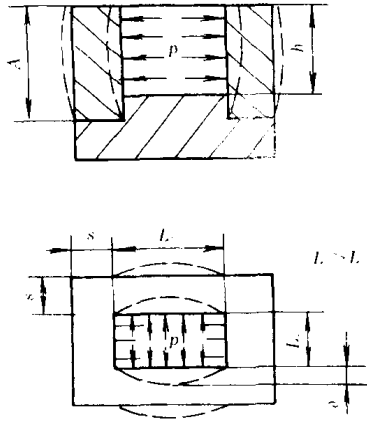


图 2-54 矩形型腔受力图

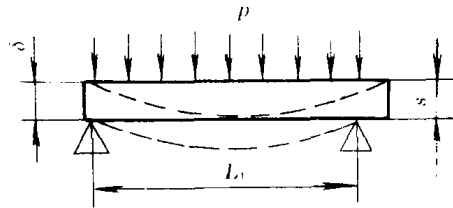


图 2-55 简支梁受力图

(c)这种方法不同于上述两种方法,既不按固定梁计算,又不按简支梁计算。这是由于两个侧面对各自一边有牵联影响,假设将型腔内壁作为承受均布载荷的框架来考虑,并且认为受力后四角保持直角,受力图如图 2-56 所示。

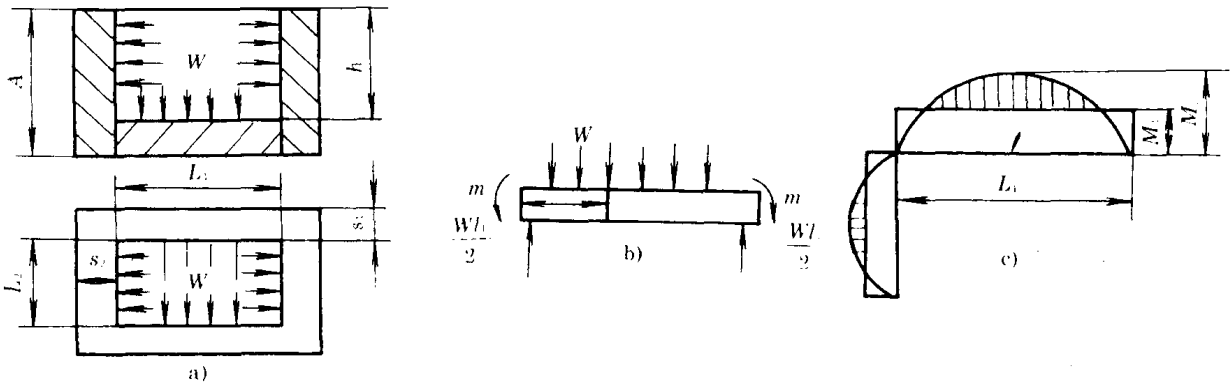


图 2-56 矩形型腔受力分析

a) 受力面 b) 简支梁 c) 合成弯矩图

令 M_1 为相邻两侧受力后引起的弯矩, M_2 为该壁受均布载荷时,将其当简支梁看待时的最大弯矩,由力学知识可知距离支点 x 处的弯矩方程为:

$$M(x) = \frac{WL_1}{2}x - \frac{Wx^2}{2} - M_1 \quad (2-58)$$

由于梁的挠度曲线方程为:

$$M(x) = EJ \frac{d^2y}{dx^2} \quad (2-59)$$

则结合上式(2-58)和式(2-59)得:

$$EJ \frac{d^2y}{dx^2} = \frac{WL_1}{2}x - \frac{W}{2}x^2 - M_1 \quad (2-60)$$

积分得:

$$EJ \frac{dy}{dx} = \frac{WL_1}{4}x^2 - \frac{W}{6}x^3 - M_1x + C_1 \quad (2-61)$$

$$EJy = \frac{WL_1}{12}x^3 - \frac{W}{24}x^4 - \frac{M_1}{2}x^2 + C_1x + C_2 \quad (2-62)$$

式中 C_1, C_2 ——积分常数

由边界条件:

① $x = L_1/2$ 时, $dy/dx = 0$

② $x = 0$ 时, $y = 0$

将边界条件①、②分别代入式(2-61)和式(2-62)解得:

$$C_1 = -\left(\frac{WL_1^3}{24} - \frac{M_1L_1}{2}\right)$$

$$C_2 = 0$$

则式(2-62)变为:

$$EJy = \frac{WL_1}{12}x^3 - \frac{W}{24}x^4 - \frac{M_1}{2}x^2 - \left(\frac{WL_1^3}{24} - \frac{M_1L_1}{2}\right)x \quad (2-63)$$

在 $x = \frac{1}{2}L_1$ 处有:

$$EJy = -\frac{5WL_1^4}{384} + \frac{M_1L_1^2}{8} \quad (2-64)$$

只考虑壁的变形量而不管其变形方向,则式(2-63)为非负值,即变形量 y 为正值:

$$y = \frac{1}{EJ} \left(\frac{5WL_1^4}{384} - \frac{M_1L_1^2}{8} \right) \quad (2-65)$$

由式(2-64)知 M_1 减小时 y 值增大。通过计算 M_1 有一最小值:

$$M_1 = \frac{W(L_1^3 + L_2^3)}{12(L_1 + L_2)}$$

令 $L_2 = aL_1$ 则有:

$$M_1 = \frac{WL_1^2}{12} (1 - a + a^2) \quad (2-66)$$

令 $dM_1/da = 0$ 得 $a = 1/2$ 时 M_1 有最小值,即 $M_{1\min} = 3WL_1^2/48$,此时 y 有最大值,即 $y_{\max} =$

$\frac{WL_1^4}{192EJ}$,取 $y_{\max} = \delta_{\max}$,则:

$$\delta_{\max} = \frac{WL_1^4}{192EJ} \quad (2-67)$$

因此在设计时应尽量避免 $L_2 = \frac{1}{2}L_1$, 由式(2-65)和式 $J = AS^3/12$ 、 $W = ph$ 得到:

$$S = \left[\frac{3L_1^2}{2AEy} \left(\frac{5WL_1^2}{48} - M_1 \right) \right]^{\frac{1}{3}}$$

即:
$$S = \left[\frac{3L_1^2}{2AE\delta} \left(\frac{5phL_1^2}{48} - M_1 \right) \right]^{\frac{1}{3}} \quad (2-68)$$

这三种计算型腔侧壁的厚度的方法可通过下面例子进行对比。

例: 已知型腔尺寸如图 2-57 所示, 允许变形量 δ 为 0.06mm, 求侧壁厚度。

解: 按第一种方法计算:

$$S_1 = \sqrt[3]{\frac{phL_1^4}{32EA\delta}} = \sqrt[3]{\frac{50 \times 100 \times 200^4}{32 \times 2.1 \times 10^5 \times 160 \times 0.06}} \text{ (mm)}$$

$$= 50 \text{ (mm)}$$

按第二种方法计算:

$$S_2 = \sqrt[3]{\frac{5phL_1^4}{32EA\delta}} = \sqrt[3]{5} S_1 = \sqrt[3]{5} \times 50 = 85.5 \text{ (mm)}$$

按第三种方法计算:

$$M_1 = \frac{W(L_1^3 + L_2^3)}{12(L_1 + L_2)} = \frac{5000 \times (200^3 + 120^3)}{12 \times (200 + 120)} \text{ (MPa} \cdot \text{mm}^3)$$

$$= 1.267 \times 10^7 \text{ (MPa} \cdot \text{mm}^3)$$

$$= 12.67 \text{ (kN} \cdot \text{m)}$$

则:

$$S_3 = \sqrt[3]{\frac{3 \times (200 \times 10^{-3})^2}{2 \times 160 \times 10^{-3} \times 2.1 \times 10^5 \times 0.06 \times 10^{-3}} \left[\frac{5 \times 50 \times 100 \times 10^{-3} \times (200 \times 10^{-3})^2}{48} - (12.67 \times 10^3) \right]}$$

$$= 6.24 \times 10^{-2} \text{ (m)} = 62.4 \text{ (mm)}$$

从上述对比中可以看出, 第一种方法计算的厚度最小, 但这种方法的假设是不太切合实际的。因为多数的塑料模具型腔都是敞开式的, 不应该当做固定梁看待, 再加上型腔的上下都用销钉固定, 第二种方法计算的壁厚太大, 安全系数较大, 材料太浪费, 模具体积也太大。第三种计算方法比较合理, 因为它考虑了型腔作为整体的框架和相邻模壁上所受力的相互影响, 考虑的影响因素较全面, 所以按第三种方法计算的壁厚为最佳尺寸。

2 型腔底板厚度的确定

(1) 组合式圆形型腔底厚的计算: 如图 2-58 所示, 该底板可视为周边支撑的简支圆板力学模型, 其最大挠度发生在中心, 其值为:

$$\delta = 0.74 \frac{pr^4}{Eh^3} \quad (2-69)$$

则:
$$h = \sqrt[3]{0.74 \frac{pr^4}{E\delta}}$$

式中 h ——型腔底板厚度(mm);

r ——圆形型腔内半径(mm);

p ——型腔内熔体压力(Pa);

E ——材料弹性模量, 碳钢为 210GPa;

δ ——底板允许的最大挠度(mm), 常取 $\delta = \Delta / (20 + 10\Delta)$;

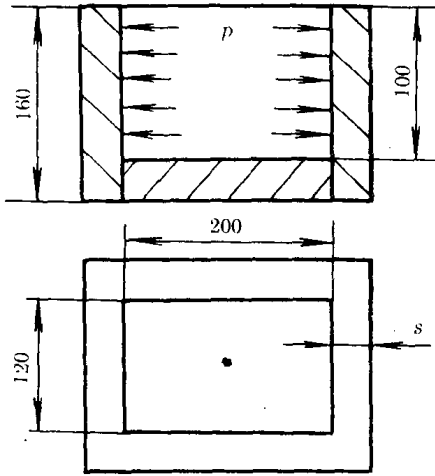


图 2-57 组合型腔尺寸标注

Δ ——塑料制品允许公差。

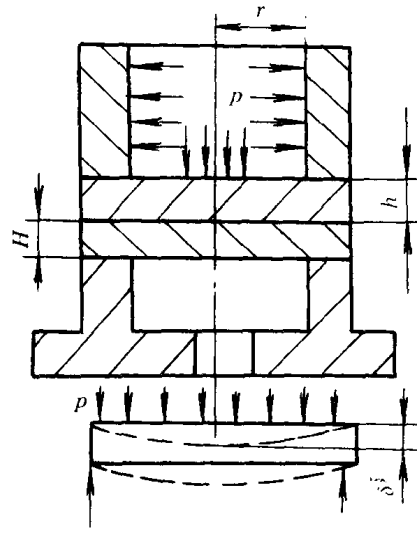


图 2-58 圆形型腔受力分析

例：用 45 钢制作的圆形型腔内半径为 200mm，型腔的有效高度 $h=150\text{mm}$ ，型腔内熔体压力 p 为 50MPa，底板允许最大挠度 $\delta=\Delta/(20+10\Delta)$ ，求组合式圆形型腔底板厚度并校核其强度。

解：根据标准 SJB72-78 规定塑件轴向尺寸为 150mm 时，按四级精度查得四级精度公差 $\Delta=0.62\text{mm}$ ，则：

$$\delta_{\max}=\Delta/(20+10\Delta)=0.024(\text{mm})$$

故：

$$h=\sqrt[3]{0.74\frac{pr^4}{E\delta}}=\sqrt[3]{0.74\frac{50\times 200^4}{2.1\times 10^5\times 0.024}}(\text{mm})$$

$$=227(\text{mm})$$

最大应力在板中心处：

$$\sigma=1.24p\left(\frac{r}{h}\right)^2=1.24\times 50\times\left(\frac{200}{227}\right)^2(\text{MPa})$$

$$=48.1(\text{MPa})$$

因 $[\sigma]=160\text{MPa}$ 大于 $\sigma=48.1\text{MPa}$ ，故强度符合要求。

若将 δ 放大至 $\Delta/10=0.062\text{mm}$ （不溢料时），得出底板厚度为 163mm。

$$\sigma=93.3\text{MPa}<[\sigma]$$

所以仍合乎要求。

(2) 组合式矩形型腔底板厚度的计算：如图 2-59 所示，将底板视为简支梁力学模型，其最大挠曲度发生在底部中心，则：

$$\delta=\frac{5pbL_1^4}{32EBh^3} \quad (2-70)$$

$$h=\sqrt[3]{\frac{5pbL_1^4}{32EB\delta}} \quad (2-71)$$

计算时一般取 $L_1=L_0$ 。

式中 P ——型腔内压力(MPa)；

- h ——底板厚度(mm);
- L ——支脚间距(mm);
- L_1 ——承受型腔压力的长度(mm);
- B ——底板宽度(mm);
- δ ——允许变形量(mm), δ 取 $\Delta/(20+10\Delta)$, 如果尺寸精度不高可取 $\Delta/10$;
- b ——承受压力型腔的宽度(mm);
- E ——材料弹性模量(MPa)。

如果从强度出发,按第一强度理论,则:

$$h = \sqrt{0.75 \frac{pbL_1^2}{B[\sigma]}} \quad (2-72)$$

式中 $[\sigma]$ ——材料的许用应力(Pa)。

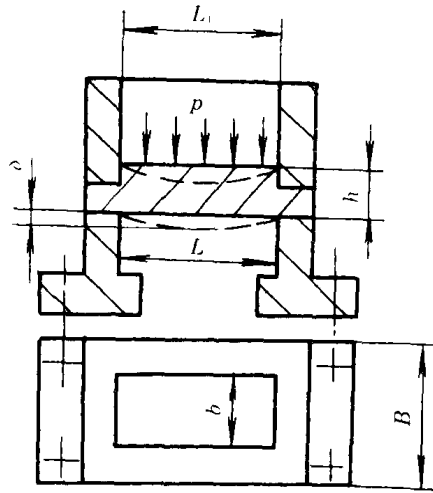


图 2-59 组合式型腔底板受力情况

当模具尺寸较大,底板较长时,也可增加一块或数块支撑板,则底板可大大减薄。如图 2-60 所示,加一块支撑板时,最大挠度 δ 在 D 点和 E 点, $AD = (3/16)L$, $EC = (3/16)L$, 则:

$$h = \sqrt[3]{\frac{0.128pbL^4}{32EB\delta}} \quad (2-73)$$

对比式(2-71)及式(2-73)可知,加一个支撑板时(在中央),底厚仅为不加支撑板的 $1/3.4$ 。

如果从强度出发,按第一强度理论,则:

$$h = \sqrt{0.105 \frac{pbL_1^2}{B[\sigma]}} \quad (2-74)$$

对比式(2-72)和式(2-74)可知,加一块支撑板后的底厚是没加前的 $1/2.7$ 倍。当加二块支撑板时为使三段挠度相等,应按 $1:1.2:1$ 跨度来分配,如图 2-61 所示,最大挠度 δ 分别发生在 A 处和 B 处,离中点 $0.3775L$,其值为:

$$\delta = \frac{0.02069pbL^4}{32EBh^3}$$

所以:

$$h = \sqrt[3]{\frac{0.02069pbL^4}{32EB\delta}} \quad (2-75)$$

从刚度出发加两块支撑板时的底厚是没加支撑板的 1/6.8 倍。

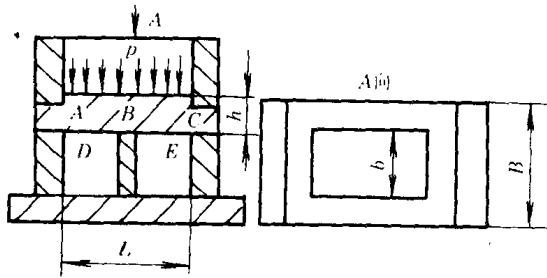


图 2-60 在中央加一块支撑板情况

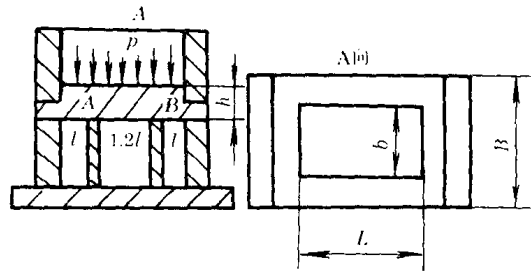


图 2-61 加二块支撑板的情况

按强度理论计算:

$$h = \sqrt{0.0415 \frac{pbL^2}{B[\sigma]}} \quad (2-76)$$

由此式可知,加二块支撑板后的底厚是没加支撑板底厚的 1/4.3 倍。

由上述可知,将模具底板加上支撑后,底板厚度可大大减小。而按刚度计算比按强度计算减小的倍数大。因此,加支撑板前按刚度计算是合理的。为保险起见,可分别作刚度校核和强度校核。

3 动模垫板厚度的确定

动模型芯的垫板受到注射压力作用时将会发生挠曲变形,为提高塑件精度和不溢料,应把挠曲量控制在 δ_{\max} 的允许变形量 $\Delta/(20+10\Delta)$ 范围之内。也可以用 $\Delta/10$ 值,视具体情况而定。如图 2-62 所示,把垫板视为受均布载荷的简支梁力学模型。其最大挠度发生在中心部位:

$$\delta_{\max} = \frac{5pbL^4}{32EBh^3} \quad (2-77)$$

式中 p ——型腔压力(MPa);

b ——型腔宽度(mm);

L ——垫块间距(mm);

h ——垫板厚度(mm);

B ——模具宽度(mm);

l ——受压长度(mm),通常取 $l=L$;

δ ——允许变形量(mm), δ 取 $\Delta/(20+10\Delta)$ 也可取 $\Delta/10$,视情况而定;

E ——弹性模量(MPa)。

当垫板厚度大时可采用支撑柱减小垫板厚度。具体加一个或几个支撑柱根据情况而定,加支撑后的强度及刚度校核与矩形型腔底板加支撑板类似,故不再叙述。

4 增加斜止口和防胀键的强度校核

如图 2-62 所示为斜止口和防胀键的尺寸确定,确定斜止口和防胀键的结构尺寸应验算其剪应力和接触表面的挤压应力是否在许用范围之内。剪应力 σ_r 和挤压应力 σ_s 分别计算如下:

$$\sigma_r = F_2 / A_r \leq [\sigma_r] \quad (2-78)$$

$$\sigma_s = F_2 / A_s \leq [\sigma_s] \quad (2-79)$$

式中 A_r 和 A_s 分别为受剪切和挤压的面积, F_2 为型腔内压力在斜止口和防胀键上形成的负荷。

$$F_2 = \frac{k p L_1^2 h}{2(L_1 + h)} \quad (2-80)$$

$$A_r = S L_2; A_s = d L_2$$

式中 k ——负荷特性系数;

L_1 ——型腔承压长边(mm);

h ——型腔有效深度(mm);

L_2 ——斜止口或防胀键的长度(mm)。

其余如图 2-63 所示。

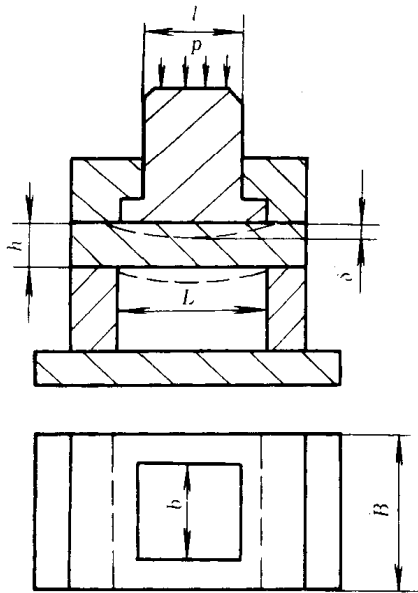


图 2-62 型芯垫板受力情况

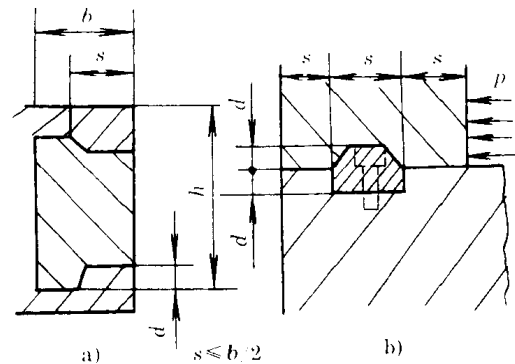


图 2-63 斜止口及防胀键尺寸确定

许用剪应力 $[\sigma_r]$ 和挤压应力 $[\sigma_s]$ 根据所用材料及热处理状态而定。例如对于调质处理的 45 钢,可取 $[\sigma_r] = 100 \text{MPa}$, $[\sigma_s] = 200 \text{MPa}$ 。对于注射模来说,负荷特性系数 $k = 1$,压制模 $k = 1.3$ 等。

(三)分型面的确定

在大型塑料注射模具中,分型面的选择对模具的使用寿命、塑件尺寸精度、外观质量及是否顺利脱模等有很大影响。开设分型面时应注意以下几点:

(1)设计在不引人注目的位置或塑件断面最大尺寸处。

(2)不能设在有凹坑和圆滑转角处,应设在加工容易及便于修理、但又不影响美观处。

(3)设计时还应考虑浇口位置的选择及加工问题,同时还要考虑排气槽的开设部位。有关塑料在型腔中的方位、分型面的形状及位置确定同中小型模具,这里不再叙述。

但设计大型模具分型面时应考虑熔料充模的不均匀性而引起的侧向压力,它会造成凸凹模不同心,致使塑件壁厚不均匀。为了避免这种缺陷,可采用如图 2-64 所示的几种特殊设计方法。

(四)排气系统的设计

排气槽一般都是在分型面上熔料最后充满处开设。对于大型模具来讲,型腔空间大,需要的塑料原料多,型腔内形成的气体就更多,因此应设计全面排气系统。如图 2-65 所示。图中 a 值视塑料而定,不同塑料的 a 值也不同,可参考表 2-20 所列数值。

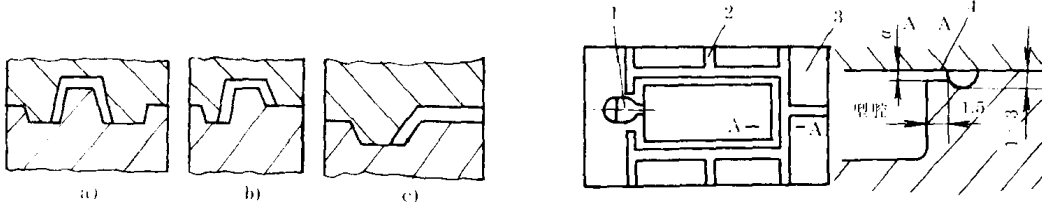


图 2-64 分型面的特殊设计方法

图 2-65 全面排气系统

1—气道 2—排气槽 3,4—分型面

表 2-20

排气间隙值

塑料名称	a/mm	塑料名称	a/mm
PE	0.02	ASA	0.01
PP	0.01~0.02	POM	0.01~0.03
PS	0.02	PA	0.01
PB(丁苯共聚物)	0.03	GRPA	0.01~0.02
ABS	0.03	PBTP	0.01~0.03
SAN(苯乙烯+苯乙烯)	0.03	PC	0.01~0.03

下面介绍几种排气结构:

(1)在分型面上开设排气槽排气。

(2)利用推出杆配合间隙排气。如图 2-66 所示。因大型模具利用推出杆排气不能满足要求,故此结构只起补充排气作用。

(3)从镶件间隙中排气。对于带状薄壁塑件,在气体易滞留的场合,可特意设置嵌件和用其配合间隙排气。如图 2-67 所示。

(4)利用烧结金属块进行排气,如图 2-68 所示。如果塑件太大,烧结金属块强度不高,则不易采取这种方法排气,如若采用,也只能作为大型模具的辅助排气系统。如图 2-69 所示为经冷却回路排出气体,使用逻辑密封装置,使冷却回路的压力低于大气压力。将模腔与冷却回路连通,经冷却回路使气体排出。这种辅助排气方法既能冷却又能排气,一举两得。

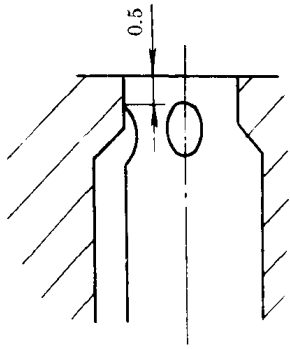


图 2-66 兼作排气推出杆

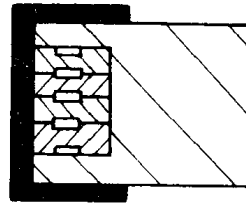


图 2-67 利用镶块间隙排气

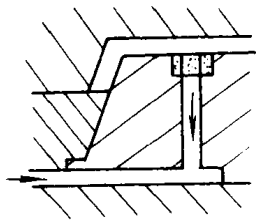


图 2-68 利用烧结金属块排气

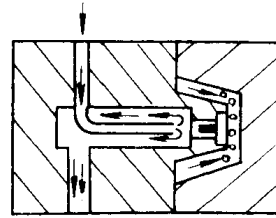


图 2-69 利用冷却回路排气

如图 2-70 所示是利用镶块间隙连通模腔与冷却孔道排气法。使用逻辑密封法使这种排气方法现已成为可能。

综合以上几种排气方法可知,以多孔金属排气最为有利,多孔金属排气面积大,能进行大量排气。如图 2-71 所示是利用多孔金属排气的一个实例。考虑到通气性、传热性、压缩变形等因素,多孔金属的厚度应为 $0.8 \sim 1.5\text{mm}$,通气孔径为 $3 \sim 10\mu\text{m}$,集气孔径以 $1 \sim 2\text{mm}$ 为宜。

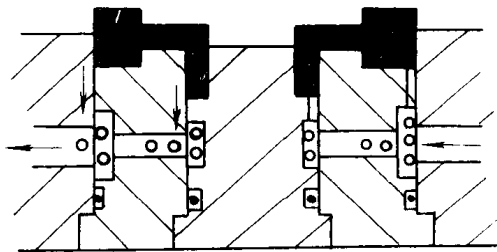
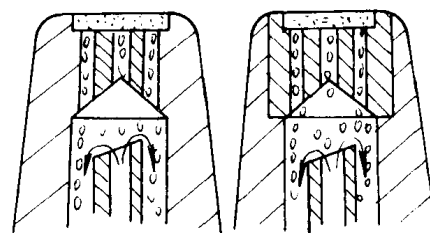


图 2-70 利用镶块间隙连通模腔孔道排气



a) b)
图 2-71 多孔金属排气
a)简易式 b)组合式

(五)成型零件的设计

成型零件主要包括凹模、凸模、型芯和各种成型杆及成型环等。对于大型模具来说,要求成型零件应满足很好的强度、刚度、表面粗糙度的要求。一般情况,成型零件应热处理,使其硬度达到 HRC40 以上。在选择材料时应考虑到材料的导热性、耐腐蚀性及加工性能等等。下面就型腔、型芯结构设计加以讨论。

大型模具的型腔、型芯设计,根据具体情况可采用整体式和镶嵌式(局部镶嵌和大面积镶嵌)结构。

采用镶嵌式应注意以下几点:

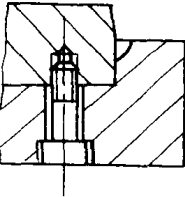
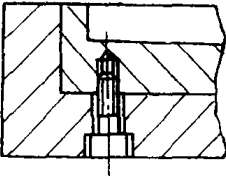
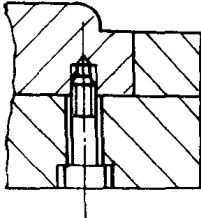
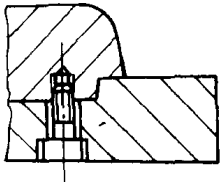
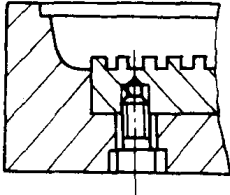
(1)要根据制品形状,结合设备条件、工艺手段来研究加工的难易程度,决定拼线位置,并考虑拼线对制品的外观影响问题。

(2)要保证镶嵌拼合块位置的精度及拼件的牢固性。

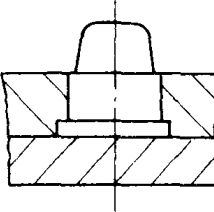
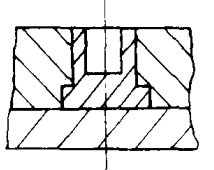
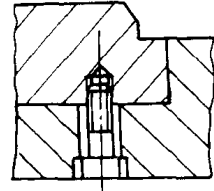
(3)结合冷却系统的设置,考虑拼缝处的水道路线和密封路线,具体镶嵌实例见表 2-21 所示。

表 2-21

型腔与型芯的镶嵌组合实例

型 式	示 图	备 注
将模板加工成沉孔,将型腔部分镶入		较好应用于铸造的型腔或用特殊材料淬硬的型腔镶入模板
模板上加工沉孔、镶出成型件部分边缘		在型芯的边缘有不规则的凸缘雕刻部分,而这一部分加工困难时用之
模板上加工通孔,将型芯部分镶入		减轻型芯重量时或将配合孔与型腔的模板一起加工时用之
模板加工沉孔,在型芯上做成比成型件部分小的台肩后镶入		型芯高度特别高,为使型芯的侧面加工容易时用之
在型腔内部加工沉孔,将加工成的型腔部分的零件镶入		用在型腔底部有复杂形状时

续表

型 式	示 图	备 注
模板上加工台肩孔,型芯部设台肩镶入		<p>为了冷却水,推杆孔加工,模板装配不用螺钉时用之,或型腔侧壁的模板与孔同时加工</p>
将模板加工成台肩孔,在型腔部分上设台肩镶入		<p>对于用铸造、冷挤压等方法加工的型腔,用螺钉紧固困难时,或需要与装型芯的模板同时钻配合孔时用之</p>
模板上加工沉孔将型芯部分镶入		<p>型芯的形状复杂、加工工时多时尽量使型芯小而轻时用之</p>

(六)细长型芯的变形

型芯被塑件紧紧包住时,其变形可按悬臂梁进行计算,而锥度形成的断面不均匀可以忽略。但是,如图 2-72 所示,型芯的直径为 D 、固定端长度至少为 $3D$,自由端长度的最大值应小于或等于 $5D$ 。实际上,即使型芯长度在 $5D$ 以上也能很好使用。

为了使型芯变形量最小,须使材料在型芯周围均衡地填充。最好在顶上设点状进料口。注射过程保证绝对均匀是不可能的,材料在型腔的一侧比另一侧更先充满,这样一开始就对型芯产生侧压,引起型芯变形。随之而来是充满快的一侧壁厚增加,这就更加助长该侧的流动。熔料到达型腔底部以后,开始以及向流动充满其余部分。最后形成不良的熔接线和封入空气。注入不均匀产生的型芯根部的变形与注入的材料量和注入位置有关。

为了改善型腔注射的流动均匀性,可采用逐渐减小壁厚的方法,如图 2-73 所示。为使壁厚变化,将型芯做成锥度。由于锥度的作用,当注入熔体的一侧比另一侧向下流入更快时,则流动快的一侧流动阻力增大,使流入慢的一侧加快注入。如此反复变换,由于注入熔体流动阻力有自然均匀化趋势,从而达到均匀连续流动。

当型芯长度达到 $8D$ 时,为了减少不均匀进料产生的变形,最好首先在型芯固定端一侧将塑料注入型腔,如图 2-74 所示为环形进料口送料的一种方法。这种方法往往能顺利进行,尽管如此,送料在接近流道处,也有不均匀流动的倾向。作为其它方法,是在型芯的根部周围布置两个或四个进料口。这种方法减小了注射压力的不均匀性,从而也降低了作

用在型芯上的不均匀负荷。而且通过调节各个进料口,就可以简单地使其均匀充满。

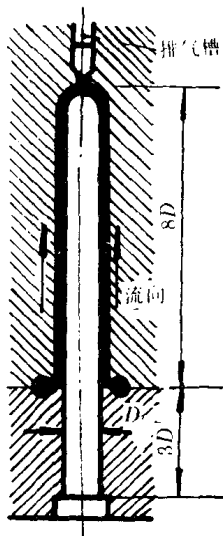


图 2-72 型芯固定端与自由端尺寸

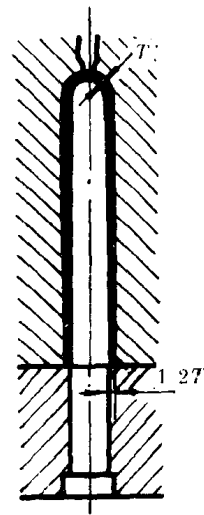


图 2-73 逐渐减小壁厚增加流动均匀性

这几种底部进料形式,为了排除空气,在顶部设置排气销,有时将排气销伸入到型芯中去。这样,消除了初级压力差的影响,并对型芯起到固定作用。

即使长径比在 8 以上,也能在底部设置进料口。但如不能从侧面装入支承时,型芯变形会更剧烈。对于这一长径比的长度,希望在上部也设有支承。

在其自由端设支承的型芯如图 2-75 所示,这种型芯与无支承型芯相比不易产生弯曲,变形非常小。

图 2-76 所示为上部进料的支承型芯。进料量用配置在型芯端部周围的四个浇道和进料口来保证。支承设在浇道之间的凹面上。这种方法虽然在塑件上形成了四处接合线,但

由于受到流动不均、粘度变化和注入速度的影响,严格计算是不可能的。然而,型芯实际变形可由标准的横梁公式求得。偏心负荷是由单侧材料注入引起的,其偏心位置假定为型芯长度的 10%,以此作为作用在投影面上的型腔压力所引起的负荷。该投影面积为型芯长度的 0.1 倍乘以直径,即相当于 $0.1LD$ 。假定型腔压力为 72N/mm^2 ,则作用在型芯上的负荷 $F(\text{N})$ 为:

$$F = 0.1 \times 72LD$$

式中 L ——型芯自由部分长度(mm);

D ——型芯直径或宽度(mm)。

图 2-72 所示为典型的无支承顶部进料的型芯,假设注入的熔料引起的不平衡负荷作用,自由端会产生最大的弯曲,则

$$y = FL^3/3EI \quad (2-81)$$

式中 I ——断面的轴惯性矩,圆形型芯时, $I = \pi D^4/64$ 。

若按圆形型芯考虑,则:

$$y = \frac{64FL^3}{3E\pi D^4} \quad (2-82)$$

式中 y ——型芯弯曲量(mm);

D ——型芯直径(mm);

E ——弹性模量,对于碳钢, $E = 210\text{GPa}$ 。

图 2-74 所示为底部进料的无支承型芯,考虑到进料在型芯上产生的载荷,其实际弯曲(挠度)可按均布载荷作用的悬臂梁计算。因此,型芯端部的最大挠度为:

$$\delta = \frac{FL^3}{8EI} \quad (2-83)$$

型芯为圆形时:

$$\delta = \frac{8FL^3}{E\pi D^4} \quad (2-84)$$

式中 F ——作用在型芯上的不平衡负荷(N), $F = P \times 0.1LD$; P 为型腔中熔料压力, L 、 D 分别为型芯长度和直径。

对图 2-75 和图 2-76 所示的支承型芯,因进料引起的是均布负荷,可按一端固定,一端支承的梁近似计算。图 2-75 所示型芯固定端一侧进料时产生的挠度要比图 2-76 所示的进料在支承端一侧时稍小,但为计算方便,可把两者看成是相同的。

其最大挠度为:

$$\delta = \frac{FL^3}{185EI} \quad (2-85)$$

当型芯是圆形时:

$$\delta = \frac{64FL^3}{185E\pi D^4} \quad (2-86)$$

图 2-77 所示为制造薄壁塑件而牢固地安装在塑模中的型芯。用这种模具零件只要在薄壁断面上稍有误差(通常 $0.38 \sim 1\text{mm}$),就会导致型腔充满困难。为使型芯的挠度或偏移最小,可将型芯与座板整体加工,由完整的圆锥定位来保证与凹模的正确关系。此图示

是一薄壁塑件成形的实例,因壁厚非常小,壁腔压力很高,在凸凹模之间稍不同心,就会带来不均匀流动,为此,会使薄的一侧流动减慢,或者完全停止进料;在较厚的一侧,材料有横向挤压型芯的倾向。为使圆筒形塑件的定位正确,如图 2-77 所示,可将锥度端配入另一半模中的相同锥度座中,称之为锥度辅助定位。这种可靠定位,由于锥头与凹座之间无间隙,比导柱还好。锥头的受压表面比导柱、导套大,而且锥定位比导柱定位更接近型腔形状。因此,虽然锥度定位的模具通常也安上导柱,但导柱只是为了容易将塑模装上压机,防止圆形塑件转动。

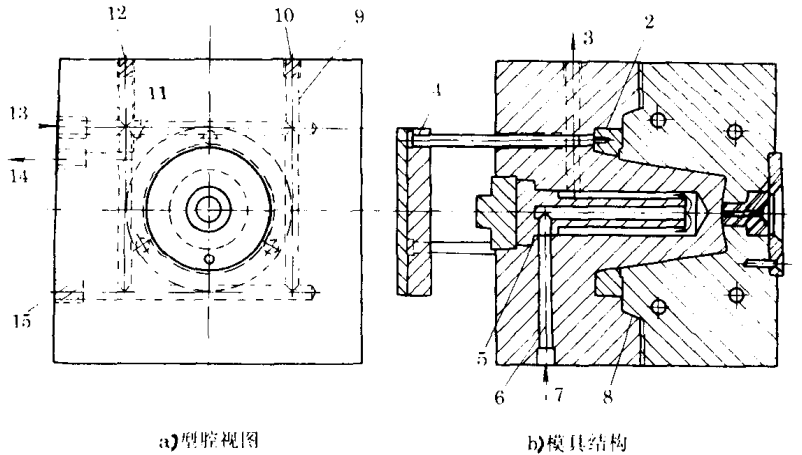


图 2-77 成型薄壁制件的型芯及定位结构

1—浇口 2—脱模板 3—水道出口 4—顶杆(后位) 5—石棉铜垫圈 6—凸模冷却水管路 7—入口
8—圆锥定位面 9—型腔冷却水管路 10—堵塞 11—堵塞 12—堵塞 13—入口 14—出口 15—堵塞

锥度一般为 $10^{\circ} \sim 30^{\circ}$ 。为避免配入后卡死,锥度不能小于 10° ,而且为了避免刮伤,不可做成柱面。锥度部分的深度根据模具大小及状态而定,一般在 13mm 以上。

在凸、凹模间不允许有移动,侧代锥度定位的型芯与型腔应整体加工而成。

图 2-73 所示,塑件做成代锥度的侧壁,这也是薄壁塑件所希望的。凸凹模之间同心度为 0.025mm 是成型这类塑件所绝对需要的。

图 2-78 所示的非对称形状,为确保型腔内均匀充满,要合理决定进料口位置。但这是困难的,而且也不可能防止型芯弯曲。

在模中如图 2-79 所示片状平面时,也会出现型芯变形问题。这在材料进入型腔流动一开始就在型芯的一侧引起,在该侧产生大的侧压。在这种情况下,型芯高度可限定为厚度的 3 倍以下。

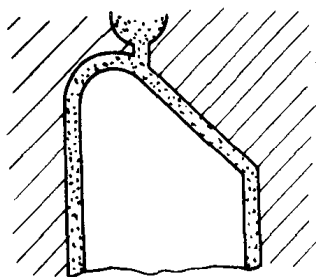


图 2-78 非对称形状型芯的稳定设计

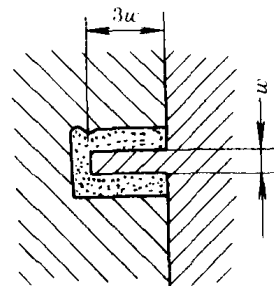


图 2-79 片状型芯的稳定尺寸

五 合模导向机构的设计

导向机构有导柱、导套和锥面(或斜面)辅助定位。导向机构在动、定模合启时起定位导向作用。

导柱应合理分布在模具边缘空间位置,其中心至模具型腔应有足够的距离,以保证更好地起到定位导向作用。导柱直径可以选择大小不等,以此区别模具方位。

导柱直径的确定在中小型模具中可以不用计算,查表选用即可。但是对大型塑料注射模具,导柱直径因无表可查,也没有公式计算,故本节将重点论述导柱强度校核问题,以保证模具安全生产和正常搬运。

为了保证导柱、导套的同轴度,导柱固定部分的直径与导套的外径尺寸相等,以便凸、凹模加工容易。对大型模具,导柱一般在固定式模具上使用,拆装次数较少,而且制造时一般多采用上、下模板组合扩孔、以保证导柱、导套的同轴度要求。所以,对孔(或柱)中心距就不必要求公差,组装时认定方位即可。这样加工省时间,精度也较高,能很好地满足使用要求。

(一)设计导向机构的要点

导向机构的设计要适合大型模具的使用要求,所以在设计时应注意如下要点:

(1)导柱(或导套)应布置在距离型腔较远的四周处,并保证导向套距边缘有足够的强度和刚度。

(2)导柱压入部分与有效滑动部分的直径的公称尺寸一致时,公差配合应符合间隙配合公差要求。

(3)导柱要有足够的耐磨性,硬度要高,材料可选用 T_8 和 T_{10} ,热处理淬硬 $50\sim 55HRC$ 或选低碳钢渗碳处理。导套材料选择的硬度低一点,摩擦系数小点即可使用。如果导套磨损,换一个导套比换一个导柱经济方便得多。

(4)为了取塑件的方便,导柱应安装在定模上,导套安装在动模上。如果因塑件形状所限导致模具结构不允许如此时,导柱与导套安装位置也可调换。

(5)导柱台肩可防止导柱拔出,起止退作用,台肩应埋在凹坑里,其断面应与固定板平面在同一平面上,以防止导柱与固定板有相对移动。由定模板(或垫板)压紧。

(6)导柱有效长度上的滑配部分必须制作油槽,以促进润滑和积存灰垢。

(7)导柱与导套的配合公差,按有关标准介绍,分为以下几种:

①导柱固定部分公差应为 $s7$ 级或 $m6$ 级。

②导柱滑配部分公差为 $f8$ 级。

③导套外径公差为 $s7$ 级或 $m6$ 级。

④导套的内径公差为 $H8$ 级。

⑤固定导柱孔内径公差为 $H8$ 级。

⑥固定导套孔内径公差为 $H8$ 级。

⑦导柱长度比凸模(或型芯)端面高出 $8\sim 10mm$,以防止碰坏模具。

⑧导柱前端制成锥形或半圆头形,导柱进入导套时起着导向作用。

⑨导柱淬硬为 HRC50~55 后必须磨光,表面粗糙度小于 Ra0.4 μ m。

⑩导柱或导套,凡是有公差要求配合之处,表面粗糙度一律在 Ra0.8 μ m 左右,不能太低,否则影响配合精度。

(二)导向机构的设计

1 导柱、导套及导向孔的结构设计和要求

(1)导柱结构的要求。大型模具中应选用带油槽的导柱,以便于润滑并延长模具的使用寿命。如图 2-80 所示。

(2)导套的结构要求。大型模具中一般都选用如图 2-81 和图 2-82 所示的结构,导套磨损可以更换,更换导套经济方便。在中小型模具设计中有的选用加导套配合的结构,而大部分采用导套与导向孔结构。但是,在大型模具中全部采用加导套的结构设计,这样才是合理的设计。

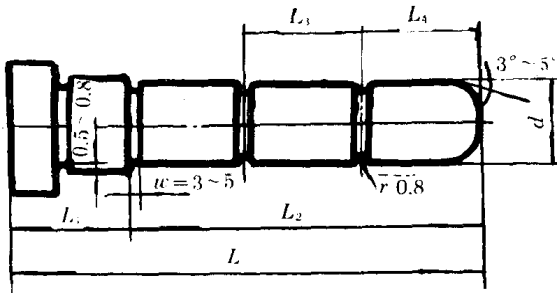


图 2-80 带油槽导柱

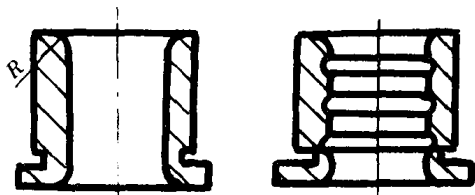


图 2-81 凸缘导套 图 2-82 带油槽导套

在大型模具设计中,因为开模力很大,同时接触表面也很大,所以在开、合模时为防止导套与固定板有相对移动,应采取在导套上部加装止退挡板的措施。详见图 2-83 所示。

2 导柱直径的校核

大型塑料注射模具导柱直径的确定非常重要,因为在模具装机时靠导柱连接动、定模,故动模重量由导柱承担。另外模具在吊运时动定模也靠与导柱连接在一起才能运输,不允许开模装运。因为动定模分开运输易碰坏型腔各零件,所以在大型模具吊运过程中也靠导柱来承担一部分重量。因此,导柱直径尺寸必须经过强度校核才能确定。

导柱的直径计算应根据受力分析,把导柱视为受一个作用在端点的集中载荷的悬臂梁,并按这一力学模型计算公式进行计算,这样考虑的导柱刚度足够,最大挠曲变形应在其端点处,如图 2-84 所示。故得:

$$\delta_{\max} = \frac{64MgL^3}{3\pi Ed^4} \quad (2-87)$$

即:

$$d = \sqrt[4]{\frac{64MgL^3}{3\pi E\delta_{\max}}} \quad (2-88)$$

式中

δ_{\max} ——允许挠曲量,要求在导柱与导套孔的配合间隙之内(m);

M ——导柱承受的模具质量(kg),通常 $M=m/4$, m 为动模部分总质量;

L ——导柱的有效长度(m);

E ——弹性模量(Pa),碳钢为 210GPa;

d ——导柱直径(m);

g ——重力加速度常数,常取 10m/s^2 。

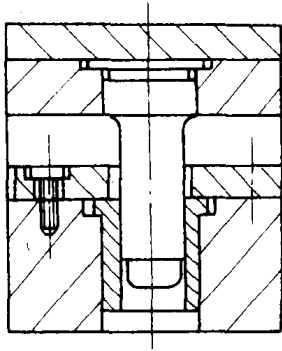


图 2-83 防止导套拔脱的设计

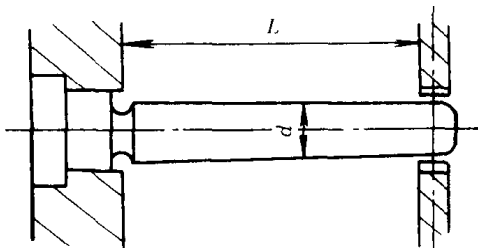


图 2-84 导柱受力分析

例:验证导柱直径为 $\Phi 80\text{mm}$,承受动模质量为 750kg ,工作有效长度 200mm 时,导柱允许变形量是否在所要求的配合间隙内($\Phi 80 \frac{\text{H7}}{\text{f6}}$)。

解:由公式 $\delta_{\max} = \frac{64MgL^3}{3\pi Ed^4}$ 可知:

$$\delta_{\max} = \frac{64 \times 750 \times 10 \times 0.2^3}{3 \times 3.14 \times 210 \times 10^9 \times 0.08^4} (\text{m})$$

$$= 4.7 \times 10^{-5} (\text{m}) = 0.047 (\text{mm})$$

由于 $\Phi 80 \frac{\text{h7}}{\text{f6}}$ 孔为 $\Phi 80_{+0.030}^{\text{h7}}$ mm,轴为 $\Phi 80_{-0.049}^{\text{f6}}$ mm,这样导柱与套孔最小配合间隙为 0.03mm ,故计算导柱最大挠度 0.047mm 超过导柱与套孔的最小配合间隙 0.03mm ,不能满足使用要求,为了满足要求,有必要加大导柱直径尺寸。

如导柱直径取 $\Phi 85 \frac{\text{H7}}{\text{f6}}$,计算出导柱最大挠度 $\delta_{\max} = 0.03\text{mm}$,由于 $\Phi 85 \frac{\text{H7}}{\text{f6}}$ 新的轴为 $\Phi 85_{+0.035}^{\text{H7}}$ mm,而孔为 $\Phi 85_{-0.036}^{\text{f6}}$ mm,最小间隙为 0.036mm ,故满足使用要求,最后确定导柱直径 $\Phi 85\text{mm}$ 即可。

3 导柱的布置

大型模具导柱数量最少应为 4 根,其直径可制成相等或不等的。导柱的布置应远离型腔,同时轴心距边缘要有足够的强度。具体布置如图 2-85 所示。

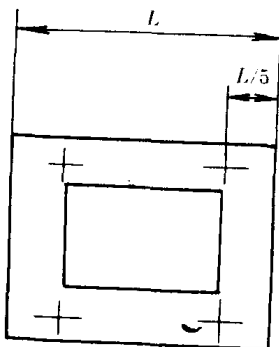


图 2-85 导柱位置

导柱固定位置应视具体情况而定。如使用推杆脱模时,导柱最好固定在定模上。若采用推板推出时,导柱应固定在动模上。导柱应设置在模具四角,弯距等于零处。详见第四节中的图 2-56 所示,对矩形腔进行受力分析得:

$$M_{(x)} = \frac{WL}{2}X - \frac{W}{2}X^2 - M_1 = 0$$

其中 X 值在 $0.79 \sim 0.86L$ 之间,因此,导柱(或导套)可确定在型腔长边距两端 $1/5$ 处。

4 特殊导柱的应用

对大型模具的导向机构,仅靠 4 根导柱导向定位,有时因各种原因易发生导柱和导套孔拉伤及粘着现象,产生此现象的原因如下:

- (1) 导柱和导套加工精度不符合要求,如尺寸公差和形位公差超差等。
- (2) 固定导柱孔和固定导套孔的尺寸公差及形位公差加工不满足使用要求。
- (3) 导柱和导套孔不同心。
- (4) 不同材料受热后,因膨胀系数不同影响导柱与导套孔的配合间隙等,妨碍导向机构正常工作。
- (5) 模具装机后因固定不牢而造成动、定模不对中,等等。

为了避免这些现象的发生,需专门设计特殊的导柱,以配合原有导向机构的正常工作。特殊导柱设计如下:

① 第一次定位导套和导柱的配合间隙采用 0.03mm 。这种大的配合间隙虽然防止了导柱和导套孔的拉伤现象,但不能达到好的定位效果,因此需要第二次导向定位。

② 第二次导向定位,除利用原有大间隙配合的导向机构外,重新增加了 4 个短小的二次定位的导柱和导套。导柱的直径可取 $\Phi 30\text{mm}$,滑动部分的配合公差为 $f8$ 级。导套孔的配合公差为 $H8$ 级。导柱的有效工作长度取 20mm 。新增加的导柱位置要求对称布置,如图 2-86 所示。

(三) 锥面定位结构设计

锥面定位结构特别适用于大型深腔、精度高、壁厚要求均匀的塑料制品,它可防止凸、凹模不对中(导柱与导套配合间隙而造成偏心)。采用锥面辅助定位更能保证塑件的质量要求。具体设计尺寸请见图 2-87。如果在型腔周围加工锥面有困难的话,可以采用对称锥面辅助定位措施。

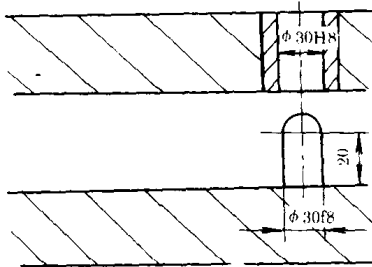


图 2-86 第二次定位导柱设计

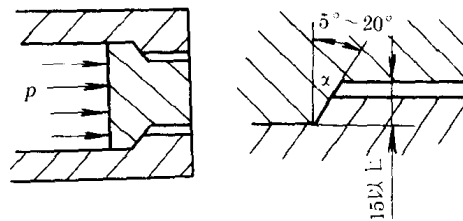


图 2-87 锥面定位

六 侧向分型抽芯机构的设计

当塑件有与开模方向不同的内外侧孔和侧凹时,塑件不能直接脱模,必须设置侧向分型抽芯机构。先抽出侧向活动型芯,然后再脱模。在大型模具中常用的有三种结构:①采用斜导柱侧向分型抽芯机构;②油缸分型抽芯机构;③采用“T”型板侧向分型抽芯机构。以上三种结构都必须首先计算出侧向抽拔力和抽拔距,作为确定尺寸的依据。下面将详细讨论。

(一)侧向分型抽芯机构的抽拔力计算

侧抽拔力随塑料制件形状、几何尺寸、待成型材料的物理性能和模具的结构而异。尤其是脱模斜度的大小直接影响抽拔力,下面仅就两种情况加以讨论介绍。

按有关资料介绍的从动摩擦角度来考虑的计算方法尚有欠缺之处,脱模力的计算应从最大静摩擦角度来考虑。在没加外力之前,型芯只受到正压力和最大静摩擦力,而脱模时应克服最大静摩擦力的作用。如图 2-88 所示。

故得下式:

$$F_{\text{静}} = p_{\text{总}} f_{\text{静}} \quad (2-89)$$

$$F_x = F_{\text{静}} \cos\Phi$$

$$p_x = p_{\text{总}} \sin\Phi$$

这样只要加一个力 Q 使其等于 $F_x - p_x$ 即可把侧型芯抽出。一旦抽动,型芯侧脱模力就会减小,其值就可按从动摩擦角度考虑的方法求得之 Q 值。如:

$$Q_{\text{min}} = F_x - p_x = p_{\text{总}} (f_{\text{静}} \cos\Phi - \sin\Phi) \quad (2-90)$$

$$p_{\text{总}} = Ap_{\text{均}} = \frac{2\pi r_{\text{均}} E\epsilon L}{\cos\Phi(1+\mu+K_1^0)} \quad (2-91)$$

若侧孔为通孔且型芯有排气槽时,侧抽拔力应按下式计算:

$$Q_{\text{min}} = \frac{2\pi r_{\text{均}} E\epsilon L}{\cos\Phi(1+\mu+K_1^0)} (f_{\text{静}} \cos\Phi - \sin\Phi) \quad (2-92)$$

若侧孔为不通孔且型芯没设排气槽时,侧抽拔力还应加上 B_0 ,即:

$$Q_{\text{min}} = \frac{2\pi r_{\text{均}} E\epsilon L}{\cos\Phi \cdot (1+\mu+K_1^0)} (f_{\text{静}} \cos\Phi - \sin\Phi) + B_0 \quad (2-93)$$

当侧孔为矩形时, $r_{\text{均}}$ 用 r_N 代替。

式中

$f_{\text{静}}$ ——最大静摩擦系数;

A ——侧芯被塑件包围的面积(m^2);

$r_{\text{均}}$ ——塑件侧孔的平均半径,也可用型芯的平均半径来代替(m);

B_0 ——大气压作用于型芯上的负载力(N), $B_0 = Sp_0$; S 为侧型芯最大断面面积(m^2);

p_0 为大气压力,通常取 0.1MPa ;

K_1^0 —— $2r_{\text{均}}^2/\cos\Phi \cdot (L_0^2\cos\Phi + 2L_0r_{\text{均}})$

L_0 ——侧孔内壁到塑件边缘的最短距离(m);

- Φ ——脱模斜度($^{\circ}$);
- ϵ ——塑料收缩率;
- L ——塑件对型芯的包容长度(m);
- E ——塑料的弹性模量(Pa);
- μ ——塑料的泊松比。

(二)侧抽拔距的计算

求抽拔距有两种计算方法,即直观计算和公式计算。

直观计算是以侧向分型抽芯抽到不妨碍塑件推出为依据,求出最小抽拔距离 s_1 ,再加上保险余量 2~3mm 即可。直观计算方法可参考图 2-89,按比例量出 s_1 值,然后再加上 2~3mm 即可。

也可用公式计算,如图 2-89 所示(设其为两瓣合模),得:

$$s_1 = \sqrt{R^2 - r^2} + (2 \sim 3)\text{mm} \quad (2-94)$$

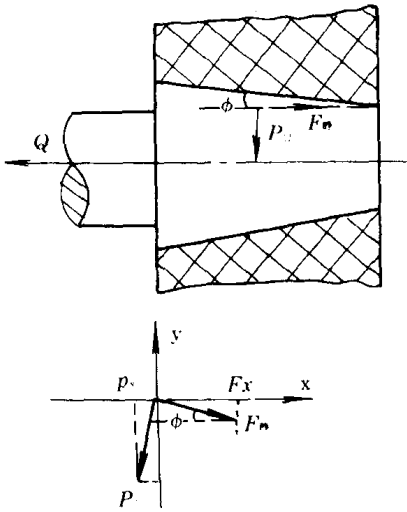


图 2-88 侧抽芯受力图

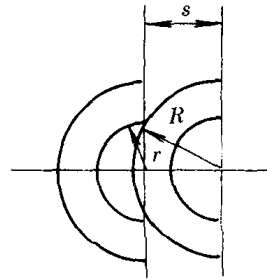


图 2-89 抽拔距

当模具为多瓣合模时,如图 2-90 所示,则得:

$$s_1 = \sqrt{R^2 - A^2} - \sqrt{r^2 - A^2} + (2 \sim 3)\text{mm} \quad (2-95)$$

(三)斜导柱驱动滑块抽芯机构的设计

1 斜导柱尺寸的确定

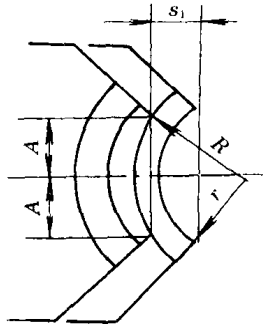


图 2-90 多瓣合模抽拔距

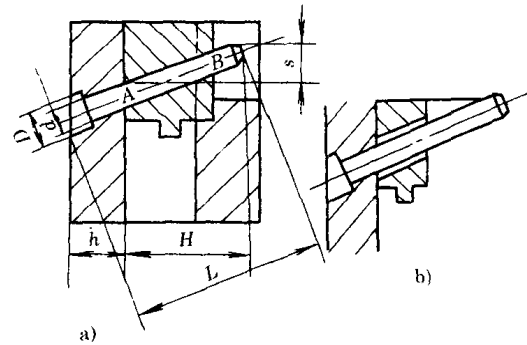


图 2-91 斜导柱侧抽芯结构

如图 2-91a 所示,斜导柱有效长度 AB 为:

$$AB = \frac{s}{\sin\alpha} \quad (2-96)$$

总长度为:

$$L = \frac{1}{2} \tan\alpha \cdot (D+d) + \frac{h}{\cos\alpha} + \frac{s}{\sin\alpha} + (10\sim 15)\text{mm} \quad (2-97)$$

如果斜导柱与滑块之间有配合间隙 t (如图 2-91b 所示),而且 t 值不可忽略时,则有效长度降低,其降低值为 $t/\sin\alpha\cos\alpha$,这时有有效长度为:

$$AB = \frac{s}{\sin\alpha} + \frac{t}{\cos\alpha \cdot \sin\alpha} \quad (2-98)$$

斜导柱总的长度为:

$$L = \frac{1}{2} \tan\alpha(D+d) + \frac{h}{\cos\alpha} + \frac{s}{\sin\alpha} + \frac{t}{\sin\alpha \cdot \cos\alpha} + (10\sim 15)\text{mm} \quad (2-99)$$

同时完成 s 抽拔距所需最小开模行程分别是:

$$H = s \cdot \cot\alpha \quad (t=0) \quad (2-100)$$

$$H = s \cdot \cot\alpha + t/\sin\alpha \quad (t \neq 0) \quad (2-101)$$

当侧向抽芯时,滑块运动方向与垂直面成 β 角,如图 2-92a)所示。

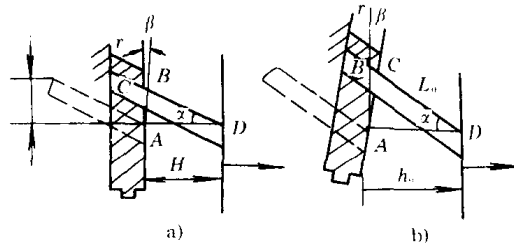


图 2-92 斜滑块倾斜情况

斜导柱有效长度:

$$CD = s \frac{\cos\beta}{\sin\alpha} \quad (2-102)$$

$$H = s(\cos\beta \cdot \cot\alpha - \sin\beta) \quad (2-103a)$$

或

$$H = CD(\cos\alpha - \sin\alpha \cdot \tan\beta) \quad (2-103b)$$

当有配合间隙 t 时,则得:

$$CD = s \frac{\cos\beta}{\sin\alpha} + \frac{t}{\sin\alpha\cos\alpha} \quad (2-104)$$

$$H = s(\cos\beta \cdot \cot\alpha - \sin\beta) + \frac{t}{\sin\alpha} \quad (2-105)$$

如图 2-92b)所示,当滑块倾斜时,斜导柱有效长度 CD 为:

$$CD = s \frac{\cos\beta}{\sin\alpha} \quad (2-106)$$

$$H = CD(\cos\alpha + \sin\alpha \cdot \tan\beta) \quad (2-107a)$$

或

$$H = s(\sin\beta + \cos\beta \cdot \cot\alpha) \quad (2-107b)$$

当有配合间隙时:

$$CD = s \frac{\cos\beta}{\sin\alpha} + \frac{t}{\sin\alpha \cdot \cos\alpha} \quad (2-108)$$

$$H = s(\sin\beta + \cos\beta \cdot \cot\alpha) + t/\sin\alpha = CD(\cos\alpha + \sin\alpha \cdot \tan\beta) + t/\sin\alpha \quad (2-109)$$

2 斜导柱斜倾角度的确定

斜导柱倾斜角度是决定抽芯机构的重要因素,它不仅决定抽拔距离和斜导柱的有效长度,而且更重要的是决定该机构是否能正常工作以及决定斜导柱的受力情况。

一般斜导柱倾斜角 α 在 $15^\circ \sim 25^\circ$ 之间。

当滑块向外倾斜是, $\alpha + \beta$ 在 $15^\circ \sim 25^\circ$ 之间。

当滑块向内(即向导柱方向)倾斜时 $\alpha - \beta$ 在 $15^\circ \sim 25^\circ$ 之间。无论是 α 、 $\alpha + \beta$, 还是 $\alpha - \beta$, 最大倾斜角度不得超过 25° 。

3 斜导柱的受力分析及强度校核

在大型模具中,由于滑块的厚度较大,再加上制造误差很大,在斜导柱靠近根部处可能成为力的作用点,在此点上斜导柱所受的弯矩最大。斜导柱只是在导滑槽的限制下才使得滑块作水平运动。因而导滑槽对滑块的作用力也应考虑。如图 2-93 所示,假定斜导柱的中心与滑块的中心在同一垂直平面上,此面两侧对称受力, G 是滑块的质量中心。滑块的基本方程有 3 个,即: $\Sigma F_x = 0, \Sigma F_y = 0, \Sigma m_G = 0$ 。由式 $\Sigma F_x = 0$ 得:

$$N \cos\alpha = \mu N \sin\alpha + Q + \mu(N_1 + N_2) \quad (2-110)$$

由式 $\Sigma F_y = 0$ 得:

$$N \sin\alpha = N_2 - N_1 - \mu N \cos\alpha \quad (2-111)$$

由式 $\Sigma m_G = 0$ 得:

$$\begin{aligned} (N \cos\alpha - \mu N \sin\alpha) Y_1 + (N \sin\alpha + \mu N \cos\alpha) X + Q Y_2 \\ = N_2 X_2 + N_1 X_1 + \mu N_2 Y_2 + \mu N_1 Y_1 \end{aligned} \quad (2-112)$$

由式(2-110)和式(2-111)代入式(2-112)得:

$$Q(Y_1 + Y_2) = N_1((X + X_1) + N_2 X(X_2 - X) + \mu(Y_2 - Y_1)N_2) \quad (2-113)$$

设 $\mu = 0.1, X_2 - X \geq \mu(Y_1 - Y_2)$ 并以 h 代替 $Y_2 + Y_1, L_2$ 代替 $X_2 - X$, 则有:

$$Qh = N_1 L_1 + N_2 L_2 \quad (2-114)$$

用式(2-110)÷式(2-111)得:

$$\frac{\cos\alpha - \mu \sin\alpha}{\sin\alpha + \mu \cos\alpha} = \frac{Q + \mu(N_1 + N_2)}{N_2 - N_1} \quad (2-115)$$

设 $\mu = \tan\gamma$, 则上式左边可化成:

$$K = \frac{1}{\tan(\alpha + \gamma)} = \frac{Q + \mu(N_1 + N_2)}{N_2 - N_1} \quad (2-116)$$

将式(2-116)化简得:

$$Q = (K - \mu)N_2(K + \mu)N_1 \quad (2-117)$$

解式(2-114)和式(2-117)得:

$$N_1 = \frac{h(K - \mu) - L_2}{(K - \mu)L_1 + (K + \mu)L_2} Q \quad (2-118)$$

$$N_2 = \frac{h(K+\mu)+L_1}{(K-\mu)L_1+(K+\mu)L_2} Q \quad (2-119)$$

因此

$$N_1+N_2 = \frac{2Kh+L_1-L_2}{(K-\mu)L_1+(K+\mu)L_2} \quad (2-120)$$

$\because \tan \gamma = \mu = 0.1$ (μ 摩擦系数、 γ 摩擦角)

$\therefore \gamma = 6^\circ$

一般情况下 α 不超过 20°

$$\therefore K = \frac{1}{\tan(\alpha+\gamma)} \geq \frac{1}{\tan 26^\circ} \approx 2$$

由于 $K \geq 2; \mu = 0.1$

$$|L_1+L_2| > |L_1-L_2|$$

故可取:

$$K(L_1+L_2) - \mu(L_1-L_2) = K(L_1+L_2) \quad (2-121)$$

因此:式(2-120)可化简为:

$$N_1+N_2 = \frac{2Kh+L_1-L_2}{K(L_1+L_2)} \cdot Q \quad (2-122)$$

由式(2-110)得:

$$N = \frac{Q + \mu(N_1+N_2)}{\cos \alpha - \mu \sin \alpha} \quad (2-123)$$

弯矩 $M = NL_0, L_0 = h_0 / \cos \alpha$

当滑块倾向斜导柱时,如图 2-92b)所示。

$$L_0 = \frac{h_0}{\cos(\alpha-\beta)}$$

$\alpha-\beta$ 取 $15^\circ \sim 20^\circ$

$$N = \frac{Q + \mu(N_1+N_2)}{\cos(\alpha-\beta) - \mu \sin(\alpha-\beta)} \quad (2-124)$$

其中: $\mu = 0.1$

$$K = \frac{1}{\tan(\alpha-\beta+6^\circ)}$$

当滑块倾斜于斜导柱时,如图 2-92a)所示:

$$L_0 = \frac{h_0}{\cos(\alpha+\beta)}$$

$$N = \frac{Q + \mu(N_1+N_2)}{\cos(\alpha+\beta) - \mu \sin(\alpha+\beta)} \quad (2-125)$$

$$K = \frac{1}{\tan(\alpha+\beta+6^\circ)}$$

$\alpha+\beta = 15^\circ \sim 20^\circ$ 为宜。

斜导柱的强度校核:

$$\sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma]_{\text{许}}$$

式中 $M = NL_0, W = \pi d^3 / 32$, 则代入上式:

$$d^3 = \sqrt{\frac{32NL_0}{\pi[\sigma]_{\text{弯}}}}$$

(2-126)

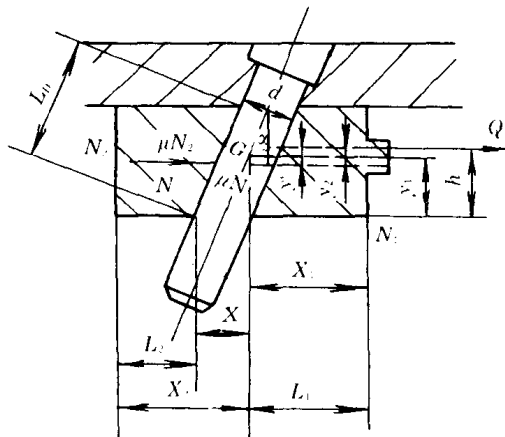


图 2-93 滑块受力分析

例 $Q=3800\text{N}$, $\alpha=18^\circ$, $L_0=73.6\text{mm}$, $h=40\text{mm}$, $L_1=70\text{mm}$, $L_2=50\text{mm}$, 求斜导柱直径。

解: 利用公式 $K=1/\tan(\alpha+6^\circ)$ 有:

$$K=1/\tan(18^\circ+6^\circ)=2.25$$

$$N_1+N_2=\frac{2Kh+L_1-L_2}{K(L_1+L_2)}Q$$

$$=\frac{2 \times 2.25 \times 40 + 70 - 50}{2.25 \times (70 + 50)} 3800(\text{N})$$

$$=2815(\text{N})$$

$$N=\frac{Q+\mu(N_1+N_2)}{\cos\alpha-\mu\sin\alpha}=\frac{3800+0.1 \times 2815}{\cos 18^\circ-0.1 \times \sin 18^\circ}(\text{N})$$

$$=4436(\text{N})$$

求斜导柱直径, 已知 $[\sigma]_{\text{弯}}=300\text{MPa}$:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{32NL_0}{\pi[\sigma]_{\text{弯}}}} = \sqrt[3]{\frac{32 \times 4436 \times 73.6 \times 10^{-3}}{3.14 \times 3 \times 10^8}}(\text{m})$$

$$=0.0223(\text{m})=22.3\text{mm}$$

d 取值为 23mm。

4 锁紧楔斜角的确定及固定形式

确定锁紧楔斜角的原则是锁紧楔斜面接触或离开侧抽芯滑块时的速度要大于斜导柱驱动抽芯滑块的速度, 这样锁紧楔才能在开模时立即与滑块脱开。

一般在设计中楔角 α' 应比斜导柱的斜角大 $2^\circ \sim 3^\circ$, 这样在开模时楔块离开滑块的速度比滑块抽出的速度快一些。如果 $\alpha=\alpha'$, 当斜导柱和柱孔几乎紧密配合时, 则锁紧楔块和滑块压紧面将一直接触, 相互摩擦。当 $\alpha'<\alpha$ 时, 无法开模, 如果强制开模, 斜导柱会弯曲变形甚至折断。

α' 是按 α 来确定的, 而与滑块倾斜角度无关。有人提出 $\alpha'=\alpha-\beta+(2^\circ \sim 3^\circ)$ 或 $\alpha'=\alpha+$

$\beta + (2^\circ \sim 3^\circ)$, 显然这是不合理的, 因为 $\beta \geq 3^\circ$ 时 $\alpha' = \alpha - \beta(2^\circ \sim 3^\circ) \leq \alpha$, 这时就无法开模了。因此, 不论图 2-91a) 或图 2-91b) 所示, 只要使 $\alpha' = \alpha + (2^\circ \sim 3^\circ)$ 即可。至于滑块头部压紧面斜角 γ , 见图 2-92a) 所示, $\gamma = 90^\circ - [\alpha + (2^\circ \sim 3^\circ)] - \beta$ 。而图 2-92b) 所示 $\gamma = 90^\circ - [\alpha + (2^\circ \sim 3^\circ)] + \beta$ 。

在注射成型时, 滑块成型面上承受很大的型腔熔料的压力, 使滑块产生很大的推力, 其大小可按下式计算:

$$F = Ap \quad (2-127)$$

式中

F ——滑块推力(N);

A ——滑块成型面的投影面积(m^2);

p ——型腔压力, 可取 40~50MPa。

斜导柱承受不了这样大的压力, 故必须加设闭锁用的锁紧楔形块, 在闭模后用以压紧滑块, 承受滑块的推力。斜楔块固定形式有以下几种, 如图 2-94 所示。图 2-94a) 是采用梯形槽固定斜楔块, 这种结构可以承受大的滑块推力, 但固定模面积较大。

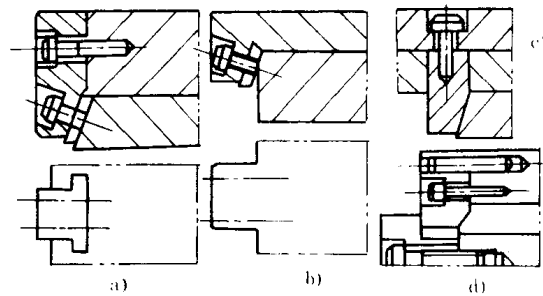


图 2-94 斜楔与斜楔块的组合形式

图 2-94b) 采用整体式。这种结构牢靠, 斜楔角准确, 但制造时原料与工时消耗较大。图 2-94c) 是整体镶入式, 用台肩和螺钉固定, 这种结构刚性较好, 修配方便。在固定板边缘有足够固定位置的情况下较常用。图 2-94d) 是加强锁紧楔形块的形式。

此外, 滑块移动到抽拔距终点时, 滑块伸出槽的部分应不大于滑块的 $1/3$, 必要时可加长导槽, 同时, 滑块的高度应不大于滑块长度的 $2/3$ 。

滑块与导槽配合不低于三级精度第三种动配合(H8/f8), 滑块肩部与压板的配合也是如此。这样才能提高制品的尺寸精度。

滑块的定位装置以活动销定位为好, 如图 2-95a 所示。这样的定位结构简单、易于加工, 但要求两个活动销之间尺寸精度较高, 否则将无法对准而破坏导柱。

(四) T 型板分型

在大型模具中使用斜导柱分型不但加工斜孔困难, 而且分半分型也不稳定, 同时精度保证不了。采用 T 型板分型更为平稳、T 型板分型由于固定方法不同, 可分为两种。

1 T 型板固定在定模上

如图 2-96 所示, 其特点是结构简单, 开模方便。缺点是: ①随着开模距离的增加, 开模运动的平稳性就减弱; ②合模时有时出现卡孔现象, 原因是加工精度差造成的。

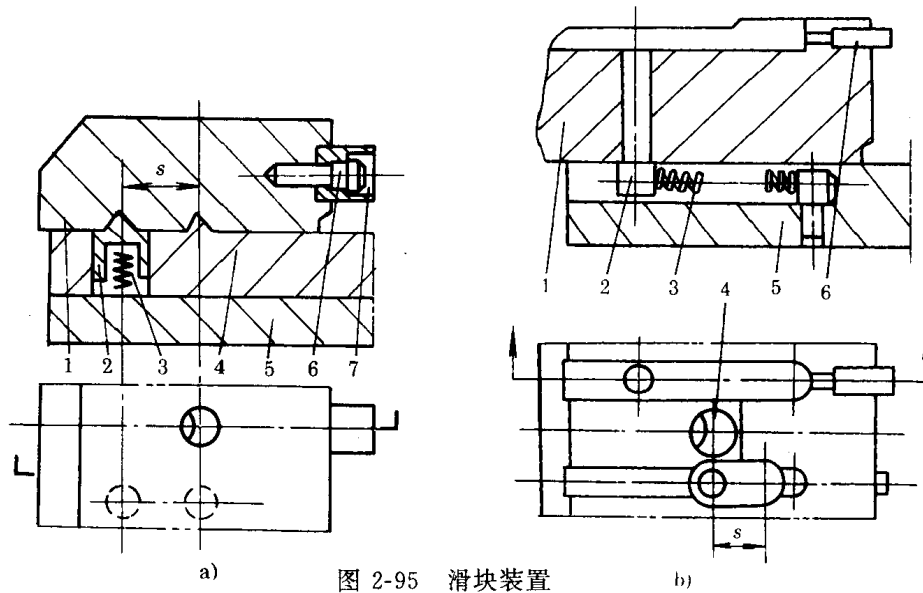


图 2-95 滑块装置

a) 活动销定位滑动装置

1—滑块 2—活动销 3—弹簧 4—动模板
5—垫板 6—螺钉, 7—型芯

b) 模内式弹性滑块装置

1—滑块 2—限位销 3—弹簧
4—动模板 5—垫板 6—型芯

2 T 型板固定在动模上

如图 2-97 所示, 这种结构可克服上一种结构的缺点。但此结构开模后, 因制品卡在型腔和型芯中间所产生的张力很大。推出的启动力既要克服这种张力, 又要克服塑件与型芯之间的包紧力及活动部分的重力。为此, 紧固型芯的螺钉端部应留有 3~5mm 的间隙, 这样推出的第一步只要克服可动部分的重力和分半分型面的摩擦力即可。到型芯螺钉头被拉住后, 分半斜面已有空隙, 此时张力的作用已不大, 继续推出时, 分半分型就比较省力了。

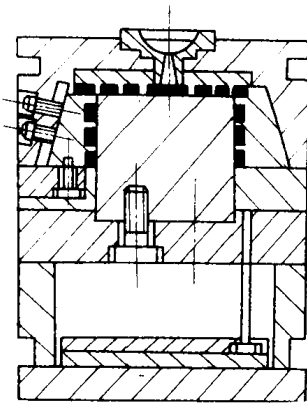


图 2-96 T 型板固定在定模上

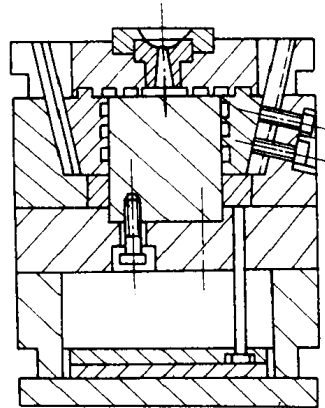


图 2-97 T 型板固定在动模上

(五) 油缸液压分型

如图 2-98 所示, 在四块侧向型块上各装有油缸, 油压由油泵供给, 靠油泵油缸完成各侧向型块的分型。

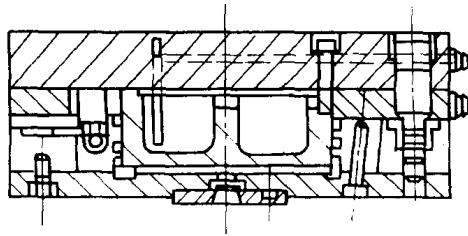


图 2-98 油泵开模(周转箱模具)

(六)弯销分型抽芯机构

弯销分型的结构形式如图 2-99 所示,利用弯销的驱动滞后作用脱出制品。在动、定模分型初期,侧向滑块尚未分型时,由于滑块将制品包住,这时主型芯相应从制品退出一段距离,使制品从主型芯上松动,然后侧向滑动开始分型,分型后取出制品。设计这种模具的要点是把主型芯和滑块分别设计在动模和定模上。这时一开模,主型芯就开始从制品中抽动。这种结构的优点是抽拔距比斜导柱大。弯销承受的抽拔力比斜导柱大。缺点是增大了模具的总体尺寸。这对于大型模具来说是不利的。

(七)斜滑的组合式型腔侧抽芯结构

这种侧抽芯一般分为两种形式,一种是外侧抽芯;另一种是内侧抽芯。

大型模具中常用的是第一种结构,因此本书只讨论第一种机构的设计。

如图 2-100 所示,这种结构的特点是当推杆推动滑块时,塑料制品的推出和抽芯动作同时进行。滑块的刚性较好,故滑块的斜角可以较斜导柱的倾斜角大些,一般不超过 30° 。斜滑块的推出高度一般不超过导滑槽长度的 $2/3$,否则斜滑块易倾斜卡住,甚至损坏。要想使这种结构的模具正常工作,在设计时必须注意此点。

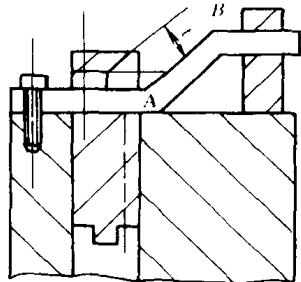


图 2-99 弯销侧向分型形式

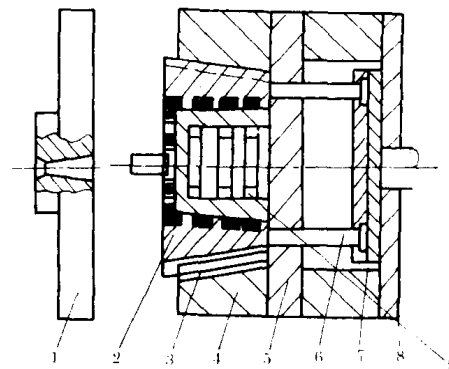


图 2-100 斜滑块组合型腔分型结构

1—定模 2—斜滑块 3—T形槽 4—型腔 5—垫板
6—推杆 7—顶出板 8—中心推出杆 9—型芯

七 脱模机构的设计

大型塑料注射模具要求脱模机构动作简单可靠,从而达到简化模具总体结构的目的。塑件形状不同决定了应选用哪一种脱模方法和脱模机构,而且应首先计算脱模力的大小。下面讨论脱模力的大小及对脱模机构的校核。

(一)脱模力的计算

为确定脱模力,首先应计算塑件对型芯的正压力。塑件一般可分为厚壁和薄壁两大类。 $t/D > 0.05$ 为厚壁塑件,反之则为薄壁塑件。如图 2-101 所示为型芯受力图。

当 $t/D > 0.05$ 时,塑件对型芯的正压力 p 为:

$$p = \frac{2\pi r_{\text{均}} E \epsilon L}{\cos \alpha \left[1 + \mu + \frac{2r_{\text{均}}^2}{\cos \alpha (t^2 \cos \alpha + 2tr_{\text{均}})} \right]} \quad (2-128)$$

当 $t/D < 0.05$ 时,塑件对型芯的正压力 p 为:

$$p = \frac{2\pi E \epsilon t L}{1 - \mu} \quad (2-129)$$

对于圆形厚壁塑件,脱模力 Q 按下式计算:

$$Q = \frac{2\pi r_{\text{均}} E \epsilon L (f - \tan \alpha)}{(1 + \mu + K_1) K_2} \quad (2-130)$$

当塑件断面形状为矩形时,式(2-130)中的 $r_{\text{均}}$ 代以 $r_N = (a+b)/\pi$, (a, b 分别为矩形的长宽),即可计算出脱模力 Q 值。

当塑件为圆形薄壁制品时,塑件的脱模力为:

$$Q = \frac{2\pi t E \epsilon L \cos \alpha (f - \tan \alpha)}{(1 - \mu) K_2} \quad (2-131)$$

当塑件断面为矩形薄壁塑件时,式(1-4)中的 t 应改为 t_3 ,仍由式(2-131)计算。

如果塑件有底,则计算出脱模力后还应加上大气压力 B_0 ,即:

$$Q_{\text{实际}} = Q + B_0 \quad (2-132)$$

式中 t ——圆环形塑件壁厚(m);

D ——圆环塑件内径(m);

t_3 ——矩形薄壁塑件平均厚度(m);

B_0 ——大气作用在型芯上的附加压力, $B_0 = S p_0$, S 为型芯最大投影面积(m^2);

p_0 为当地大气压力,常取值 $p_0 = 0.1 \text{MPa}$;如塑件通孔, $B_0 = 0$,有底塑件

$B_0 \neq 0$,

K_1 ——无因次系数, $K_1 = \frac{2\lambda^2}{\cos \alpha (\cos \alpha + 2\lambda)}$, 而 $\lambda = r/t$, K_1 随 α 和 λ 的变化而变化,可由有关手册中查表得出或由此式计算之;

K_2 ——随 f 和 Φ 而异的无因次系数,其范围为 $1 \leq K_2 \leq 1.2$,一般 $K_2 \approx 1$;

$r_{\text{均}}$ ——型芯的平均半径(m);

E ——塑料的弹性模量(Pa);

ϵ ——塑料的平均收缩率;

L ——塑料对型芯的包容长度(m);

f ——塑料与型芯的摩擦因数,其值与材料有关;

α ——塑件的脱模斜度($^\circ$);

μ ——塑料的泊松比。

脱模力在初始时为最大,然后为最小,因此,计算脱模力时应考虑初始情况的最大静

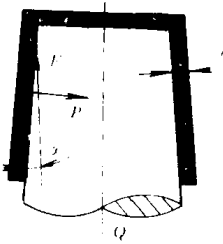


图 2-101 型芯受力图

摩擦力,而不应考虑动摩擦的情况。

(二)推杆脱模机构的设计

推杆是脱模机构中最简单,也是最常用的一种脱模机构。这种机构制造简单,使用方便,已被广泛采用。

1 推杆稳定性的计算

推杆的受力状态可简化为一端固定,另一端受有轴向压力的力学模型。

由欧拉公式可得:

$$\sigma_0 = \pi^2 E / \lambda^2 \quad (2-133)$$

由压杆的稳定条件可知(推杆稳定条件类似于压杆的稳定条件):

$$\begin{aligned} \sigma_0 &\leq \sigma \\ \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} &\leq \frac{Q}{nA} \end{aligned}$$

即:

又因 $\lambda = \mu L / \sqrt{I_{\min} / A}$, $I_{\min} = \pi d^4 / 64$, 代入上式有:

$$\frac{\pi^3 E d^4}{64 \mu^2 L^2} \leq \frac{Q}{n}$$

所以有:

$$d_{\min} = \sqrt[4]{\frac{64 \mu^2 L^2}{n \pi^3 E} Q} \quad (2-134)$$

为了保证可靠程度,取 $d = 3d_{\min} / 2$ 为宜。

式中 σ_0 ——推杆的临界应力(Pa);

λ ——压杆柔度;

μ ——考虑支承条件的长度系数,可近似取 $\mu = 0.7$;

L ——推杆的长度(m);

I_{\min} ——压杆的截面模量(m⁴);

A ——压杆的截面积, $A = \pi d^2 / 4$ (m²);

d ——推杆(压杆)的直径(m);

Q ——脱模力(N);

n ——推杆的件数。

2 推杆的位置和数量的确定

在大型模具中特别是深腔制件的模具,推出距离很大,再加上模具很厚,在决定推杆长度时,首先要确定模厚和开模行程及推出距离,然后再确定推杆数量和直径大小,再由

塑件形状确定推杆位置。一般情况下推杆数目以少为宜。推杆的位置分布若使注射机推棒中心的合力矩为零则最佳,如图 2-102 所示。如果采用中心推出(推出棒为 C),则由 $\Sigma M_y=0$ 可知:

$$P_1X_1+P_2X_2+P_3X_3+P_4X_4=P_5X_5+P_6X_6+P_7X_7+P_8X_8 \quad (2-135)$$

由 $\Sigma M_x=0$ 可知:

$$P_1Y_1+P_2Y_2+P_7Y_7+P_8Y_8=P_3Y_3+P_4Y_4+P_5Y_5+P_6Y_6 \quad (2-136)$$

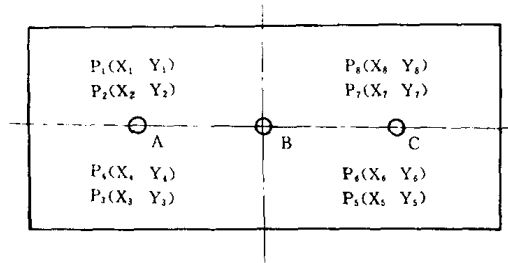


图 2-102 推杆布置形式

如注射机推棒位于 A 和 B 处,推位置应满足式(2-136),即 $\Sigma M_x=0$ 。若合力矩 ΣM_x 或 ΣM_y 不为零,则推杆在工作过程中因受力不均容易弯曲和折断,即推出机构易卡住或出现故障,影响塑件的推出,使连续生产中断。

3 推杆材料选择和固定形式

(1) 推杆材料:多用 45 钢、T8 和 T 10 钢。推杆头部要淬火,硬度达到 HRC50 以上,表面粗糙度 $Ra0.80\mu m$ 以下。推杆头部形状可由塑件形状来定,但多数为平头,这样便于制造。

(2) 推杆的固定形式:如图 2-103 所示。图 a)是一种常用的推杆固定方法,适于各种不同形状的推杆。图 b)是用螺母拉紧的推杆,适用于直径大及推杆固定板薄的结构。图 c)是螺塞推紧推杆,适用于直径大及固定板厚的结构。图 d)适用于各种不同截面形状的推杆,其应用较广。

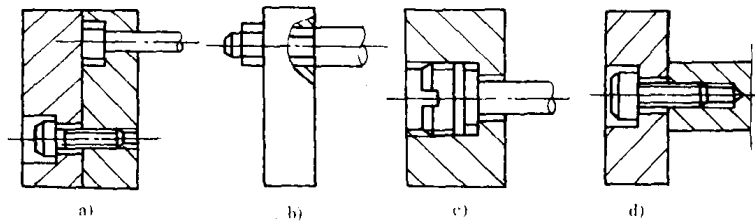


图 2-103 推杆固定形式

4 设计中应注意的问题

(1) 推杆分布要均匀,要尽量靠近型芯并作用在制品不易变形的部位,如肋部、凸缘、厚壁处等。避免塑件的变形和破碎。

(2) 推杆与型芯或镶块的固定孔的距离不能太近,以免影响模具结构的强度。

(3) 推杆直径应保证有足够的强度和刚度。

(4) 推杆端部一般高出分型面 $0.1\sim 0.2mm$ 。

(5) 推杆与孔的配合不能发生卡滞现象,要求按动配合(间隙配合)不溢料间隙设计加工。

(6) 在浇口处尽量不设推杆,因为塑件在浇口处为应力集中区,塑件受力易开裂。

(7) 顶杆不要设在型芯上,否则应设置推杆复位装置,以免碰坏型腔。

(8) 塑件无处可设推杆时,可利用拉料杆代替推杆。

(三)推板脱模机构的设计

1 推板的结构形式

如图 2-104 所示为气动和推板联合作用的脱模机构。这种结构简单适用,推出力均匀,运动平稳,对于大型塑件脱模甚为有利。使用此机构可减小模厚。脱模板采用油缸推动,也可采用机械装置推动。为防止脱模板和型芯因受热膨胀而发生卡滞现象,最好使脱模板与型芯配合的最小间隙为 0.25mm,斜度为 $\alpha=5^\circ\sim 10^\circ$,如图 2-105 所示。

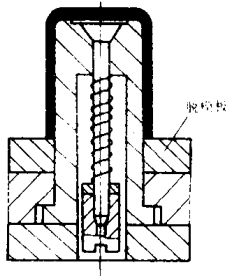


图 2-104 气动脱模同时使用

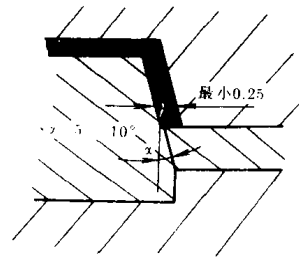


图 2-105 脱模板位置

用脱模板比用推杆脱模的开距要小。

开模距 = (塑件高 + 料把高) × 2 + 余量。

2 脱模板厚度的确定

(1) 对于圆环形或圆形塑件脱模板,其受力状况可简化为圆环形平板周边匀布载荷的力学模型,如图 2-106 所示,其最大挠度产生在板的中心:

$$\delta_{\max} = C_3 QR^2 / Eh^3 \quad (2-137)$$

或

$$h = \sqrt[3]{C_3 QR^2 / E\delta_{\max}} \quad (2-138)$$

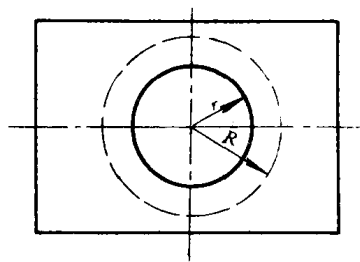


图 2-106 圆形推板

式中 C_3 ——随 R/r 值而异的系数,见表 2-22;

R ——推杆作用在推板上的几何半径(m);

h ——脱模板的厚度(m)。

δ_{\max} ——脱模板中心允许的最大变形量,一般取 $(0.1\sim 0.2)\Delta$, Δ 为塑件在推出方向上的尺寸公差(m);

Q ——脱模力(N)。

表 2-22

C_3 与 R/r 的关系

R/r^*	C_3
1.25	0.0051
1.50	0.0249
2.00	0.0877
3.00	0.2090
4.00	0.2930
5.00	0.3500

r^* :脱模板环形内孔半径。

(2)对于横截面为矩形或异环形的塑件,脱模板可简化为受均布载荷的简支梁力学模型。如图 2-107 所示,最大挠度在板中心:

$$\delta_{\max} = 5qL^4 / 384EJ \quad (2-139)$$

$$\because J = \frac{Bh^3}{12} \quad Q = qL$$

$$\therefore \delta_{\max} = \frac{5QL^3}{32EBh^3} \quad (2-140)$$

或

$$h = \sqrt[3]{\frac{5QL^3}{32EB\delta_{\max}}} \quad (2-141)$$

式中 L ——脱模板的长度(m);

B ——脱模板的宽度(m);

Q ——脱模力(N);

δ_{\max} ——最大挠度(m)。

(四)腔模分段加对开分型的脱模机构

对于一个超高桶状塑件,塑件高度 L_0 往往超过动模行程的 $1/2$,因此脱模困难。为了解决这个问题,可采取如图 2-108 所示的脱模机构。

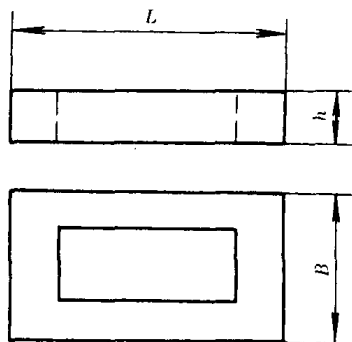


图 2-107 矩形脱模板

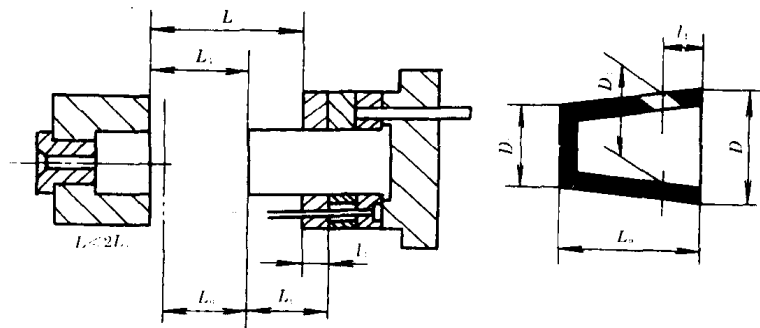


图 2-108 腔模分段脱模机构

这一结构在适当部位将腔模分成两段,塑件底部这一段放在定模边,而将塑件上口这

一段腔模随同型芯放在动模边,这样便可在开模后保证腔模和芯模的分开距离 $L_1 > L_0$,从而脱出塑件。

对于底部腔模,如果将其固定在动模上,最好作成对开式结构,这样可以开合,但这必须安设锁紧楔,最好将锁紧楔放在动模边。其结构与斜导柱侧向分型机构类似。设计步骤及计算公式如下:

1 决定腔模分段部位尺寸 l_1

按给定注射机动模板最大移动行程 L 和塑件高度 L_0 来决定 l_1 (参见图 2-108), 故得:

$$l_1 > 2L_0 - L \quad (2-142)$$

$$l_1 < L_0 \quad (2-143)$$

式中 l_1 ——安设在动模边的腔模尺寸。

2 计算开模所需抽拔距 S

$$S = \sqrt{D^2 - D_1^2} + 3 \sim 10 \text{mm} \quad (2-144)$$

$$D_1 = (L_0 - l_1)D/L_0 + l_1D_0/L_0 \quad (2-145)$$

3 选择斜导柱斜角 α 和锁紧楔斜角 α'

$$\alpha \geq \arctan(S/2L^1) \quad (2-146)$$

其中 L' 为注射机允许最大推出行程,一般取 α 为 $10^\circ \sim 18^\circ$ 。

$$\alpha' > \arctan[(S + 2 \sim 5)/l_1] \quad (2-147)$$

应该注意的是, α' 必须大于 α 。

倘若可能的话,在对开模一次脱模后,增设一个电动的中心推出机构来完成二次脱模动作更好,这样可实现自动化连续生产。

(五) 浮动导向滑块推出机构的设计

这种推出机构和其它推出机构相比,可减少推杆、垫板、推板、螺钉、定位销等零件,大大减小了模厚和总体尺寸。对于长度较长的塑件,这样的推出结构更为适宜。浮动滑板可制成几种形式,其中以燕尾槽和 T 型滑板使用得较广。

1 浮动滑板的结构形式

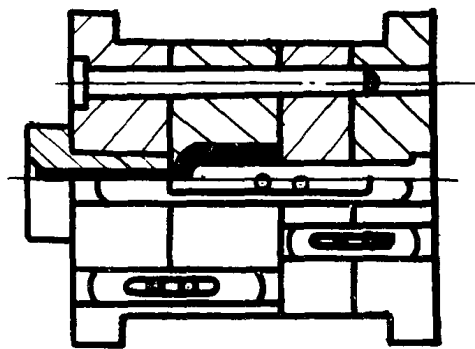


图 2-109 三板分离浮动滑板形式

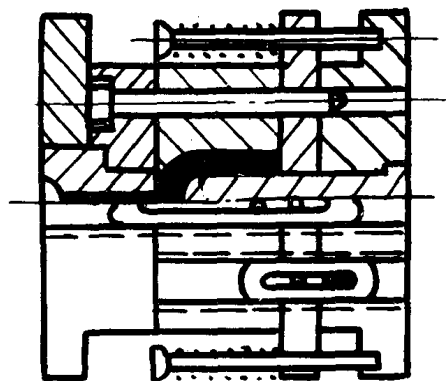


图 2-110 两板式浮动滑板推出结构

$$\therefore S = L - L_1$$

$$\therefore S = l_1 + (15 \sim 30) \text{mm} \quad (2-150)$$

$$\therefore S_1 = L_3 - L_2$$

$$\therefore S_1 = l_1 - (3 \sim 5) \text{mm} \quad (2-151)$$

式中 S ——定模与推板拉开取出塑件所需距离(mm)；

S_1 ——动模与推板拉开距离(mm)。

3 浮动滑板结构设计

(1) 滑板。采用燕尾槽形式或 T 形，一般燕尾形角度为 $50^\circ \sim 60^\circ$ ，材料 T8A 热处理淬硬，硬度达到 HRC52~58，滑板与模体的燕尾槽配合为动配合。如图 2-111 所示。

(2) 限位钉材料为 T8A，淬硬 56~60HRC，在组装时必须保证所有滑板距离一致，严格控制滑板活动空间并保证各滑板拉出中心距离一致，误差不能超过 0.10mm，以免推板歪斜，造成制件因受力不均而损坏。

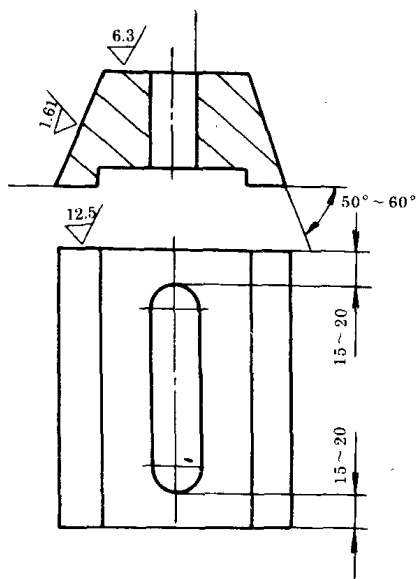


图 2-111 滑板结构图

八 塑料三板式注射模具的设计

三板式塑料注射模具是具有第三板的塑模。它在固定工作台与活动工作台每边各有一块模板的基础上,又加了所谓浮动模板或中间板,这个第三板上有进料口、浇道系统,型腔等必须的组成部分。在塑模开启的位置,第三板与其它两板分离,它的一侧是推出的塑件,另一侧支承浇口与流道。这种形式的塑模主要用于:

(1)多型腔塑模采用中心送料时。例如:在各旋钮的中心以点浇口送入材料的多型腔旋钮塑料模具。

(2)单型腔塑模中,用“限制进料口”式的中心进料口送料。例如,盘状塑件从底部的中心点浇口进料。

(3)需采用多个“限制进料口”的面状送料。例如,将材料送入浅皿形塑件的多个进料口。即多点浇口。

(4)在不偏心的单腔塑模或不平衡的多腔塑模中用边缘进料口时。这在大型塑模中是很重要的。

上述情况不能用二板或塑模,因为二板式塑模不可能取出料把。因此,必须使用三板式塑模。三板式塑模通常比二板式塑模成本高,开模时,须由操作者取出料把,故生产效率低。当然也可设计自动脱料把机构,但模具结构较复杂。

目前三板式塑模大多用于小型和中型尺寸的塑件。但是,如果增加浮动板的大小和重量,也可用在大型塑件甚至非常大的塑件上。

图 2-112 所示是用于小塑件的三板式塑模的点浇口、双型腔图解说明。

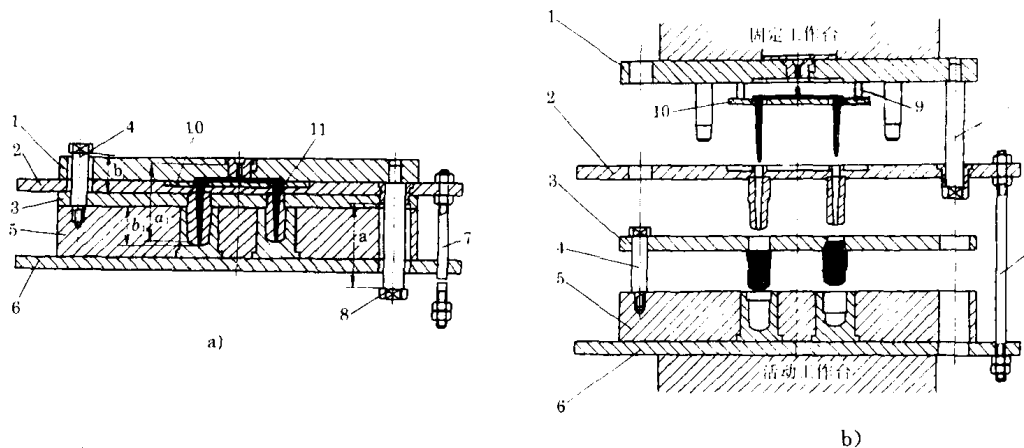


图 2-112 三板式塑模的工作原理图

a)合模状态 b)开模状态

1—底板 2—浮动板 3—脱模板 4—脱模螺钉 5—凹模 6—动模板

7—拉杆 8—脱模螺钉 9—螺钉 10—反锁脱模板 11—锥面

1 为底板(定模板)。

2 为浮动板(或浇口板)。该板离底板有足够的距离,以便取出凝料把。板间距离的大小取决于脱模螺钉的长度,须使尺寸 a 大于或等于尺寸 a_1 。

3 为脱模板,它是从型芯上取出塑件使用的模板,采用什么样的脱模机构应根据塑件的形状而定。

熔料注入型腔后,经过冷却,塑件收缩包紧型芯。所以,脱模板使塑件能顺利地型腔脱出。

当注射成型机动模板开始移动时,板 3 与板 5 分离,这时,塑件脱离凹模而包紧在型芯上。当型芯完全退出凹模时,脱模螺钉 4 的头部碰到脱模板 3 的平面。为此,尺寸 b 必须大于尺寸 b_1 。板 3 就使塑件从型芯上脱下来。

当注射机动模板继续移动时,拉杆 7 上的调节螺母碰到板 6 的背面,使板 2 向动板一侧的移动方向运动,从而使板 2 与板 1 分离。

当板 2 开始移动时,将浇口从浇口套中拉出,同时,反锁脱模板 10 使其与上部浇道系统一起拉出板 2。

但是,板 10 的移动也受到脱模螺钉 9 长度的限制。螺钉 9 的头部碰到板 1 的定模一侧面时,板 10 的移动停止,从型芯中拉出送料部分,板 2 的总移动量受到从脱模螺钉 8 头部下平面至导套面长度 7 的限制。为 3 取出冷料把,尺寸 a 必须大于尺寸 a_1 。板 10 中 11 为开通到端面的锥槽,锥槽的开口向下,浇道冷料把由板 10 拉出后落到注射机的下方。

三板式塑模比同等大小的二板式塑模需要更大的行程,这点是很明显的。因此,了解行程能否满足各运动零件的距离要求是十分重要的。从塑模中取出浇道冷料把,通常采取手工操作。也有设置自动推出料把机构,图 2-112 是其中一例。进料系统的脱模板 10 沉入板 2 的凹座中,为 3 定位,使用锥面 11 配合,如图 2-112b) 所示。板 2 用导销导向,并控制板向前方移动的距离。通向各腔的浇道均在锥面 11 的开口处脱离板 10,这个开口是朝地面的长槽。当开模时,靠两型腔浇口的拉力,将主浇口拉出浇口套。接着,板 10 沿导销 9 向前方滑出,当板移动结束时,塑模开到使浇口完全脱离的位置,这时,浇道冷料把通过板 10 的长槽从模具中脱落下来。

固定浇口板的杆须有足够的强度,杆中的应力应在许用值之内,还须验证杆的悬臂位置上由板的重量而导致杆的变形是否过大。

杆内应力。假定全部荷重都靠两根杆承受,设杆的直径为 d ,杆的有效长度为 l ,杆的钢材的许用拉伸应力为 $[\sigma]$,杆支承的重量为 W 。各杆所受的最大弯曲力矩为 $\frac{Wl}{2}$,这里等于 $Z[\sigma]$,式中 Z 为杆的抗弯截面系数,当杆的断面为圆形时, $Z = \frac{\pi d^3}{32}$ 。故由 $\frac{Wl}{2} = \frac{\pi d^3}{32}$ 得:

$$d = \sqrt[3]{\frac{16Wl}{\pi[\sigma]}} \quad (2-152)$$

通常,支承浇口板的杆兼作导柱使用。所以,使塑模同心的作用比支承浇口板起的作用更重要,因此须确定比上述更大的杆径。

杆的挠度。最大许用挠度取决于若干因素,但其值不应超过 0.5mm,而且在移动范围的极限处,必须能停止。参考图 2-113,则:

xx = 上下导柱间的水平中心线。

P = 上下导柱的中心线与 xx 之间的距离。

$I = AA$,各导柱对直径的轴惯性矩(断面的二次矩)。当断面为圆形时, $I = \pi d^4/64$,

d = 导柱的直径。

四根导柱对 xx 轴的惯性矩是：

$$I_{xx} = 4\left(I + \frac{\pi d^2 P^2}{4}\right) = 4\left(\frac{\pi d^4}{64} + \frac{\pi d^2 P^2}{4}\right) = \frac{\pi d^4}{16} + \pi d^2 P^2 \quad (2-153)$$

假定板的重心与导柱的顶端位置一致，这是最恶劣的条件，其最大挠度 s 为：

$$s = \frac{Wl^3}{3EI_{xx}}$$

将式(2-153)中的 I_{xx} 代入上式，得：

$$s = \frac{Wl^3}{3E\left(\frac{\pi d^4}{16} + \pi d^2 P^2\right)} \quad (2-154)$$

式中 W —— 板的重量(N)；

E —— 纵向弹性模量(Pa)；

l —— 导柱的长度(m)。

通常，该挠度非常小，可以忽略。

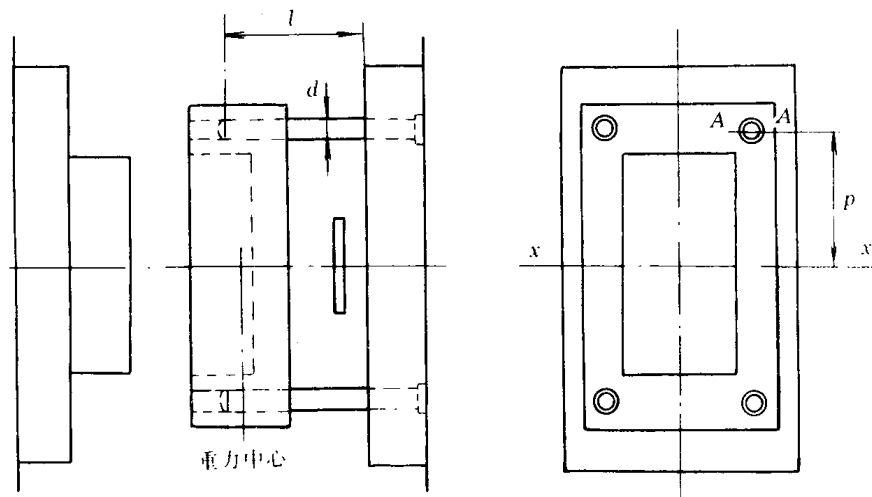


图 2-113

图 2-114 与图 2-115 是成型线皿形塑件，采用多点浇口的三板式塑模。图 2-114 中 a) 与 b) 分别为该塑模的侧剖视图与俯视图。从该图中可注意到，由浇口分出的四条浇道 2 通向四个点状进料口进入型腔 15(即塑件)。浇道开在定模侧的板 A 中，在浮动板 B 中没有浇道，板 C 直接安装在活动模板上，浮动板 B 用导柱 1 导向，同时对塑模整体也起定位作用。开模时，浇口用浇拉钩拉断，多个进料口一方也被杆状拉钩分离。在此设计中不能设置完全自动脱出浇道冷料把机构。开模后，用手工将料把取出。板 B 中的凹模靠锥形凸台 6 决定与型腔的相对位置。由于它们之间有相对磨损，如需要两半模同心时，应使其可以调节。此外还设有气阀 5，用压缩弹簧将它推到锥形阀座上。这就是空气脱模机构。因为浮动板只能按行程设计量，为防止移动量超过设计量，使用 4 个阶梯螺钉 7，如图 2-114c) 所示。

在图 2-115b) 的局部剖视图中，所见的挡块是防止各板任意开启的挡块中的一个。图

2-115a)表示其俯视图。该装置包括铜板 14 嵌入浮动板凹座中的长方形爪 13,该爪用压缩弹簧推向外方。

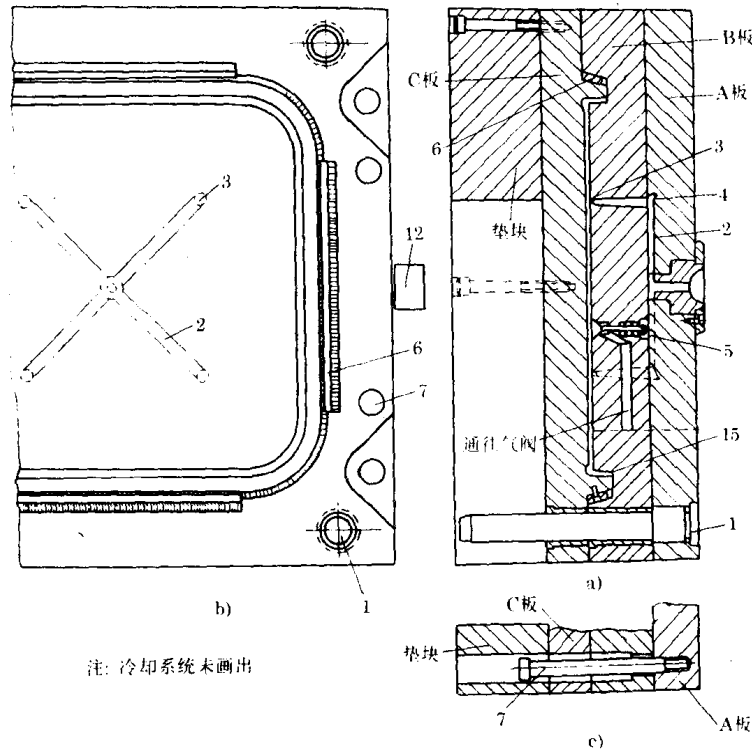


图 2-114 皿形塑件模具结构

牢固地安装在 C 板上的挡块 12 的侧面同爪 13 啮合,使二板处于常闭状态。在上端突起部分中间,设计了一个与爪 13 的斜面相啮合的斜面。该挡块的动作顺序表示在图 I、II、III 中,图 I 表示处于成型状态的闭合位置。成型结束时,靠爪 13 与挡块 12 的啮合作用,板 B 仍与板 C 结合在一起,并一起离开板 A。这是图 II 的状态。

同时,塑模零件 11 的斜面与爪 13 的面接触。11 安装在板 A 上,且在定模侧,安装在板 B 中的爪 13 是运动的。在预定位置,11 与 13 的斜面接触,使爪缩回内面。爪 13 压缩后方的弹簧,爪被压入到不与挡块 12 啮合为止,这是图 III 的状态。板 B 此后的运动位置受阶梯螺钉的限制。板 B 与 C 在通过挡板时已经不连在一起,所以板 B 停止,动模板 C 继续离开,直到能够取出塑件为止。

图 2-116a)、b)是该模具的排气配置图,在这种多进料口模具中,进入各进料口的塑料都集中在型腔中,因而封入空气较难排出,在塑件上引起小孔和烧焦。预防这些问题的方法请见图 2-116a)、b)。

在图 2-116 所示的等间距进料口中,熔料集中于模具中心,因此需要在这里排除空气。把销 8 的前端作成小直径就变成通气销 9,这时的形状表示在图 a)中,形成了在另一端作为有浇口拉钩的阀。在工作中封入的空气从通气销和孔之间的间隙排除。开模时,靠浇口拉钩的作用把销全部向外拉,其动作用横向插销控制在一定范围。根据每一成型周期通气销的移动方法,用埋头螺钉的头部形式可以防止封闭这个间隙,使通气能够在各形成

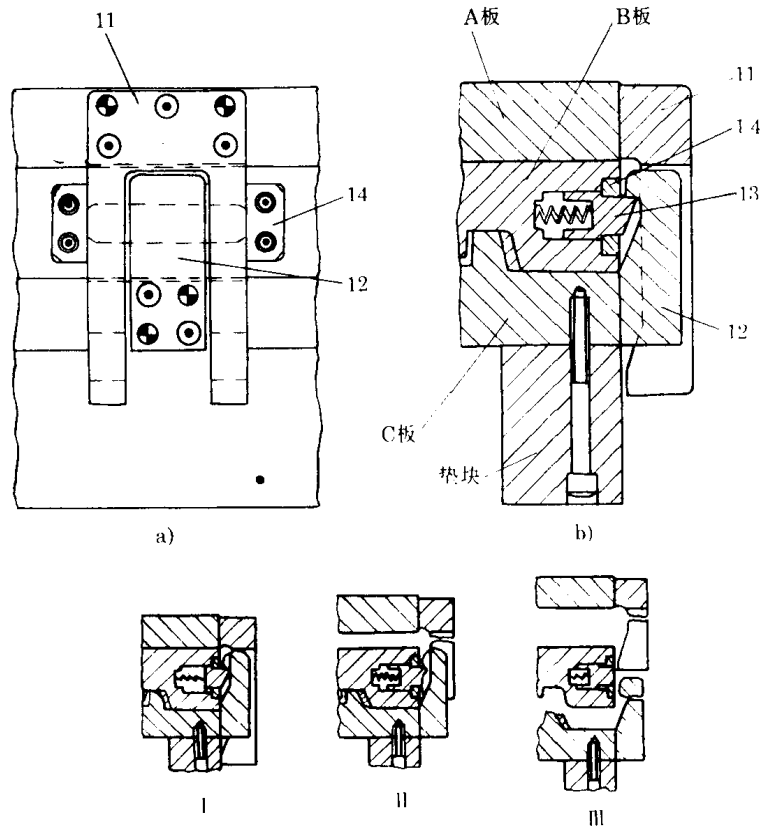


图 2-115 皿形塑件模具局部机构

过程连续进行。当模具闭合时,阀的头部被推回与平板 A 的表面接触、该装置就回到了图示的成型位置。

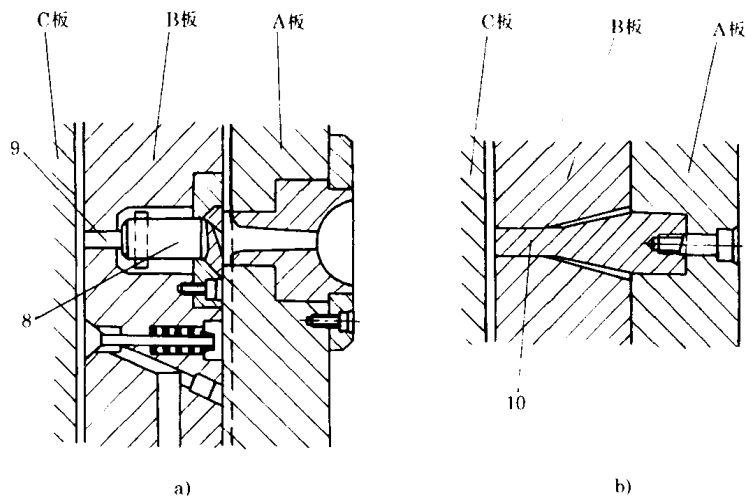


图 2-116 排气配置图

通常在对塑模最初进行试验时,就可以发现封入空气的地方,往往不必事先设置通气孔。如果封入空气的位置发生在中心以外的地方,则必须采用图 2-116b)所示的方法。这包括具有直接装在板 A 上的锥形导程的通气销。销通过孔的锥形导程导向进入板 B,通

入塑模型腔的圆柱形部分配合,当塑模开启时,销从板 *B* 中拉出,彻底清除产生的毛刺,因为产生的毛刺妨碍后道工序。这种类型的销可以在模具设计时采用。

第三章 延长模具使用寿命的措施

一 设计大型塑料注射模具应采取的措施

当前国内外都很关心延长模具使用寿命的问题。对于大型塑料注射模具,由于其成本特别高,因此想大批量生产塑件,模具的寿命问题就更为突出。下面将较详细地讨论大型塑料注射模具在设计时应采取的措施,以利于延长塑料模的使用寿命,从而降低塑料制品的成本。

(一)大型塑料注射模具的结构设计

大型塑料注射模具的结构设计很重要,模具结构设计是否合理将影响加工精度和使用寿命。模具结构设计要保证强度、刚度要求,以防止挠曲过量,设计时必须对受力零件进行强度和刚度校核。发现刚度、强度不足时,需要增加其厚度。一般钢材厚度增加一倍,挠曲可降低 87%。模具零件如有尖角和小半径部位(例如塑模导向柱带油槽和根部)时,容易发生断裂,应尽量避免,要设计成圆滑过渡的形式。如果按所要求的进行设计,则其冲击韧度可提高到原来的 7 倍。在设计模具嵌件时,其与固定板应完全贴合,这样可以避免受力不均而引起挠曲变形,否则致使模具早期破裂而降低模具使用寿命。模具零件如果形状简单易于加工,应设计成整体式,避免用层压,因为在厚度相同的情况下,层压板受力后的变形量比整体的大好几倍。大型塑料注射模具的冷却加热系统是必备的组成部分,设计时必须首先考虑。在设计冷却水通道时,还要注意冷却水通道的位置选择和间距是否恰当,防止模具冷却加热不均匀,随之带来膨胀与收缩不均匀,从而引起内应力。为了使塑件能顺利脱模,必须设计一定的脱模斜度(一般最小为 0.5°),设计脱模斜度还可以减小塑件对型芯的磨损。

综上所述,模具结构设计合理是延长模具使用寿命的基本保证。

(二)塑料模具材料的选择

模具用钢的性能与其寿命有非常直接的关系,塑模零件由于其工作条件不同。受力情况也不相同,对钢材性能除了一些基本要求外,还要有所侧重。例如大型塑模具型腔用钢材,要求具有难燃、耐磨、耐蚀、易抛光、强度高、硬度高、淬透性好等特点。国外研制的 3Ni—Cu—Al 钢(C0.5%、Ni0.3%、Mo0.3%、Cu1%、Al1%),其表面粗糙度很低。如果抛光性能差,就很难达到塑料模具型腔表面粗糙度 $Ra0.100\mu\text{m}$ 以下。塑料模具成型零件壳体表面光洁程度高,既为了成型塑件表面光亮美观,且又是为了降低型腔表面对物料流动的阻力,还可减小物料对型腔磨损,也是延长模具使用寿命的一项措施。

我国模具常用钢材见表 3-1。

表 3-1

塑料模具零件常用钢材

模具零件名称	选择材料	热处理后硬度	备注
定模固定板	20 钢 30 钢	HRC20~35	R. N. H
定模板		HRC28~35	N. A. H
动模板			
脱模板		HRC20~35	R. N. H
垫板			
推出底板			
推杆固定板			
动模固定板			
型腔及型芯等	1. 9Mn ₂ V, CrWMn, 9CrSi, Cr12	HRC≥55	H
	2. 3Cr ₂ W8V	HRC≥46	H
	3. T8A, T 10A (主要用于小型模具)	HRC≥55	H
	4. 45 钢 45Mn ₂ , 40MnB 40Mn, VB	HBS≥240	Q
	5. 球墨铸铁	HBS≥200	N. A
	6. 铸造铝合金	HBS≥160	
	7. 10, 15, 20 钢		R(冷挤压)
定位圈	45 钢	HRC30~35	R. N. A
主流道衬套	45 钢	HRC30~40 始端 R 球面 HRC55	N. H
导柱(或斜导柱)	45 钢、碳素钢(T8A, T 10A)	HRC55~55	H
导柱套	铸铁、铜	硬度低	无
拉料杆	45 钢	HRC55	H
推杆	45 钢	HRC55	H
推出管	45 钢	HRC55	H
推板导柱	45 钢	HRC55	H
回程杆	45 钢	HRC55	
模脚	20 钢 30 钢	HRC20~30	R. N. H
锁紧楔形块	45 钢	HRC55	H
限位钉	45 钢	HRC55	H

注: R—锻造; A—退火; H—淬火、回火; N—正火; Q—调质。

表 3-2 为美国有关行业塑料模具专用钢材, 可供参考。

表 3-2

美国塑料模具专用钢材

类 型	美国钢铁 学会规定 的符号	C	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	V	Co	Ti	W	S	Al
		碳	锰	硅	铬	镍	钼	钒	钴	钛	钨	硫	铝
%													
渗 碳	P ₆	0.1	0.5		1.50	3.50							
油淬硬	01	0.9	1.00		0.5						0.50		
预硬化	P ₂₀	0.30	0.90	0.50	1.6		0.25	可得高光洁度					
空气淬硬	S ₇	0.50	0.70	0.25	3.25		1.40						
空气淬硬	H ₁₃	0.40	0.40	1.10	5.00		1.35	1.10					
空气淬硬	A ₂	1.00	0.70	0.30	5.25		1.15	0.30					
空气淬硬	D ₂	1.55			11.5		0.80	0.90					
预硬化	4240	0.40	0.90	0.30	1.00		0.20						
预硬化	4145	0.45	0.90	0.30	1.00		0.20					0.08	
不锈钢	414 型	0.03	1.00	1.00	12.00	2.00							
不锈钢	420 型	0.35	0.40	1.00	13.00								
不锈钢	440 型	1.05	1.00	1.00	17.00		0.75						
马氏体时效处理	250	0.02	0.10	0.10		18.3	5.00		8.00	0.40			0.10
马氏体时效处理	300	0.02	0.10	0.10		1.83	5.00		9.00	0.65			0.10

总之,塑料模具材料选择是否适当,对提高模具使用寿命也是直接相关的。

(三)塑料模具材料的热处理

塑料模具的热处理在得到模具所要求的性能和顺利生产塑件方面都占有重要地位。

塑料模具钢的热处理(退火、淬火和回火)所得到的硬度固然会延长塑料模具的使用寿命,但是,热处理后的塑料模具常常会产生变形,而且有开裂的危险。

残余应力也会引起变形。钢材在经受磨削、弯曲和切削作业后,应力很高,因此必须清除由这些作业而产生的应力,否则在热处理时会发生变形。

变形的其他原因是由于热处理过程中加热速度太快。一般说加热速度应足够慢,以便使模具各部分的温度趋于一致。加热速度快时,薄截面比原截面膨胀得快,这将在模具的连接处产生应力,如果这种应力大于钢材的屈服强度,就会使模具变形。另外加热速度快时,薄截面仍然在膨胀中,这样也会引起变形。

1 塑料模具常用钢材的热处理

(1)渗碳钢

渗碳钢的含碳量一般低于 0.3%,主要用于工作时既需要表面耐磨,又需要心部韧性

较好,即能承受强烈冲击的零件。如模具上的导向件、汽车上的变速齿轮、内燃机上的活塞销等。

常用的渗碳钢为 15 钢、20 钢。其热处理规范如图 3-1 所示。

零件渗碳后,表面层为过共析钢,由于冷却缓慢,渗碳体沿晶界析出,成为网状组织,因而较脆,而心部在高温下长期停留、奥氏体晶粒长大,冷却后形成的珠光体和铁素体组织的性能也不好。因此渗碳后最好能进行一次正火,以细化心部组织和消除表面的网状渗碳体。然后进行淬火,根据表面为过共析钢,因此淬火温度选 780℃ 左右,淬火后立即进行低温回火。

最后表面层组织为回火马氏体加渗碳体,硬度 $HRC > 60$ 。而中心仍具有高的韧性。

渗碳零件的工艺过程为:

下料→锻造→正火→粗、精加工→渗碳→淬火和回火→精磨。

零件上不需渗碳的表面可以在渗碳前镀铜或预先放加工余量,渗碳后经切削加工除去,再进行淬火处理。

低碳钢的缺点在于心部力学性能太低。强度要求较高的零件应采取用合金渗碳钢,如 20Cr, 20CrMnTi、20Mn2B、20MnVB 等。

(2) 调质钢

调质钢属于中碳钢或中碳合金钢,其热处理为调质,即淬火后进行高温回火,也可在调质后进行表面淬火,以获得不但具有高强度及高韧性的的心部组织,而且具有较高的硬度和耐磨性的表面组织。各种机器和模具中有相当一部分重要零件是采用调质钢制成的,例如机床中的齿轮和轴,发动机中的曲轴和连杆,注射机中的料筒和螺杆,模具中的模板、推出板以及型腔等。

实践证明,由于模具在工作时冲击力不是很大,为了充分利用材料的性能,可以将中碳钢和中碳合金钢在淬火后进行中温回火,这时其强度和硬度都高于调质状态,而塑性稍有降低。

碳素钢中常用的调质钢为 40、45 钢,其热处理规范如图 3-2 所示。

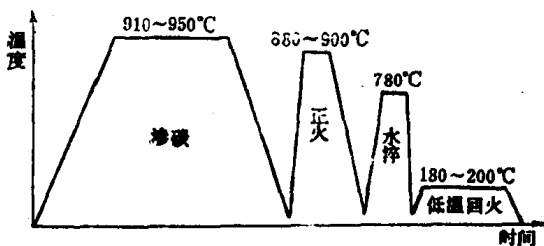


图 3-1 低碳钢渗碳热处理规范

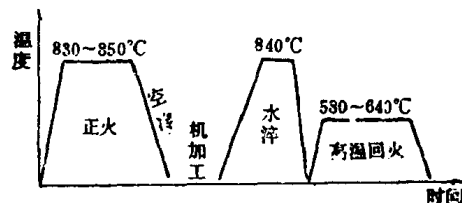


图 3-2 中碳钢的调质、热处理规范

调质钢的加工工艺过程如下:

下料→锻造→正火→粗加工→调质→精加工→表面淬火→低温回火→精磨。

正火的目的在于改善热加工后的组织,零件状态复杂时可用退火代替正火。调质后的组织为回火索氏体,性能为: $\sigma_b = 700 \sim 850 \text{MPa}$, $\delta > 16\%$, $HK \leq 235$,如希望增加表面耐磨性,则可以进行表面淬火和低温回火,使表面层硬度达到 $HRC50$ 左右。

中碳钢的缺点为强度较低,而且淬透性差,水淬只能淬透 18mm 以下。因此截面较大

的零件,宜用合金钢,其中常用的有 40Cr、45Mn2、40MnB 和 40MnVB 等。

38CrMoAlA 也属于调质钢,它是著名的氮化钢,挤出机中的料筒和螺杆,大多采用此钢种,其成分为: C 0.35%~0.42%, Cr 0.65%~1.35%, Mo 0.3%~0.5%, Al 0.7%~1.1%。

螺杆和料筒的加工工艺过程大致如下:

锻造→退火→粗加工→调质→半精加工→去应力退火→精加工→氮化→精磨或抛光。

调质的规范为在 930~950℃下淬火,然后在 600~670℃下回火。调质后的力学性能为: $\sigma_b \geq 1000\text{MPa}$, $\sigma_a \geq 800\text{MPa}$, $\delta \geq 15\%$, 硬度 HBS ≤ 286 。

氮化温度为 560~580℃,保温 60h 以上,由于氮化层只有 0.5mm 左右,所以氮化以后只作最后的精磨和抛光即可。氮化层具有极高的硬度,其值为 HRC65~72,因此耐磨性极高。

(3) 弹簧钢

对弹簧钢的要求是具有高的强度和足够的塑性,因此弹簧钢的含碳量高于调质钢,通常在 0.5%~0.7%左右。比较重要的大截面的弹簧,还应加入合金元素,以增加其强度和淬透性。弹簧钢主要分两类:

①冷成型弹簧:钢丝直径小于 10mm 的弹簧,可用冷卷成型,这种弹簧常用 65、65Mn 等钢丝制作,这种钢丝在出厂时已经经过热处理和冷拉,具有极高的强度,在市场上购回后,只需冷卷成型后 250~300℃条件下保温半小时,作去应力处理后就即可应用,不必再淬火,以免其弹性降低。

②热成型弹簧:钢丝直径大于 10mm 的弹簧采用热成型,热成型后利用余热立即淬火,然后进行中温回火,以获得回火托氏体组织,这可以使弹簧在消除内应力的情况下具有最高的弹性,热成型弹簧大多采用合金钢,如 60Si2Mn、50CrVA 等。

(4) 碳素工具钢

碳素工具钢的热处理规范为:

①球化退火:加热至 760~780℃,保温后冷至 700℃,再保温 3h 以上,就可缓冷至 500℃下出炉。球化退火后的组织为粒状渗碳体,硬度 HBS ≤ 217 ,比片状渗碳体的硬度低,而且韧性也较好,不但易于切削加工,也可减小淬火变形和开裂倾向。如原组织中有网状渗碳体存在,则应预先进行一次正火。

②淬火和回火:淬火温度为 780℃,低温回火温度为 180~200℃,回火后组织为回火马氏体加渗碳体,硬度 HRC > 62 。

碳素工具钢的优点为成本低廉,来源丰富,淬火后有高硬度。缺点为淬透性差,油淬只能淬透 5~7mm,而且热硬性差,在 250℃以上硬度就开始下降。

对于塑料模具来说,在大多数情况下,热硬性的矛盾不突出,主要矛盾在淬透性小,因此不宜用于较大的零件。小型芯、浇口套、导向零件等可选用 T8A、T10A,硬度有 HRC55 就可以了。

(5) 合金工具钢

形状复杂,要求较高或大型的型腔和型芯可采用合金工具钢。

①9Mn2V:成分是 C 0.85%~0.95%, Mn 1.7%~2.0%, V 0.1%~0.25%。由于含锰

较多,因此增加了钢的淬透性,油冷可淬透 30mm 的直径,并且由于有钒的存在,克服了锰易使奥氏体晶粒长大的缺点。此外,该钢不含铬,比较适合我国资源情况。

9Mn2V 的淬火温度为 780~870℃,回火温度为 170℃,最后硬度为 HRC60~62。

②CrWMn:成分是 C0.9%~1.05%,Cr0.9%~1.2%,W1.2%~1.6%,Mn0.8%~1.1%。

由于同时有锰和铬,因此进一步增加了淬透性并减小了淬火变形,油冷可淬透 50mm 的直径。同时由于有钨,因此热硬性可提高至 350℃,CrWMn 可用来制作形状复杂,精度要求高的型腔和型芯(精密塑模)。

CrWMn 的热处理规范为:淬火温度 820~850℃,回火温度 160~200℃,最后硬度为 61~62HRC。

此外,和 CrWMn 性能近似的有 9CrSi,也可以用于制作模具型腔和型芯。

2 热处理变形

工件的热处理变形是指体积变化和扭曲,以尺寸变化和几何形状改变的形式出现。

(1) 体积的变化

体积变化主要是由于相变时比体积的变化引起的。对钢进行热处理时所形成的各种组织,首先取决于钢的成分,也取决于温度。各种组织具有不同的比体积,即在相同的重量下,它们各具有不同的体积,从而引起体积的变化。钢中含碳量愈多,则不同组织的比体积差异愈大。根据古里亚耶夫的研究证实,碳素钢含碳量每增加 0.1%,则完全淬透成马氏体时,可使体积增大 0.1%。碳素工具钢在经淬火完全成马氏体时,可使体积增加 1%左右。同一成分的钢在不同条件下所得到的组织,以马氏体的比体积最大,奥氏体的比体积最小。

碳素钢淬火加热温度对体积变化也有影响,我们必须严格遵照不同钢种所需不同的淬火加热温度进行热处理。

(2) 几何形状的变化

热处理产生的第二类变形是几何形状的变化。产生几何形状变形的条件是:

①工件在淬火、加热和冷却过程中的不等时造成的温差,因温差而产生的热应力及由相变产生的组织应力。

②热应力和组织应力超过了该材料的拉伸屈服点和压缩屈服点时,就产生塑性变形。

影响上述条件的因素有钢的化学成分,原始状态,淬火加热温度、保温时间、冷却方式、工件的几何形状等。引起工件扭曲的因素繁多,但归根结底是诸因素产生的热应力和组织应力及抵抗塑性变形的能力。

塑料模具钢一般含碳量不高,热应力造成的变形趋向好象一个真空中受内压力的容器,使工件的外形呈球状的趋势,长度缩短,直径胀大。组织应力造成的变形好象一个真空容器,工件的外形趋向于凹形圆柱体,长度加长,直径缩小。而含碳量较高的碳素工具钢并不完全遵循这一规律。从表 3-3 的数据可以看出,尺寸较小的试样,淬火以后,可以全部淬透为马氏体。虽然以组织应力为主,但因碳素工具钢体积胀大量较多,所以长圆柱体的长度和直径都增加。对于尺寸较大的试样,因淬硬层较浅,不能全部淬透,热应力的作用超过组织应力的作用,长度缩小,而直径胀大。

表 3-3

碳素工具钢淬火后的变形情况

试样尺寸/mm	淬火温度/°C	淬火介质(10%)	变形量/mm	
			长度	直径
Φ5×15	780	食盐水溶液	+0.25	+0.20
Φ5×20			+0.27	+0.15
Φ5×25			+0.30	+0.18
Φ35×100			-0.03	+0.34
Φ40×100			-0.02	+0.35

(3) 凹模的淬火变形

上述是在理想情况下的变形规律。然而在实际生产中常常由于尺寸的大小,几何形状的变化及淬火过程中的种种因素,而使模具热处理后的变形复杂化。现以几何形状相似,有效厚度、外轮廓尺寸相同,内口尺寸不同的两种凹模为例,以碳素工具钢材料加以试验如下:

① 淬火工艺:淬火温度为 780°C,在箱式电炉内加热,淬火介质为 10% 食盐溶液和油双液淬火。

② 淬火结果:如图 3-3 所示凹模 Rc62、内口 70mm 尺寸胀大 0.1mm,图 3-4 凹模 Rc60,内口 40mm,尺寸缩小 0.12mm。

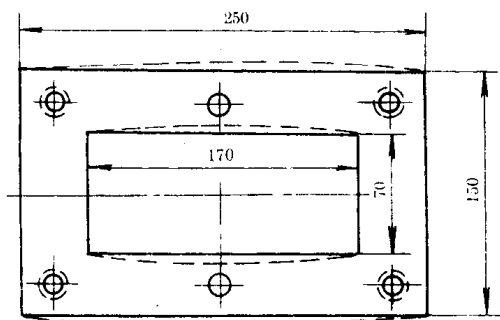


图 3-3 凹模淬火变形

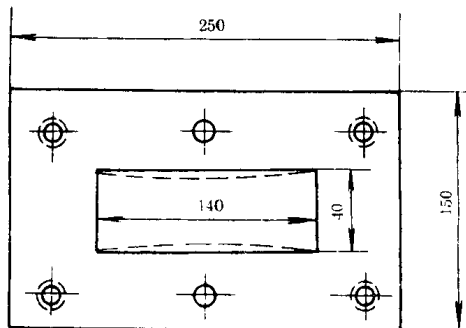


图 3-4 凹模淬火变形

③ 结果分析:如图 3-4 所示凹模在淬火冷却过程中,既有相变引起的比容变化,又伴随有相变而产生的组织应力,还有冷却过程中因温度梯度而造成的热应力。由于凹模的有效厚度尺寸较大,淬硬层较浅,而碳素工具钢 Ms 点较低,屈服极限较高,所以,热应力的作用超过了组织应力的作用,在凹模内口尺寸较小的情况下,具有一定的抵抗因应力造成扭曲的能力。那么,在变形过程中,只体现凹模侧壁的胀大,即凹模内口趋于收缩。

如图 3-3 所示凹模淬火后,仍然是热应力的作用超过了组织应力的作用。故凹模的两长壁有向宽度胀大,长度缩短的趋势。然而,凹模内口尺寸较大,不仅没有抵抗因应力造成扭曲的能力,同时两长壁的端部受方向向内的拉力,变形的结果内口胀大。

这一实例对大型塑料注射模可能没有参考价值,但对采用高碳钢制造的小型精密注射模就有参考价值,特别是热处理凹模对可能发生的变形情况,在设计精密注射模具时决不可忽视。

3 减小热处理变形的措施

塑料模具如何减小热处理后的变形及开裂问题,乃是众所关注的大问题,如果能够使塑料模具成型零部件热处理后不变形(或小变形),同时又可获得较高的硬度,增加其耐磨性,这一问题也就可迎刃而解了。今就此问题提出一点粗浅的看法供读者参考。

(1)碳钢(包括低碳钢和高碳钢)在热处理时,必须采用慢加热。如图 3-5 所示为慢加热的优点。慢加热时,合成的应力低于模具的屈服强度,因而不会发生变形。快加热时,合成应力大于屈服强度,所以模具会发生变形。如果合成应力超过钢材的破裂强度,便导致模具破裂。

(2)要避免应力占优势和不让应力超过钢材的总强度,如果设计恰当能大大减少塑料模具的失效。应力主要来自两个方面:

①模具在制造过程中所形成的残余应力。这类应力可能是由于机械加工应力、尖角、有不利影响的磨削、电火花加工、过量抛光或不适当的热处理造成的。

②模具在生产塑件的过程中所产生的应力。例如注射或压缩力、锁模力、不均衡的载荷以及一个周期中所发生的热应力等。

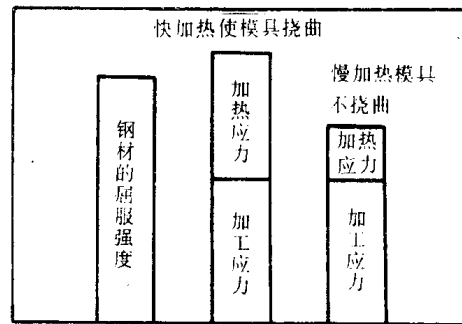


图 3-5 慢加热的优点

塑料模具成型零部件在机加工时,必定切除大量的金属,因此应该使模具粗加工达到最终尺寸的 $9/8 \sim 5/4$,并消除其残余应力。这时必须把加工零件加热到 $675 \sim 705^{\circ}\text{C}$,在此温度下保持的时间(h)应和工件最大厚度尺寸(英寸in)数一样大。例如:一个 25.4cm (10in)厚的模具应该在消除应力的温度下保持 10h,冷却到室温后,可以进行精加工,允许材料在随后的热处理中发生所预期的尺寸变化。

(3)严格退火工艺,对于用不同材料制做的形状复杂或孔距要求严格的模具,必须采用不同温度退火,应按照不同钢材的退火温度规定进行,使退火后的钢材内部珠光体成均匀细粒状组织。

(4)塑料模具成型零部件机加工完毕后,在淬火前要进行一次 780°C 的正火处理,以便清除应力,同时细化组织。

(5)用石棉绳堵塞硬度要求不高的螺钉孔和销钉孔,对几何形状复杂和不对称的截面且厚薄悬殊,冷却速度快的部位要用石棉绳或铁皮包扎。

(6)为减小温差以达到减小热应力的目的,淬火前应预冷,预冷温度视淬火介质而定。如水淬火预冷温度为 750°C ,碱淬火预冷温度稍高点。

4. 电镀

目前我国没有专用的塑模钢,在此情况下,大多数采用 45 钢。有的塑模型腔形状复杂,无法用热处理的方法提高型腔表面硬度,以获得要求的耐磨性,这时可以采取对型腔表面镀铬或镀镍的办法,以提高型腔表面的硬度,硬度可提高到 HRC60 以上,而且表面粗糙度也很低。通常电镀层较浅,厚度范围为 0.0001~0.050mm 时,用电镀方法能成功地修补磨损量已超过规定尺寸的模具,此外镀铬或镀镍表面的抛光性也好,能起到良好的脱模剂的作用。但是电镀也有不足之处,镀铬或镍不能填补麻坑或抛光的缺陷。事实上,它们反倒使模具型腔表面的缺陷放大了约 10 倍,这是因为电镀速度很慢,使电镀液有时间电解分离出氢和金属,而来自裂缝或麻坑的氢气泡阻止了金属在这里沉积。解决这一问题的办法是:①应尽量降低电镀模具型腔表面的粗糙度;②电镀后模具应在 177~205℃ 下烘干,以除去氢。对电镀酸洗后的或经受严荷应变的模具也应该进行烘烤。

采用电镀措施延长塑料模具的使用寿命应根据当地和自己工厂电镀技术高低而定,如果电镀层牢度差,绝对不能采用此措施。

5 锻造和冷挤压

(1) 锻造

用锻造方法生产的毛坯称为锻件。所谓锻造就是利用冲击力或压力使金属在两个抵铁或锻模中产生塑性变形,从而获得所需形状坯料的方法。因此锻造的实质是利用金属的塑性。所谓塑性,也就是金属在固态下的流动性,自然不及在液态下的流动性,因此要使金属产生塑性变形就必须施加很大的外力,同时又难以获得复杂形状的模具型腔。但在金属塑性变形过程中,在温度和压力的作用下,能改善金属的组织。例如塑料模具的几块板(塑料模定模固定板、型芯固定板、型腔固定板、垫板、动模板等)在机加工前都需锻造,锻造的优点有:①减少机加工的切削量;②锻造能改善金属的内部组织,使金属粗晶细化、疏松的组织紧密,因此使金属的力学性能得以提高。

(2) 冷挤压

塑料模具的型腔也可采用冷挤压方法成型,冷挤压成型是在室温条件下,利用装在专用压力机上的冲头——凸模,以很大的压力(挤压钢时可达 2000MPa 以上)挤入模坯,使模坯产生塑性变形,从而形成和冲头的形状及大小一致的凹穴,再经适当的切削加工修整,就成为所需的型腔。

型腔冷挤压工艺具有以下优点:

①由于凸模的加工比凹模方便,所以冷挤压可制造难以用机械加工方法加工的复杂型腔,并且提高了生产效率。

②精度很高,可达 IT8 或更高,表面粗糙度很低,可达 Ra0.20~0.10 μ m,具体由凸模精度和表面粗糙度来决定。

③冷挤可使模坯的金属组织细化和更为紧密,金属的强度、硬度、耐磨性等都有所提高。

综上所述,锻造和冷挤压不仅可以缩短模制周期,而且更重要的是能提高金属的力学强度,减小模具变形,延长塑模使用寿命。

二 塑料模具型腔表面硬化处理的方法

模具型腔表面硬化处理仅只改变表层的成分、组织、性能,就可使模具型腔表面具有耐磨、耐蚀、耐热、抗咬合、低摩擦系数等特殊性能,从而数倍、几十倍甚至成百倍地提高其使用寿命。

应用表面硬化工艺提高模具使用寿命是目前一个重要的发展方向。这种工艺在生产中已获得卓有成效的应用。

(一) 模具对型腔表面硬化特性要求

模具对型腔表面硬化特性有如下要求:①耐粘焊;②耐冲击;③耐剥落;④耐变形裂纹;⑤耐崩刃;⑥耐磨损;⑦耐腐蚀。此外,特别对塑料模具还要求具有高的抗热疲劳和抗热磨损性能。

为了达到上述性能要求,模具表面必须获得有与基体接近的膨胀系数,结合强度高,扩散层厚的韧性强化层。目前无论何种强化工艺,都不可能同时具备上述性能。因此,要根据模具的使用条件和生产批量等合理选用。

(二) 模具型腔表面硬化处理的方法

表面硬化工艺,从古老的渗碳法的发现到现代的真空气离子轰击和激光表面强化技术等,五花八门不下五十余种,可以按处理目的、表面层浸渗扩散的物质、基体的温度、被复层厚度的不同,主要的分为如下几种:

- (1)扩散法:氮化、软氮化、渗硼、渗硫、渗碳、渗硅、渗铅、渗铬、渗碳化物等。
- (2)化学沉积:碳化物、氮化物、氧化物、金属。
- (3)物理沉积:碳化物、氮化物、氧化物、Cr、Ni—P。
- (4)喷镀:Mo、Ni—Al、Ni—Al—B—Si、碳化物、氧化物。
- (5)堆焊:工具钢、硬质合金、钢结硬质合金等离子堆焊。
- (6)电火花强化(WC)。

(三) 表面强化工艺特点及其应用

目前,在塑料压制模具上,镀铬、软氮化、CVD的TiC涂覆及TD法是主要的表面强化工艺。在部分模具上应用了碳氮共渗、渗硼、Ni—P镀层、电火花强化、堆焊(以修为主)、离子氮化工艺。真空气离子深覆、激光表面硬化是发展中的最新工艺。

下面对有代表性的表面强化工艺的特点及其应用作一简介,供读者参考。

1 渗硼

模具型腔表面渗硼的主要目的是获得高硬度、高耐磨性的表面,并延长其使用寿命。钢的渗硼有固体、液体、电解、气体等多种渗硼方法。

渗硼层的特性:渗硼是在900℃以上的高温下进行。渗层为Fe₂B(含B8.83%、1200~1500HV)及FeB(含B16.23%、1800~2200HV)组织。耐热性可达到800℃,渗硼层中由于FeB、Fe₂B与其体有不同的膨胀系数,因此有在大的残余应力。包括由FeB引起拉应力和由Fe₂B引起压应力,在FeB的齿形区易出现毛发状裂纹,使用中易引起剥落。

渗硼要求:渗硼要有较高硬度的基本材料,基本材料较软时,易引起压塌和剥落。含Si

和 Al 大于 0.5% 的材料,在过渡区易出现铁素体,产生软带,不宜作渗硼材料。对于塑料模具用的碳钢,渗硼性能优于合金钢,45 钢则又优于高碳钢。

由于渗硼层有较大的膨胀系数($14 \times 10^{-6} \text{K}^{-1}$),因此渗后热处理中的崩裂问题,必须十分注意、当硼化层厚度达 $150 \mu\text{m}$ 时,不允许重新加热淬火,要采取调质处理,以免产生硼化层裂纹。

渗硼层在中性盐浴中奥氏体化时,易出现腐蚀碎裂现象,这时要用真空处理或在新的中性盐浴中处理。国外最近应用了 EKabor 2[#] 和 EKabor 3[#] 药剂,在此药剂浴中保温后,不需要重新加热淬火就可以获得一定深度的渗硼层,而且成本低廉。

X38CrMoV₅₁ (38Cr5MoV-1.2343) 在 EKabor2 中 1050℃ 奥氏体化 20min 后可形成 $30 \mu\text{m}$ 的硼化层。而模具在 950℃ 作一般渗硼处理 6h,层深只有 $40 \sim 50 \mu\text{m}$ 。5CrMnMo 可塑性模具用钢在上述药性浴中处理后可获得 $115 \mu\text{m}$ 的硬化层,模具使用寿命提高 30 倍。

2 软氮化和离子氮化

软氮化和离子氮化,由于可以在热模具钢的回火温度范围内进行,因此,具有可以低温处理、变形小等特点。氮化层具有优良的耐磨、抗咬合和疲劳性能。在回火到 $500 \sim 550 \text{C}$ 时,表面硬化层几乎不变化,具有一定的耐热性,实际上也有在 $800 \sim 850 \text{C}$ 下应用的例子。

在 $540 \sim 570 \text{C}$ 下进行软氮化、离子氮化等低温氮化处理,保持 $1 \sim 20 \text{h}$ 后,如采用 SKD61 等模具材料,可获得 $5 \sim 20 \mu\text{m}$ 的化合物层, $0.07 \sim 0.3 \text{mm}$ 的扩散层。化合物层组织为 $(\epsilon\text{-Fe-3N})$, $r\text{-Fe}_4\text{N}$ 扩散层为氮在铁素体中的固溶体。高合金钢氮化层硬度可达 $900 \sim 1200 \text{HV}$ 。但对热模具来说,由于白亮层硬而脆,并存在有显微裂纹,因此,必须予以清除。德国金属试验联邦协会曾对气体、液体离子氮化的特性进行了干式和湿式的耐磨性试验,并对比了消除与不消除白亮层的耐磨性。

3 PVD 法的应用

PVD 法是用真空放电的物理涂覆方法。有溅射、蒸着、离子涂覆等三种基本形式。

蒸着(非等离子作媒介):包括一般蒸着,反应性、电场、反应性电场、气体散乱、离子枪蒸着等。

离子涂覆(等离子作媒介):包括离子涂覆、反应性离子、低压及反应性离子、HCD 法、反应性 HCD 法、ARE 法、LPPD 法、离子氮化、高频离子、多极离子、气体散乱离子涂覆等。

溅射(等离子作媒介):包括溅射、反应性、RF、反应性 RF、低温溅射、空心阴极电子枪溅射、高速离子枪、液相溅射等。

目前,发展最为引人注目的是活性反应法。我国近几年试验成功离子涂覆装置。

最近,导入活性气体(C_2H_2 、 NH_3 、 N_2 等)以进行化合物离子涂覆的方法十分盛行。技术发展十分迅速。

PVD 法和 CVD 法比较,具有如下特点:

- (1)可在低温下形成化合物。
- (2)涂覆堆积速度为 CVD 法的 $10 \sim 100$ 倍。
- (3)无公害。

对于冷作模具 PVD 法,特别是活性化离子反应涂覆法,可在模具表面形成密着性好、

硬度高、耐腐蚀性好的表面层,将模具寿命提高几十倍。而对于热作模具,由于PVD法的涂层较浅,而且脆性较高、TiC等涂层由于高温分解、耐热性低,不适于对热作模具进行涂覆,只有铬碳化物的涂覆在热作模具的应用上可望得到一定的发展。

4 硬镀工艺(涂层)

硬镀工艺是一门较新的工艺,即在塑料模具型腔工作表面镀上平滑而薄的镍和碳化硅复合涂层。

这一新工艺在德国早已应用于塑料注射模和其它冲模、铸造模、纺织导辊等,该工艺也适用于工具。硬镀不需要高温(最高300℃)即可进行,这时减小模具型腔硬镀时的变形大有好处。而且不管型腔几何形状怎样复杂,即使是尖角、深槽和直径小于0.015mm的顶杆孔,也都能精密地控制其规定的涂覆厚度。另外,如果有必要改进模具的外形时,还可以将涂层除掉,或者加以修改,或者重镀,但模具的基材并无损害。

该涂层与模具常用钢材粘接良好,与铜铍合金和铝粘接很好,但与锌的粘接尚未试验成功。镍—碳涂层是采用化学的浸沐方法,勿需用电,因此涂层厚度均匀地覆盖在模具型腔的各个部位。通常模具采用的涂层厚度为0.0018mm时,该工艺可以严格精密地控制厚度(厚度公差可保持±10%)。碳化硅粒子(直径1~3μm)与镍合金基材一起被沉积,涂层含碳化硅粒子的体积为涂层体积的20%~30%。

硬镀工艺(即镍—碳涂层)的表面硬度为HRC78~80。表3-4是它与其它材料的硬度比较。

表 3-4 表面 硬 度

材 料	HRC 硬度	材 料	HRC 硬度
预硬化钢	30~35	氮化	68~70
空气硬化工具钢	56~60	硬铬	68~70
镍—碳	78~80		

从上表可以看出硬镀工艺可以得到很高的硬度。这一涂层也很耐磨,表3-5为模拟试验磨损情况的比较。该试验机选择Taber磨蚀试验机。这个试验机由两个粘有碳化硅磨料的橡胶轮子组成,轮子在9.8N的负荷下进行旋转,从而在试验钢板上产生了磨损痕迹。测定钢板重量的损耗,以此作为Taber磨损指数。磨损指数愈低耐磨性愈好。试验时不加滑剂。

表 3-5 Tdber 磨蚀试验比较 (Tdber 磨蚀机 503 型)

材 料	Tdber 磨蚀指数(重量损耗/mg·kH ⁻¹ z)
硬阳极氧化处理	2
硬 铬	3
硬质合金 C-9 级(C 碳化钨 88% 钴 12%)	1.7
镍—碳化硅(涂层)	1.7

我国很少用该工艺,但该工艺从提高模具型腔表面硬度,增加耐磨性方面来看,对塑料模具使用寿命的延长是大有好处的,应该大力推广使用。

三 模具使用应采取的措施

(一) 模具使用时的保养措施

(1) 模具使用时除了要求操作人员按照操作规程操作外,还必须经常对模具易磨损部位(型腔例外)施加润滑油、以减少磨擦,防止有的零件磨蚀而损坏,特别是对塑料模具的合模导向机构和脱模机构等,因这些零件都是动配合(间隙配合),彼此相对运动,如果不施以润滑剂,零件磨损会很严重,若又不及时采取修复措施,会使它们起不到应起的作用,以至损坏模具,甚至使模具报废,造成无法修复的后果。

(2) 模具使用时使型腔不损坏和少磨损是十分重要的,防止措施可以从以下几方面入手:

① 使用模具时应向型腔内喷离型剂。喷离型剂一方面有利于塑件脱模,另一方面也可以减小塑件与型腔、型芯之间的磨擦,离型剂可以起到润滑剂作用,这样可以保护模具的成型零部件的磨蚀,同时也就延长了模具的使用寿命。

② 如果在注塑时发现塑件留模(即用脱模机构也无法使塑件脱出模外)现象和浇注系统凝料把留模等现象时,应用紫钢棒往下敲打,绝对不准用螺丝刀等硬度很高的工具敲打凝料把和塑件,以免碰伤模具的型腔及浇注系统。更不能用喷灯和气焊嘴烧烤,否则型腔受到高温后会发生变形,对有尺寸精度要求的塑件,更要防止使用此办法。因为这样做会使模具报废。

③ 模具使用时如发现注不满模腔,若模具设计合理和模温满足工艺要求的话,就需要调节其它工艺条件,特别是需要调节注射压力,调压力应从较低的值开始逐步增加,直到能注满型腔为止。如果开始注射压力很高,不仅对塑件质量有一定的影响,更重要的是使模具发生永久性变形(这是指在设计时安全系数偏低的情况),大大缩短模具的使用寿命,甚至造成模具损坏,使模具不能正常工作。

(二) 模具型腔磨损后的修复措施

在设计塑料注射模具时,虽然取了很多延长模具使用寿命的措施,但是,塑料熔体几十万次,甚至上百万次地冲蚀模具型腔,再加上注射件设计人员往往采用填料树脂来获得性能良好的塑料制品,会使模具受到很大的磨损变形,对于那些生产批量大或公差要求严格的制品而言,这一问题常常表现得较为明显。磨蚀性的塑料使模具的细微部分被冲掉,最后导致制品超差,塑料模具不能继续使用。众所周知,塑料注射模具价格昂贵,一付模具少则几百元,贵则几十万元,所以不能发现模具磨损不能使用就扔掉,而应采取修复措施。修复塑料模具成型零部件的磨损可有以下措施:

1 在注射成型机上修理注射模具的方法

这种工艺可以使模具留在注射成型机上进行修复,能减少停机时间。这就是高速选择电镀工艺。这一工艺选择电镀装置不像常用的电镀,要求安装在移动的小工作台上。而且,此工艺不需要受过专门训练的电镀工人操作。但要求所有的化学溶液符合国家规定的材料安全要求。此工艺沉积金属不单对镀铬和非电镀镍的模腔适用,而且对所有各类钢、铝和铍铜模具都具有很好的粘结性。

高速选择电镀操作工艺简单,像电弧焊一样,从直流电源部分引出的负极固定到模具上,从电源部分引出的正极插入含有高纯石墨的塑料夹上,用吸收性材料缠绕正极。当缠绕的正极被浸泡在装有电镀溶液的小盘中时,溶液被缠绕材料吸收,手握工具就成为电镀槽,当移动工具通过模具的磨损表面时,它就快速沉积金属。与其它方法相比,电镀不产生高温、因此没有变形、裂纹和金属疲劳等问题发生。

直流电源部分装有数字安培——小时计,能精密控制金属沉积的厚度。表 3-6 概括了在注射模具上成功应用高速选择电镀工艺的情况。

表 3-6 选择电镀工艺在塑料注射模具上应用

应用	沉积金属	覆盖金属	说明
模腔损坏	镍或铜	半透明镍,镍——钨或铬	常用镍修理注射模型腔。铜可用于低压成型
排除溢料(浇口表面或分型面)			半透明镍仅用于分型面。
防止腐蚀,成型 PVC 模具,库存水冷却的模具	金、镍	镍——铝	耐盐酸,防止钢模生锈在水通道和垫板方面有效
修复芯销和芯套	镍或钴	镍——铝	修复到原有尺寸,不要后加工
液压缸修理	铜	半透明镍	不需要剥离镀铬层
修复轴			
轴承配合尺寸	镍或钴	锡或锌	修配

2 硬镀工艺(涂层)

涂层厚度推荐值为 0.0015~0.0018mm 时使用该工艺,具体硬镀工艺参见本章第二节。

塑料模具已磨损需要用此工艺修复时,在未涂层之前,将模具的型腔磨损表面重新修饰。涂层与被焊接或银焊的修理部分也能很好地粘接。

涂覆前模具的准备工作如下:

(1)确定有关键尺寸的模具区域,必须使它们加大到推荐的镀层厚度,这意味着任何被涂覆的孔必须加大 3.6×10^{-3} mm,同时必须了解清楚模具的哪些部分不涂覆。

(2)模具涂覆之前,必须明确模具表面粗糙度的要求。如果模具要求镜明,在涂覆之前模具也必须是镜面,这时需要对模具表面进行抛光。

(3)只送模具上那些需要涂覆的部分,不需要涂覆的模具零件不必拆下来。

(4)清洗冷却水通道,避免弄污涂层溶液。

(5)清洁型芯和型腔,清除任何注射材料的残渣,采用蒸汽喷砂或小珠喷砂处理即可。

为了更进一步清理干净模具,最好采用一种树脂和脱模剂进行清理。

(6)对模具型腔不需要涂覆的部分,应该进行掩蔽。这样可以根据需要进行涂覆。

3 塑料模的焊接修复

通常塑料模具因为破裂、磨损或有其它的损坏,需要修理时,一般采用焊接的办法。焊接也可用于改正模具设计和制造上的错误。

焊接热处理过的塑料模最通用的和推荐的方法之一是钨极惰性气体保护电弧焊接法。焊条必须与模具钢材的化学成分相匹配,这样可以得到和模具钢同样的硬度和物理性能。塑料模具的焊接程序如下:

(1)把模具加热到 420~480℃,如果温度下降,需要再加热。

(2)焊接。

(3)焊接后让其冷却至室温。

(4)再加热到 480℃,并使模具在此温度下保持若干时间,〔时间数值等于钢材的厚度(in)数〕。

(5)仍然在空气中冷却或慢慢冷却。

(6)精加工模具完成修复。

焊接后再加热是为了消除焊接时所形成的应力,同时也是为了使与焊接相邻的再硬化层回火,所以模具焊接完毕再加热很重要。

(三)模具不使用时的保管

塑料注射模具不使用时,应放在模具库房保管起来,以利再用,在向库房搬运的过程中要特别小心轻放。对大型塑料注射模具在搬运时应吊在专门设计的吊装环上,免得将模具碰坏。

模具放在库房保管前,应将模具全部涂上一层防锈甘油,特别是模具工作面和运动部分不允许生锈,否则会妨碍下次使用,如不涂防锈甘油,模具存放久了会因生锈而报废。

模具放入库房保管前,还应在模具上写上编号,从此编号可以反应出该模具适合所用注射机的型号、注射量等主要技术参数,免得下次使用时弄错和损坏模具。

模具存放和出库时需要同保管员办理手续,免得出差错不好追查和模具丢失。

第四章 塑件废疵品原因分析

一 概 述

塑料制件质量的好坏与塑件设计、成型工艺、模具设计的合理性有关。要想生产物美价廉的优质塑料制品,就必须以塑件符合设计原则为前提,然后再配合以合理的工艺和模具。塑件的废疵品大部分都是在试模过程中产生的。所以,今就试模时塑件易发生的缺陷及原因加以分析,供读者参考。

二 试 模

装模(包括预检、装模、固定、调节顶出距离、调节锁模力和通冷却水及加热等)完毕方可试模。试模过程中应注意以下问题:

(1)检查设备一切正常后才可开车。

(2)检查原料是否合格,根据原料和塑件调节加热温度,观察熔料塑化好坏和流动性如何。

(3)开始试模时,原则上选择在低压、低温和较长的时间条件下成型,然后按压力、时间、温度这样的先后顺序变动。最好不要同时变动二个或三个工艺条件,否则难以分析和判断情况。压力变化的影响,马上可以从塑件上反映出来,所以,如果制品充不满,通常首先是增加注射压力。当大幅度提高注射压力仍无显著效果时,才考虑变动时间和温度,甚至变化其它的工艺条件。延长时间实质上是使塑料在料筒内的受热时间加长,注射几次后若仍然未充满,最后才提高料筒温度。但料筒温度的升高和塑料温度达到平衡需要一定的时间一般约 15min 左右,不是马上就可以从塑件上反映出来,因此,不能一下子把料筒温度升得太高,以免塑料过热发生分解。

(4)注射成型时可选用高速和低速两种工艺。一般在塑件壁薄而面积大的情况下,采用低速注射,在高速和低速都能充满型腔的情况下,均宜采用低速注射。

(5)对高粘度和热稳定性差的塑料,采用较慢的螺杆转速和略低的背压加料及预塑,而粘度和热稳定性好的塑料可采用较快的螺杆转速和略高的背压。如果喷嘴温度适合,可采用主机固定形式,这样可以提高效率。若喷嘴温度太高,需要采用主机移动形式,每成型一个塑件,主机后退一次,喷嘴离开模具可散热,故不致使喷嘴温度过高。

(6)在试模过程中,应作详细记录,并将结果填入试模记录本上,以便以后查用。

三 在试模过程中塑件易产生的缺陷及原因

表 4-1 和表 4-2、表 4-3 为塑件或模具设计不合理易产生的缺陷及原因,供试模时参

考分析。

表 4-1

塑件设计不合理而使塑件产生的缺陷及原因

原 因 \ 缺 陷		充模不满	溢料(飞边)	凹陷(缩孔)	银丝	熔接痕不牢	气泡或气洞	裂纹	翘曲变形	表面光泽不好	烧焦	脱模困难	云状	强度不高	尺寸过小	尺寸过大
		塑 件 设 计	壁太厚			0			0						0	0
壁太薄	0					0			0							
加强筋处	0			0	0				0			0				
拐角有圆角				0		0	0							0		
拐角没圆角	0							0								
塑件没脱模斜度									0			0				
金属嵌件外边壁太薄								0	0						0	

注:0表示易发生的现象。

表 4-2

塑料工艺设计不合理而使塑件产生的缺陷及原因

原 因 \ 缺 陷		充模不满	溢料(飞边)	凹陷(缩孔)	银丝	熔接痕不牢	气泡或空洞	裂纹	翘曲变形	表面粗糙度高	烧焦	脱模困难	云状	强度不高	尺寸过小	尺寸过大
		工 艺 条 件	料筒温度过高		0	0	0		0		0		0			
料筒温度太低	0					0		0		0			0	0		0
注射压力太大			0						0		0					
注射压力太低	0			0		0	0	0							0	
模具温度太高				0					0		0				0	
模具温度太低	0					0	0	0		0		0		0		
注射速度太慢	0			0		0	0	0						0		
注射时间太长					0	0		0					0	0		
注射时间太短	0			0		0		0								0
成型周期太长			0		0			0	0				0	0	0	
加料太多			0													
加料太少	0			0		0				0				0	0	
原料含水太多				0			0							0		
塑机注射量不足	0			0	0	0										
塑机锁模力不足			0													
料筒加热不均匀	0					0			0	0				0		
冷却时间长								0		0		0		0		
保压时间短			0		0				0	0				0	0	

表 4-3

模具设计不合理造成的塑件缺陷和原因

原 因	充 模 不 满	凹 陷	熔 接 痕 不 牢	气 泡 或 空 洞	不 密 实	翘 曲 变 形	烧 焦	外 形 不 清 晰	真 空 泡	收 缩 率 过 大	应 力 集 中 引 起	波 纹 或 细 丝	表 面 疵 痕	脱 模 困 难	表 面 粗 糙 度 高	强 度 不 高	流 痕
浇口断面尺寸过小	0	0		0	0			0	0	0	0					0	
浇口断面尺寸过大						0					0	0					
浇口断面尺寸太大倒流量大		0			0			0	0	0							
小浇口位置为非冲击性浇口		0	0	0	0		0	0				0	0			0	
开模残温过高						0				0							
开模余温过低						0								0			
开模余压过大						0					0			0			
开模余负压过高						0					0			0			
流动比不够	0		0													0	
浇口数量少	0		0														
模具表面粗糙度高	0		0			0								0	0		
型腔排气不良	0	0		0													
冷却模温太低	0		0			0					0			0	0		0
冷却效果差		0				0	0	0		0							
脱模机构设计不当						0					0			0			

注:0表示易发生的现象。

现对表 4-3 有关模具设计不合理对塑件质量的影响问题,再详细说明如下:

1 从模塑周期内的压力变化情况看浇口设计的重要性

模塑周期由合模→注射充模→补料→保压→倒流或浇口冻结封闭→开模取件为一个塑件的模塑周期。模腔压力周期图详见图 4-1。

(1)充模阶段:在图上为 $0 \rightarrow t_1$ 这一段曲线,开始向型腔内充模时压力由零逐渐上升,这一阶段要求塑料快速充满型腔。能否实现这些要求,主要看浇口断面尺寸设计是否合理,如果浇口断面尺寸设计合理,则对熔料流动起到加速作用,使熔料产生摩擦热,故熔料温度不降低,粘度不变,即流动特性不变,这样才能起到快速充满型腔作用,从而避免塑件出现熔接痕不牢、内应力引起开裂、强度不高、充模时高分子高度定向引起塑件各向性能不均匀等缺陷的发生。

(2)补料阶段:充模结束后,型腔内熔料开始冷却收缩,如果再不向型腔内注射,则模腔内压力开始下降,要想使压力不下降,就必须向型腔内补料,即为补料阶段,在图 4-1 中用 $t_1 \rightarrow t_2 \rightarrow t_3$ 这段曲线表示。在充模压力的基础上继续上升到最大压力,即 $p_{\max} = 50\text{MPa}$ 。再补料一段时间,即保压阶段在图中为 $t_2 \rightarrow t_3$ 这段曲线。以后为浇口冻结封闭。在补料阶段中补料时间短,或浇口断面尺寸小,或补料时间未到浇口提前冻结封闭,这时向模腔内补料就停止,塑件由于收缩率大而引起凹陷、不密实、外形不清析、空洞、真空泡、尺寸过

小、强度不高等缺陷和废品。如果补料时间过长,即浇口断面尺寸过大,补塑时间已到,但浇口仍然未冻结封闭,这时模腔内先后进去的熔料时间间隔太长,在塑件内产生剪切作用而产生内应力,促使塑件开裂。要使塑件不发生上述缺陷,就必须设计合理的浇口断面尺寸,以便控制补料时间。

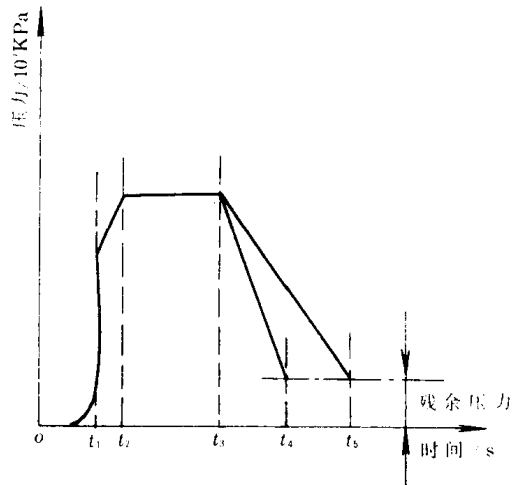


图 4-1 模具型腔压力周期图

(3)倒流阶段:图 4-1 中为 $t_3 \rightarrow t_4$ 这段曲线。这段因倒流致使型腔内压力显著下降至与外界压力接近才停止,浇口冻结早或晚可以控制倒流量。一般不希望有倒流。最理想的是补料时间一到,浇口马上冻结封闭,但这点很难实现。如果浇口断面尺寸设计合理便可以控制倒流量。倒流量不能太多,否则将使塑件产生与补塑时间短或不补塑同样的缺陷。

(4)浇口冻结封闭阶段:在图 4-1 中为 $t_4 \rightarrow t_5$ 这段曲线。补塑或保压时间到浇口马上冻结封闭,这时模腔内熔料开始冷却收缩,压力缓慢下降。模塑周期时间已到便可开模取件。在开模的瞬间型腔仍然有一定的压力(正压或负压)和温度,称为开模时的残余压力和残余温度。这个残余压力和残余温度对塑件质量是有影响的。残余压力太高或太低(负压太高)时,塑件脱模时有困难,残余温度太高,塑件还不具有足够的脱模强度,脱模时会使塑件损坏或严重变形。如果残余温度太低,虽然塑件有足够的脱模强度,但因塑件收缩过份而包紧型芯,脱模也很困难。残余压力高或低和残余温度高或低与浇口冻结封闭早或晚有直接关系。如果浇口冻结封闭早,模腔熔料充分冷却收缩,这时开模的残余压力和温度都很低。如果浇口冻结封闭的晚,则模腔内熔料冷却收缩时间短,这时开模的残余压力和温度都很高。若要获得合适的残余温度和残余压力,就必须设计合理的浇口断面尺寸。

2 从浇口位置的选择看对塑件质量的影响

(1)塑料注射模具浇口的设计,多数采用小浇口的设计,因为小浇口的优点很多,但是如果位置选择不当,它的缺点将大于优点,主要缺点是小浇口易发生喷射(或蛇形流)现象,造成熔体破裂,使塑件产生凹陷、熔接缝不牢,气泡或空洞、不密实、烧焦、外形不清晰、波纹或细丝、表面疵癍、强度不高等缺陷。为了避免缺陷的发生,小浇口应设计成冲击性浇口,即将小浇口对准大型芯和型腔壁,使喷射产生的蛇形流受到撞击而破坏。

(2)大型塑件大部分采用粗大的直浇口设计,在设计直浇口时,要考虑高分子的定向

方位而影响塑件质量问题。如带有嵌件的塑料制品，浇口位置应有利于增强金属嵌件胀裂方向的强度，塑件经常弯折处也应使高分子产生高度定向而提高弯折强度，以保证塑件强度要求。

(3) 浇口位置要有利于熔料流动和排气，这要根据塑件的形状和加强筋的方向而定。

(4) 对于大型塑件，如果采用小浇口设计，一般都设计多个点浇口。从浇口数量上希望少点好，因为浇口数量少，则熔接缝少，而熔接缝处强度低，怎样实现这一矛盾的统一呢？一般必须作流动距离比较核，在满足流动距离比要求的前提下，浇口数量应尽量少。

第五章 大型模具常用塑料的性能、用途、结构图例

一 热塑性塑料的技术数据

1. 常用热塑性塑料的性能和用途分类表

表 5-1 常用热塑性塑料的性能和用途分类表

塑料名称	性 能	用 途
聚氯乙烯 (PVC)	<p>是由氯乙烯聚合而成的,氯乙烯可用块形聚合法、清化聚合法或乳液聚合法进行聚合,聚氯乙烯分软、硬二种:</p> <p>硬聚氯乙烯的相对密度为 1.38~1.43,力学强度高,电器性能优良,耐酸碱的抵抗力极强,化学稳定性很好。缺点:软化点低。</p> <p>软聚氯乙烯的拉伸强度、弯曲强度、冲击强度、冲击韧性等均较硬聚氯乙烯为低,耐破断时的伸长率较高。</p>	<p>硬聚氯乙烯制品有管及棒、板、焊条、离心泵、通风机、输油管、酸碱泵的阀门、容器。</p> <p>软聚氯乙烯制品有贮槽、薄板、薄膜、电线绝缘层、密封盖、耐酸碱软管等。</p>
聚乙烯 (PE)	<p>按聚合方法所采用压力的不同可分为高压、中压和低压三种。</p> <p>高压聚乙烯,由于有较低的密度、相对分子质量、结晶度,因此质地柔韧;低压聚乙烯,由于含有较高的相对分子质量、密度、结晶度,因此质地坚硬,耐寒性能良好,在-70℃时还保持柔软。化学稳定性很高,能耐酸碱及有机溶剂。吸水性极小,有很突出的电气性能和良好的耐辐射性。用火焰喷涂法或静电喷涂法涂于金属表面,可以达到减摩和防腐的目的。缺点是机械强度不高,热变形温度很低,故不能承受较高的载荷。</p>	<p>化工设备与贮槽的耐腐蚀涂层衬里,化工耐腐蚀管道、阀门、衬套、滚柱框,以代替铜和不锈钢。高频水底电缆或一般电缆的绝缘层。晶体管收音机磁棒天线夹架。</p>
聚苯乙烯 (PS)	<p>具有一定的机械强度,化学稳定性及电气性能都较优良,透光性好,着色性佳,并易于成型。它的特点是差不多完全能耐水。缺点是耐热性较低,性较脆,而且其制品由于内应力容易碎裂,仅能于低负荷和不高的温度(60~75℃)下使用。</p>	<p>各种仪表外壳,骨架,仪表指示灯,灯罩,汽车灯罩,化工贮酸槽,酸输送槽(特别如氢氟酸),化学仪器零件,电讯零件,由于透明度高,可用作光学仪器零件及透镜。</p>
丁苯橡胶 改性聚苯乙烯 (203A)	<p>与聚苯乙烯相比,有较高的韧性和抗冲击强度,其余性能基本相似,成型工艺良好。</p>	<p>各种仪表、晶体管收音机外壳、线圈骨架、纺织用纱管,电视机结构零件,农业用车水板配件,小型塑料管,板等。</p>
聚苯乙烯 改性有机玻璃 (PMMA) = 372)	<p>有极好的透明性。机械强度也较高,有一定的耐热性、耐寒性和耐候性、耐腐蚀、绝缘性良好。制品尺寸稳定,成型容易。缺点是质较脆,易溶于有机溶剂中,作为透光材料,表面硬度不够,容易擦毛。就其综合性能来看,超过聚苯乙烯等一般塑料。</p>	<p>用来制造一定透明度和强度的零件,如油标、油杯,光学镜片、透镜、设备标牌、透明管道、汽车车灯及晶体管收音机刻度盘。电气绝缘零件等。</p>

续表

塑料名称	性 能	用 途
苯乙烯丙烯腈共聚体 (AS 或 SAN)	比聚苯乙烯有更高的冲击强度和优良的耐热性,耐油性,耐化学腐蚀性,如它能很好地耐某些使聚苯乙烯应力开裂的烃类。而拉伸弹性模量是现有热塑性塑料中较高的一种。	广泛用于制作耐油、耐热、耐化学药品的工业制品,以及仪表板、仪表框、罩壳、电池盒、接线盒,各种开关、按钮等。
苯乙烯-丁二烯-丙烯腈三元共聚物 (ABS)	ABS 是三元共聚物,因此兼有三种组元的共同性能,使其具有“坚韧、质硬、刚性”的材料。ABS 树脂具有较高冲击韧性和机械强度,尺寸稳定,耐化学性及电性能良好,易于成型和机械加工等特点。此外,表面还可镀铬,成为塑料涂金属的一种常用材料。另外,ABS 与 #372 有机玻璃熔接性良好,可作双色成型塑件。	在机械工业系统中用来制造凸轮、齿轮、泵叶轮、轴承、电机、外壳、仪表壳、蓄电池槽、水箱外壳、手柄、冰箱衬里等,汽车工业中用来制造驾驶盘、热空气调节管,加热器等,还可供电视机晶体管收音机制造外壳。
聚丙烯 (PP)	聚丙烯的主要特点是相对密度小,约为 0.9。它的机械性能如屈服强度、抗张强度、压缩强度、硬度等,均优于低压聚乙烯。并有很突出的刚性,耐热性较好,可在 100℃ 以上使用,若不受外力,则温度升到 150℃ 也不变形。基本上不吸水,并且有较好的化学稳定性,除对浓硫酸、浓硝酸外,几乎都很稳定。高频电性能优良,且不受湿度影响,成型容易。缺点是耐磨性不够高,成型收缩率较大,低温呈脆性,热变形温度亦较低。	可作各种机械零件,如法兰、齿轮、接头、泵叶轮、汽车零件、化工管道、容器设备。并可用作衬里,表面涂层、录音带、医疗仪器、手术仪器等。
聚碳酸酯 (PC)	聚碳酸酯的冲击强度特别突出。在一般热塑性树脂中是较优良的,它的弹性模量较高;受温度影响极小,耐热温度为 120℃。耐寒达 -100℃ 才脆化。尺寸稳定性高。耐腐蚀、耐磨性均良好。但存在着高温下对水的敏感性,长期浸在沸水中,会引起水介或裂开。在成型加工时控制不当,容易发生制品开裂现象。在某些化学试剂(如四氯化碳)中聚碳酸酯可能会产生“应力开裂”。但聚碳酸酯还可用玻璃纤维来增强,这样具有更高的刚性和机械强度。并能消除聚碳酸酯可能存在“应力集中”现象。	用来制造齿轮:蜗杆、齿条、凸轮、心轴、轴承、铰链、传送链、螺栓、螺帽、垫圈、铆钉、泵叶轮、汽车汽化器部件、车灯灯罩、闪光灯灯罩、节流阀、润滑油输油管、各种外壳、容器、冷冻和冷却装置零件,电器接线板、线圈骨架、酸性蓄电池槽、高温透镜等。
聚甲醛 (POM)	是一种有侧链、高密度、高结晶性的线型聚合物,具有优异的综合性能。力学强度较高,它的抗张强度达 70MPa,可在 104℃ 下长期使用,脆化温度为 -40℃,吸水性亦较小。缺点热稳定性差,所以必须严格控制成型加工温度。聚甲醛遇火易燃烧,长期在大气中曝晒会老化。目前聚甲醛可分为共聚和均聚两种。	特别适用于作轴承使用,也大量用来制造滚轮、辊子,汽化器,齿轮、轴套垫圈,线圈骨架,管接头,化工容器和各种仪器仪表外壳等。
聚酰胺 (尼龙) PA	具有良好的电气性能。热性能及机械综合性能,其机械强度随温度而异。聚酰胺在熔化状态时有很高的流动性,所以用这种塑料注射薄壁零件。并且它是一种自润滑性材料,做成轴承齿轮,可以在无润滑的状态下使用。对化学药物无论是弱碱、醇、酯、酮、碳氢化合物、油脂均不受影响。缺点是吸水性大,成型收缩率不稳定,因此对塑件尺寸控制困难。 聚酰胺,常用品种牌号有尼龙 4,尼龙 5,尼龙 6,尼龙 7,尼龙 8,尼龙 9,尼龙 11,尼龙 12,尼龙 13,以及尼龙 66,尼龙 610,尼龙 1010 等。	用作机械、化工及电器仪表、纺织等零件,例如轴承、齿轮、凸轮、滚子、辊轴、泵叶轮、风扇叶轮、蜗轮、螺钉、螺帽、垫圈、高压密封圈、阀座、输油管、储油容器、漏斗、铰链、手柄、捏手、变速箱盖。

续表

塑料名称	性 能	用 途
氯化聚醚 (CPT)	具有突出的化学稳定性,仅次于聚四氟乙烯,但比聚四氟乙烯价格低,对各种酸、碱和溶剂有良好的抗蚀能力。亦容易加工。耐热比硬聚氯乙烯好,可在120℃下使用,抗氧化性能比尼龙高。它的吸水率小于0.01%,尺寸稳定性好。因而可以制造精确而没有内应力的塑件。	用作耐腐蚀介质中的装备,如泵、阀门零件、轴承、密封件、耐腐蚀绳索、衬里、化工管道、测量透镜、精密机械零件。如轴承、保持器、齿轮等。亦可涂复于零件表面,作为耐腐蚀涂层,用以减摩或密封件。
聚砜 (PSF)	热稳定性高,长期使用温度可达150~174℃,高于聚碳酸酯、聚偏氟乙烯等塑料。脆化温度为-100℃,具有优良的机械强度及良好的电性能,能进行一般成型加工和机械加工,尺寸稳定性高,还有良好的可电镀性,也是塑料涂金属中的一种材料。	可用作高强度、耐热、抗蠕变的结构件以及耐腐蚀的零件,如汽车零件、电工和无线电零件、接触器、齿轮、凸轮、线圈骨架、示波器振子、接触器,仪器仪表零件;以及板材、管道、计算机、洗衣机等制品。
聚苯醚 (PPO)	亦称聚苯氧。最大的特点是有宽广的使用温度范围,长期使用温度范围为-127℃至+121℃,无载荷情况下间断工作可达204℃,已达到一般热固性塑料的水平。另一个特点它具有卓越的耐水及蒸汽性能,可经受蒸汽消毒,因此可作为外科医疗器械来代替不锈钢。缺点是成型比较困难,和有应力开裂倾向,以及较低的疲劳强度。	在机电工业中可用作较高温度下工作的齿轮、轴承、凸轮、运输机械零件、泵叶轮、鼓风机叶片、水泵零件、化工用管道、阀门以及自来水工程零件,能代替不锈钢做各种化工设备及零部件,螺钉、紧固件、连接件、电机绕线芯子、转子、机壳、以及电子设备零件和高频印刷线路板、医疗外科手术器等。
聚酚氧	亦称苯氧树脂,具有优良的机械性能,高的刚性、强度、硬度和韧性,冲击强度可与聚碳酸酯相比。抗蠕变性能与大多数热塑性塑料相比是属优等的,它在不同的环境条件下能保持良好的尺寸稳定性和精密的尺寸公差,由于成型收缩率仅为0.3%,故能得到尺寸精密的成型零件。吸水性也很小、能耐酸、碱的侵蚀。缺点耐溶剂性差,热变形温度较低在1.86MPa载荷下的热变形温度为87℃。	用来制造精密的汽车零件、计算机、仪表零件、板座框、骨架以及各种装饰用的塑件等。 聚酚氧的另一个重要用途是作为结构粘合剂和涂料使用。如把钉子敲入聚酚氧板材中,不但不会破裂,且这些钉子能长期牢固咬合在塑件内。它还可以作为酚醛、环氧等热固性树脂的挠性改良剂。
氟塑料 (PVF)	是含氟塑料的名称(也称塑料王),它与其它塑料相比,具有更优越的耐高低温,耐腐蚀,耐气候性,电绝缘性能,不吸水以及低的摩擦系数等特性,其中尤以聚四氟乙烯最为突出。长期使用温度范围可自-195~+250℃高温下工作240h,其机械性能不降低。化学稳定性较好,甚至在“王水”中煮沸,其重量、性能均无变化。而还具有比较突出的低摩擦因数(0.04)是塑料中最低的一种。电性能具有无极性不吸湿、耐热等,因此是一种优良的介电绝缘材料。缺点,不能采用注射法成型,只能用粉末冶金那样的冷压烧结方法成型。	化工机械方面用来制造耐腐蚀零件,如薄壁烧杯、反应器、活门阀门等,电工无线电、雷达设备中用作高频电缆、电容线圈架、电机槽等的绝缘。 医疗方面用作外科手术的人工心肺装置、血管、消毒保护器等。 减摩密封零件方面用作密封圈、缓冲杯、阀座等。

2. 常用热塑性塑料的综合性能表

表 5-2

常用热塑性塑料的综合性能表

性 能	单 位	软聚氯乙烯 (PVC)	硬聚氯乙烯 (PVC)	低压聚乙烯 (PE)	改性聚苯 乙 烯 (204)
收缩率	%	1.5~2.5	0.6~1.0	1.5~3.6	0.4~0.7
相对密度		1.3~1.5	1.335	0.94~0.965	1.07
拉伸强度	MPa	>10	218	屈服 22~39 断裂 15~16	≥50
伸长率	%			60~150	
拉伸弹性模量	×10 ³ MPa			0.84~0.95	
弯曲强度	MPa			25~40	≥72
弯曲弹性模量	×10 ³ MPa			1.1~1.4	
冲击强度(缺口)	kJ/m ²	4~12	120	7~8	
(无缺口)				不 断	≥160
压缩强度	MPa			22.5	≥90
硬度(洛氏)					
(布氏)	MPa			600~700	
疲劳强度	MPa			11	
(10 ⁷ 周)					
热变形温度	℃				
1.88MPa	℃			48	
0.46MPa	℃			60~82	
马丁耐热	℃	40~70	50~65	维卡 121~127	75
连续耐热	℃			121	60~96
脆化温度	℃	≤-30	-50	-70	
线胀系数	×10 ⁻⁵ /℃		5.9	12.6~16	
燃烧性				很 慢	
介电系数(60Hz)				10 ⁶ Hz 2.3~2.4	3.12
体积电阻	Ω·cm		6.71~10 ¹³	10 ¹⁶	10 ¹⁶
击穿强度	kV/mm		26.5	26~28	25
介电损耗(60Hz)			0.0579	<0.005	
耐电弧性	s			150	

续表

性能	单位	ABS		改性有机 玻璃 (#372)	聚丙烯 (PP)	聚碳酸酯 (PC)	
		高强度 中冲击	超高冲击			未增强	增强
收缩率	%	0.4~0.7	0.5~0.7	0.4~0.8	1.4~2.6	0.5~0.8	0.1~0.3
相对密度		1.07	1.05	1.18	0.90~0.91	1.20	1.4
拉伸强度	MPa	63	35	≥50	30~39	67	110~140
伸长率	%				>200	60~160	1~5
拉伸弹性模量	×10 ³ MPa	2.9	1.8		1.1~1.6	2.2~2.4	6.6~11.9
弯曲强度	MPa	97	62	≥100	42~56	98~100	160~190
弯曲弹性模量	×10 ³ MPa	3.0	1.8		1.2~1.6	2.0~3.0	4.8~7.5
冲击强度(缺口)	kJ/cm ²	60	530		2.2~5	64~750	—
(无缺口)				≥12	不断	不断	65
压缩强度	MPa				39~56	83~88	120~135
硬度(洛氏)		R120	R100		R95~105	M75	
(布氏)	MPa			≥100		97~104	128
疲劳强度	MPa				11~22	7~10	
(10 ⁷ 周)							
热变形温度	°C						
1.88MPa	°C	89	87		56~67	132~138	147~149
0.46MPa	°C	98	96	维卡≥110	100~116		
马丁耐热	°C			≥60	44	110~130	150~152
连续耐热	°C				121	121	140~141
脆化温度	°C				-35	-100	
线胀系数	×10 ⁻⁵ /°C	7.0	10.0		10.8~11.2	6~7	1.6~2.7
燃烧性		缓慢	缓慢		自熄	自熄	不然
介电系数					10 ⁶ Hz		
(60Hz)		2.4~5.0			2.0~2.6	3.0	3.2~3.5
体积电阻	Ω·cm		10 ¹⁶	表面 4.5×10 ¹⁵	>10 ¹⁶	10 ¹⁶	10 ¹⁵
击穿强度	kV/mm			20	30	17~22	
介电损耗					0.001	0.006~ 0.007	0.003~ 0.005
(60Hz)		0.003~0.008					
耐电弧性	s		50~85		125~185	120	5~120

续表

性能	单位	聚 苯 醚		聚 砜	聚 酰 亚 胺	
		PPO	改性 PPO		老亚胺	可溶性亚胺
收缩率	%	0.7~1.0	0.5~0.8	0.5~0.7		0.5~1.0
相对密度		1.06~1.07	1.06	1.24	1.4~1.6	1.34~1.40
拉伸强度	MPa	屈服 865~895 断裂 665	670	72~85	94.5	120
伸长率	%	30~80		20~100	6~8	6~10
拉伸弹性模量	$\times 10^3$ MPa	2.6~2.8		2.5~2.8		
弯曲强度	MPa	98~137	95	108~127	>100	200~210
弯曲弹性模量	$\times 10^3$ MPa	2.0~2.1	2.5	2.8	3.2	3.3
冲击强度(缺口)	kJ/cm ²	8.3~10.2	7	7~8.1	3.8	12
(无缺口)		530~640		1720~3700	540	不断
压缩强度	MPa	91~112	115	89~97	>170	>230
硬度(洛氏)		M78 R118~123	M78R119	R120		
(布氏)	MPa			108		
疲劳强度	MPa	14	~20		26	
(10 ⁷ 周)						
热变形温度	℃					
1.88MPa	℃	190	190	174	360	
0.46MPa	℃			181		
马丁耐热	℃	144~160		156	维卡>300	维卡 250~270
连续耐热	℃	200	100	150~174	260	200~230
脆化温度	℃	-127	-45	-100	-180	-180
线胀系数	$\times 10^{-5}/\text{℃}$	5.0~5.6	0.7	5.0~5.2	5.5~6.3	
燃烧性		缓慢~自熄	自熄	自熄	自熄	自熄
介电系数(60Hz)		2.58		2.9~3.1	3~4	3.1~3.5
体积电阻	$\Omega \cdot \text{cm}$	10^{16-17}		10^{16}	10^{17}	$10^{15} \sim 10^{16}$
击穿强度	kV/mm	15.8~20.5		16.1~20	>40	>18
介电损耗(60Hz)		0.001		0.001~0.006	0.003	0.001~0.005
耐电弧性	s			122	230	

续表

性 能	单 位	聚 酰 胺					
		尼龙 1010		尼龙 0.6		尼龙 6	
		未增强	玻纤增强	干 态	含水 2.3%*	干 态	含水 3.5%*
收缩率	%	1.0~2.5	0.3~0.8	1.2~2		0.8~1.5	
相对密度		1.04~1.06	1.23	1.14~1.15		1.13~1.15	
拉伸强度	MPa	52~55	180	83	56.5	74~78	52~54
伸长率	%	100~250		60	200	150	250
拉伸弹性模量	$\times 10^3$ MPa	1.6	8.8	3.2~3.3	1.4	2.6	0.83
弯曲强度	MPa	89	237	100~110		100	70
弯曲弹性模量	$\times 10^3$ MPa	1.3	5.9	2.9~3.0	1.2	2.4~2.6	0.53
冲击强度(缺口)	kJ/m^2	4~5	3.5	3.9	13.8	3.1	>55
(无缺口)		不断	1000				
压缩强度	MPa	79	157	120	90	90	60
硬度(洛氏)				R1180	R1000	R1140	R850
(布氏)	MPa	71	124				
疲劳强度	MPa				23~25	12~19	
(10^7 周)							
热变形温度	°C						
1.88MPa	°C			66~86		55~58	
0.46MPa	°C	维卡 123~190		182~185		180	
马丁耐热	°C	45	180	50~60		40~50	
连续耐热	°C	80~120		82~149		79~121	
脆化温度	°C	-60	-60	-25~-30		-20~-30	
线胀系数	$\times 10^{-5}/\text{°C}$	10.5	3.1	9.0~10.0		7.9~8.7	
燃烧性		自熄	自熄	自熄	自熄	自熄	
介电系数(60Hz)		2.5~3.6	—	4.0		4.1	
体积电阻	$\Omega \cdot \text{cm}$	$>10^{14}$	10^{15}	10^{14}		10^{14-15}	
击穿强度	kV/mm	>20	29	15~19		22	
介电损耗(60Hz)		0.020~ 0.026	0.027	0.014		0.01	
耐电弧性	s			130~140			

续表

性能	单位	聚酰胺				
		尼龙 610		尼龙 9	尼龙 11	MC 尼龙
		干态	含水 1.5%*			
收缩率	%	1.0~1.5		1.5~2.5		
相对密度		1.07~1.09		1.05	1.04	1.16
拉伸强度	MPa	60	47	58~65	47~58	90~97
伸长率	%	85	220~240		60~230	20~30
拉伸弹性模量	$\times 10^3$ MPa	2.3	1.2	1.0~1.2	1.2	3.6
弯曲强度	MPa			80~85	>6	152~171
弯曲弹性模量	$\times 10^3$ MPa	1.8	1.0	1.0~1.2	1.1	4.2
冲击强度(缺口)	kJ/m ²	3.5~5.5	9.8		3.5~4.8	
(无缺口)				2500~3000	3800	>5000
压缩强度	MPa	90	70		80~110	107~130
硬度(洛氏)		R1110~1130	R900		R1000~1130	
(布氏)	MPa				75	140~210
疲劳强度	MPa					~20
(10 ⁷ 周)						
热变形温度	℃					
1.88MPa	℃					94
0.46MPa	℃	维卡 195~205		维卡>160	维卡 173~178	205
马丁耐热	℃	51~56		42~48	(38)	55
连续耐热	℃					
脆化温度	℃					
线胀系数	$\times 10^{-5}/\text{℃}$	9~12		8~12	11.4~12.4	8.3
燃烧性		自熄			自熄	自熄
介电系数(60Hz)		3.9		3.7		
体积电阻	$\Omega \cdot \text{cm}$	10 ¹⁴		5.5 $\times 10^{14}$	10 ¹⁵	
击穿强度	kV/mm	28.4		>15	29.5	
介电损耗(60Hz)		0.04		0.019	0.06	0.02
耐电弧性	s					

续表

性能	单位	聚 甲 醛		聚酚氧	线 型 聚 酯	
		共 聚	均 聚		未增强	增 强
收缩率	%	1~2.2	1.2~2.4	0.3~0.4	1.8	0.2~1.0
相对密度		1.41~1.43	1.42~1.43	1.4	1.37~1.38	1.63~1.70
拉伸强度	MPa	屈服 62~68	70	63~73	80	120
伸长率	%	60~75	15~25	60~100	200	
拉伸弹性模量	$\times 10^3$ MPa	2.8	2.9	2.7	2.9	8.3~9.0
弯曲强度	MPa	91~92	98	90~110	117	145~175
弯曲弹性模量	$\times 10^3$ MPa	2.6	2.9	2.9		6.2
冲击强度(缺口)	kJ/m ²	7.6	6.5	3.4	4	8.5
(无缺口)		900~1100	1080	不断		
压缩强度	MPa	113	122	84		130~161
硬度(洛氏)		M940R1200	M800	M720R120		M950~1000
(布氏)	MPa					145
疲劳强度	MPa	25~27	300~35			
(10 ⁷ 周)						
热变形温度	℃					
1.88MPa	℃	110	124	86	85	240
0.46MPa	℃	158	170	92	115	
马丁耐热	℃	57~62	60~64		120	130~140
连续耐热	℃	104	85	77		
脆化温度	℃	-40		-60		
线胀系数	$\times 10^{-5}/\text{℃}$	11.0	10.0	5.8~6.8	6.0	2.5~3.4
燃烧性		缓慢	缓慢			缓慢
介电系数(60Hz)		3.8	3.7	3.8~4.1	3.4	3.78
体积电阻	$\Omega \cdot \text{cm}$	10^{14}	10^{14}	10^{15}	10^{14}	10^{16}
击穿强度	kV/mm	18.6				18~35
介电损耗(60Hz)		0.005	0.004	0.0012	0.021	0.016
耐电弧性	s	240	129			90~120

续表

性能	单位	氯化聚醚 (CPT)	氟 塑 料		芳香尼龙	聚苯醚砜
			F-3	F-4		
收缩率	%	0.4~0.8	1~2.5	模压 1~5		0.8
相对密度		1.4	2.1~2.2	2.1~2.2	1.35~1.36	1.36
拉伸强度	MPa	4.23	32~40	14~25	80~120	91
伸长率	%	60~160	30~190	250~350		10
拉伸弹性模量	$\times 10^3$ MPa	1.1	1.1~1.3	0.4	压缩模量 4.4	2.6
弯曲强度	MPa	70~77	55~70	11~14		120
弯曲弹性模量	$\times 10^3$ MPa	0.9	1.3~1.8			2.7
冲击强度(缺口)	kJ/m ²	2.1	13~17	16.4	20~35	11~22
(无缺口)		>500				
压缩强度	MPa	63~87	32~52	12	320	125
硬度(洛氏)			邵氏 D74~78	R58		M110
(布氏)	MPa	128	90~130	邵氏 D500~650	340	
疲劳强度	MPa					
(10 ⁷ 周)						
热变形温度	℃					
1.88MPa	℃	100	75	55		274
0.46MPa	℃	141	130	121		
马丁耐热	℃	72				
连续耐热	℃	120~143	120~190	260		260
脆化温度	℃	-40	-80~-195	-180~-195		-240
线胀系数	$\times 10^{-5}/\text{℃}$	12	4.5~7.0	10~12	2.1	2.6
燃烧性		自熄	自熄	自熄		自熄
介电系数(60Hz)		3.1~3.3	2.3~2.7	2.0~2.2		3.94
体积电阻	$\Omega \cdot \text{cm}$	$10^{15} \sim 10^{16}$	$>10^{16}$	10^{18}		3.2×10^{16}
击穿强度	kV/mm	15.8	19.7	25~40		
介电损耗(60Hz)		0.011	0.0012	0.0002		0.003
耐电弧性	s		360	>200		

二 大型注塑模具结构设计实例及工艺条件

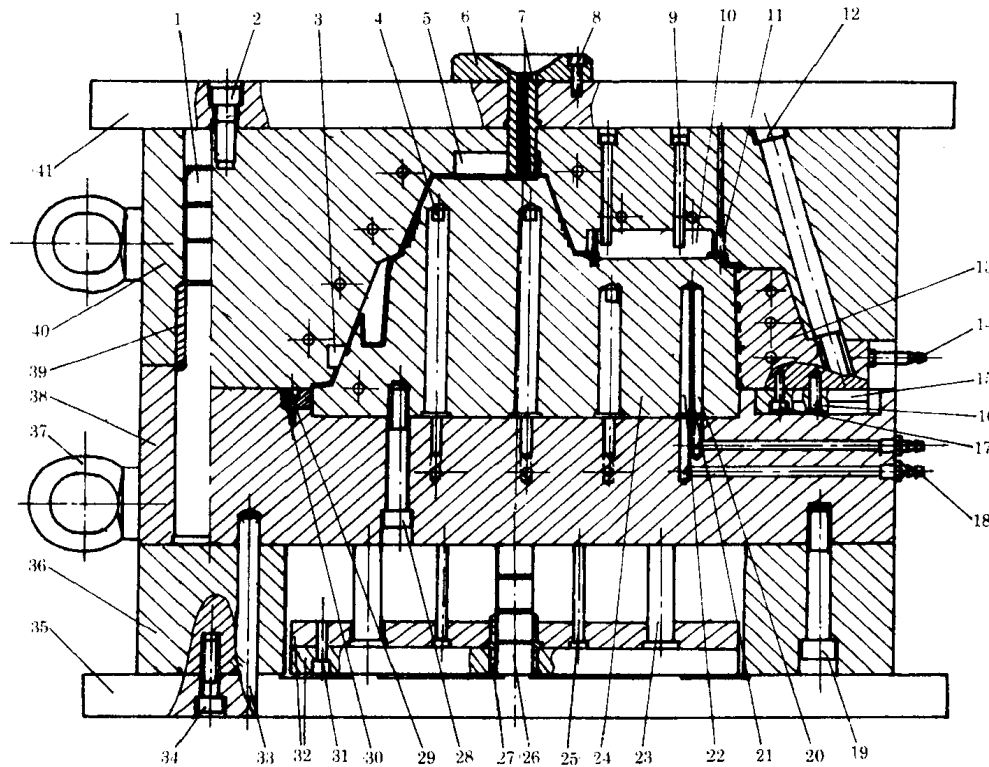


图 5-1 53cm(21in)彩电后盖总装图

件号	名称	数量	材料	规格	备注
1	导柱	4	T10A	$\Phi 76 \times 470$	淬火
2	定模底板螺钉	12	M20 \times 70		
3	定模通风塞块	1	T10A	293 \times 120 \times 50	调质 HRC32 $^{\circ}$ ~35 $^{\circ}$
4	冷却水浴	4	$\Phi 25 \times 260$		
5	定模镶件	1	45	91.5 \times 84 \times 30	
6	定位圈	1	45	$\Phi 150 \times 25$	
7	浇口套	1	T10A	$\Phi 31.2 \times 130$	淬火
8	定位圈螺钉	3	M10 \times 30		
9	镶件螺钉	2	M10 \times 120		
10	定模镶件	1	T10A	140 \times 64 \times 36	
11	定模型芯	1	T10A	$\Phi 12 \times 25$	淬火
12	斜导柱	2	T10A	$\Phi 30 \times 360$	淬火
13	滑块	1	T10A	470 \times 150 \times 140	调质 MRC32~35
14	冷却水嘴	2	A3	M14 \times 65	
15	滑键	2	T10A	70 \times 40 \times 30	
16	定位销钉	2		$\Phi 12 \times 40$	
17	镙钉	4		M12 \times 35	
18	冷却水嘴	42	A3	M16 \times $\Phi 14 \times 50$	
19	模脚固定螺钉	8		M24 \times 160	
20	O型密封圈	16	丁腈胶	$\Phi 36 \times 35$	

续表

件号	名称	数量	材料	规格	备注
21	隔水片	16	铝	160×25×3	
22	动模冷却水浴	12		Φ25×160	
23	回推杆	4	T10A	Φ32×320	调质 MRC32~35
24	动模	1	45	500×475×290	
25	推杆	30		Φ12×580	
26	顶板导柱	2	T10A	Φ40×230	淬火
27	顶板导套	2	T10A	Φ52×70	淬火
28	动模固定螺钉	4		M20×150	
29	动模压紧螺钉	17		M10×30	
30	动模压紧块	3	T10A	450×35×30	调质 MRC32~35
31	顶料板螺钉	10		M12×35	
32	顶料板	2	45	820×490×32	
33	定位销钉	4		Φ25×220	
34	动模底板螺钉	10		M20×60	
35	动模底板	1	45	940×900×50	
36	模脚	2	45	820×660×160	
37	吊环	2		M36	
38	动模板	1	45	820×820×220	
39	导套	4	T10A	Φ76×Φ60×100	淬火
40	定模板	1	45	820×820×290	调质 HRC28~32
41	定模底板	1	45	940×900×600	

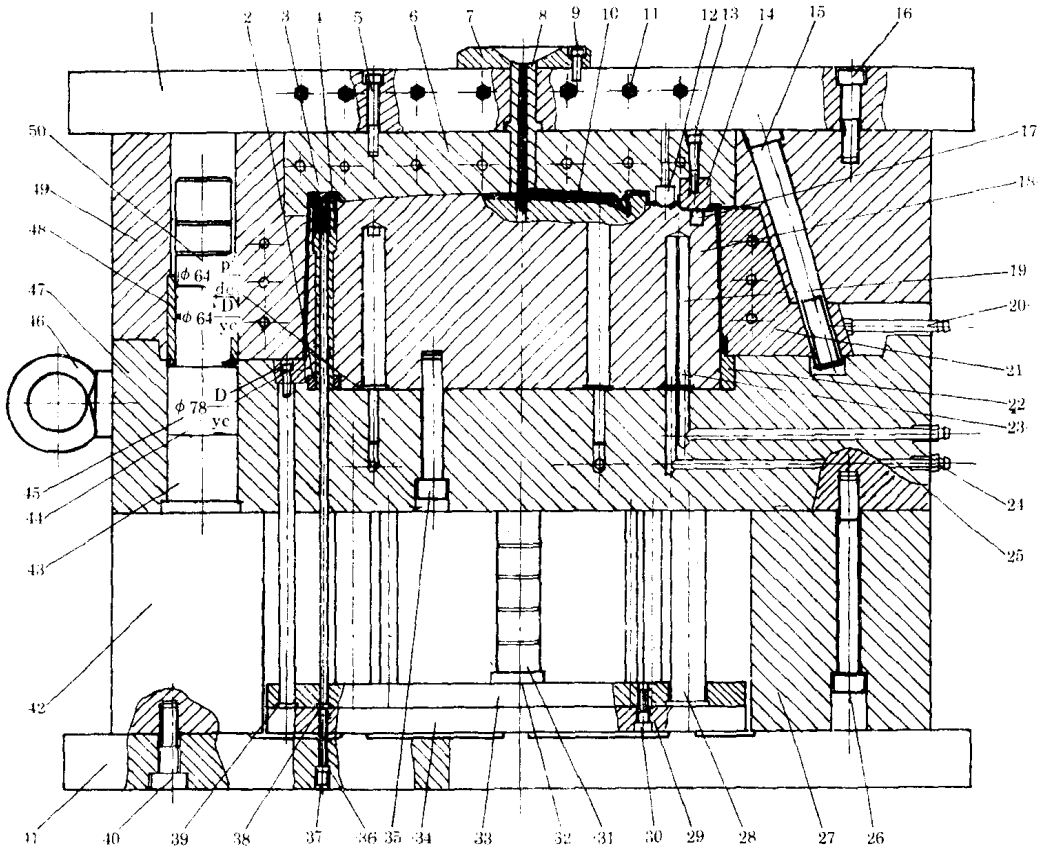


图 5-2 53cm(21in)彩电前框总装图

件号	名称	数量	材料	规格	备注
1	定模底板	1	45	1020×920×80	
2	型芯固定螺钉	4	45	M20×18	
3	定模镶片	1	550×45×1.5		
4	像管脚型芯	4		Φ26.7×241	
5	定模底板螺钉	4		M12×80	
6	定模	1	P20	550×515×101	
7	定位圈	1	45	Φ150×30	
8	浇口套	1	T10A	Φ30×160	淬火
9	定位圈螺钉	3		M10×30	
10	熔料流道				
11	冷却水嘴	12	A3	M14×Φ14×50	
12	定模型芯	1	45	Φ25.2×16	淬火
13	镶件固定螺钉	2	M10×60		
14	定模镶件	1	T10A	308×58×40	调质 HRC32~35
15	斜导柱	2	T10A	Φ30×320	淬火
16	定模底板螺钉	12		M20×100	
17	动模型芯	8	45	Φ13×Φ12×23	淬火
18	动模	1	P20	250×482×503	
19	动模冷却水孔	18		Φ25×200	
20	冷却水嘴	2	A3	M14×Φ14×50	
21	滑块	1	T10A	470×192×150	调质 HRC32~35
22	动模镶件	1	T10A	370×60×18	调质 HRC32~35
23	隔水片	18	铝	200×25×3	
24	冷却水嘴	42	A3	M16×Φ14×50	
25	冷却水孔	36		Φ12	
26	模脚固定螺钉	8		M24×250	
27	模脚	1	45	920×280×200	
28	回推杆	4	45	Φ40×428	调质 HRC32~35
29	推杆	10		Φ12×650	
30	顶板固定螺钉	10		M12×45	
31	顶板导柱	2	T10A	Φ50×340	
32	顶板导套	2	T10A	Φ60×Φ50×80	淬火
33	顶杆固定板	1	45	920×540×32	
34	顶杆底板	1	45	920×540×32	
35	动模固定螺钉	4		M24×160	
36	内六角螺钉	14		M12×20	
37	推管型芯	4		Φ5.5×725	
38	像管脚推管	4		Φ10×Φ5.5×600	
39	顶杆推杆	6	45	Φ20×408	
40	动模底板固定螺钉	10		M20×80	
41	动模底板	1	45	1020×920×60	
42	模脚	1	45	920×280×170	
43	导柱	4	T10A	Φ78×64×425	淬火
44	顶块固定螺钉	6		M8×35	
45	顶块	3	T10A	400×40×30	调质 HRC28~32
46	吊环	2		M36	
47	定模板	1	45	920×920×220	
48	导套	4	T10A	Φ78×Φ64×100	淬火
49	定模套	4	P20	920×920×280	
50	O型密封圈	18	丁腈胶	Φ36×3.5	

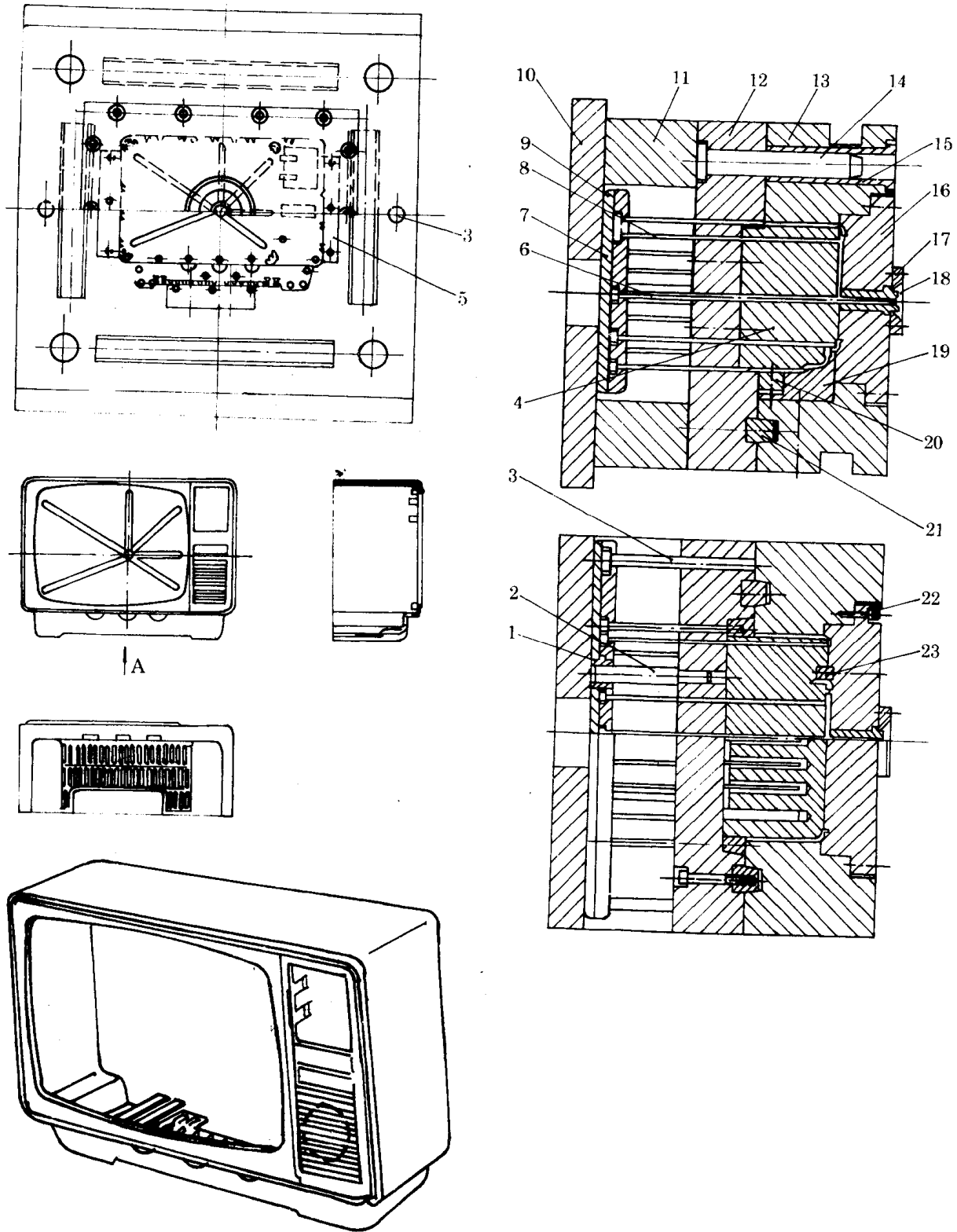


图 5-3 51cm(20in)彩电机壳体总装图

机构特点顶块、顶杆联合顶出

件号	名称	数量
1	导套	2
2	导柱	2
3	回程杆	2
4	型芯	1
5	顶块	2
6	拉杆	1
7	顶出垫板	1
8	顶杆	26
9	顶出板	1
10	动模固定板	1
11	垫块	2
12	动模板	1
13	定模板	1
14	导柱	4
15	导套	4
16	凹模底板	1
17	定位环	1
18	主流道衬套	1
19	定模镶块	1
20	动模镶块	1
21	定位块	4
22	镙钉	8
23	镶块	1

成型件名称:电视机前装饰板,

型腔数:1,

成形材料:橡胶、苯乙烯,

使用成形机:500Z/450T

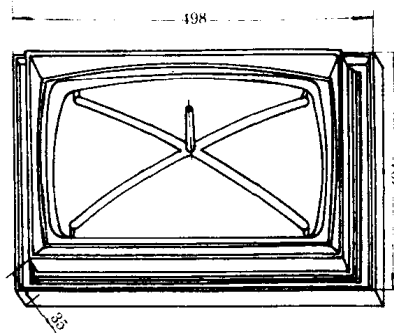


图 5-4a 彩电前装饰单型腔模具

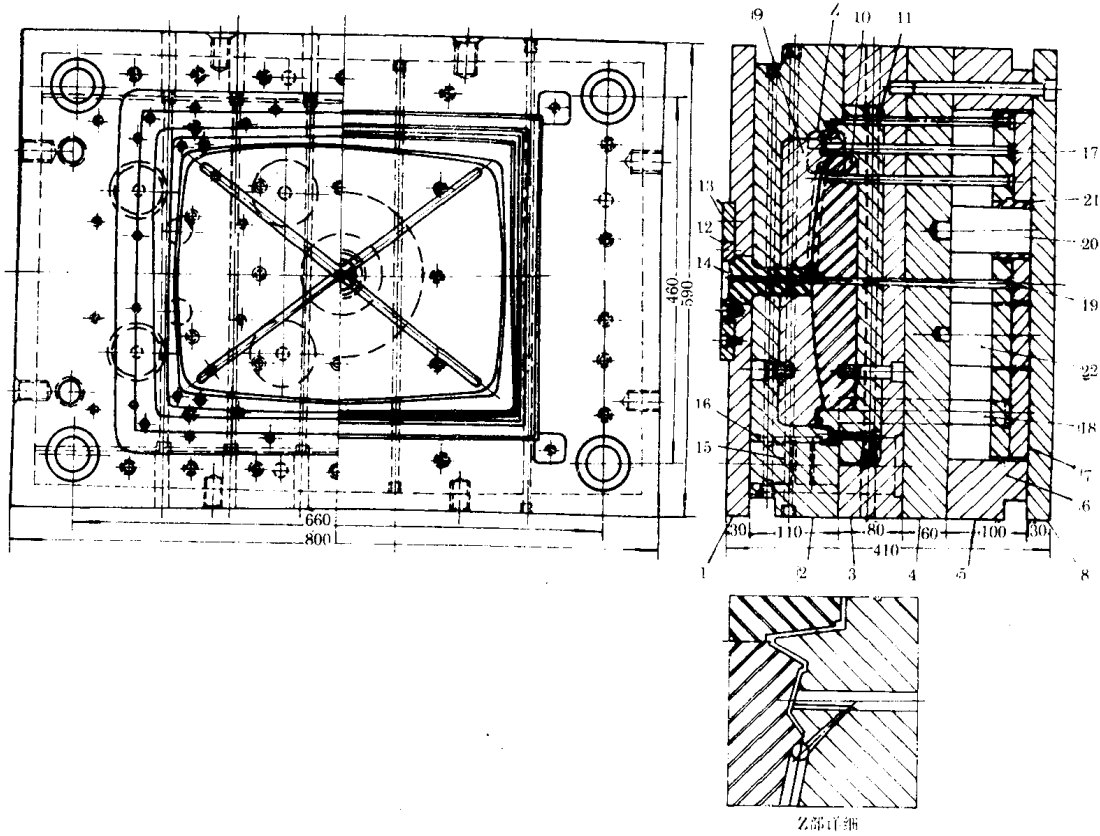


图 5-4b 彩电前装饰板模具

件号	名称	件数	材料	备注
1	定模板	1	SS41	
2	定模型板	1	S45C ₂	
3	动模型板	1	S45C ₂	
4	垫板	1	SS41	
5	垫板	2	SS41	
6	顶板(前)	1	SS41	
7	顶板(后)	1	SS41	
8	动模板	1	SS41	
9	定模镶件	1	S45C ₂	
10	动模镶件	1	S45C ₂	
11	型芯	1	S45C ₂	
12	定位圈①	1	SS41	
13	定位圈②	1	SS41	
14	浇口套	1	S45C ₂	
15	导柱	4	S45C ₂	淬硬 HRC50
16	导套	4	S45C ₂	淬硬 HRC40
17	顶杆	24	SK2	淬硬 HRC55
18	复位杆	4	S45C ₂	淬硬 HRC50
19	浇口拉杆	1	SK2	淬硬 HRC50
20	支承柱(G)	4	S45C ₂	淬硬 HRC50
21	支承柱导套	4	FC25	
22	支承柱	4	SS41	

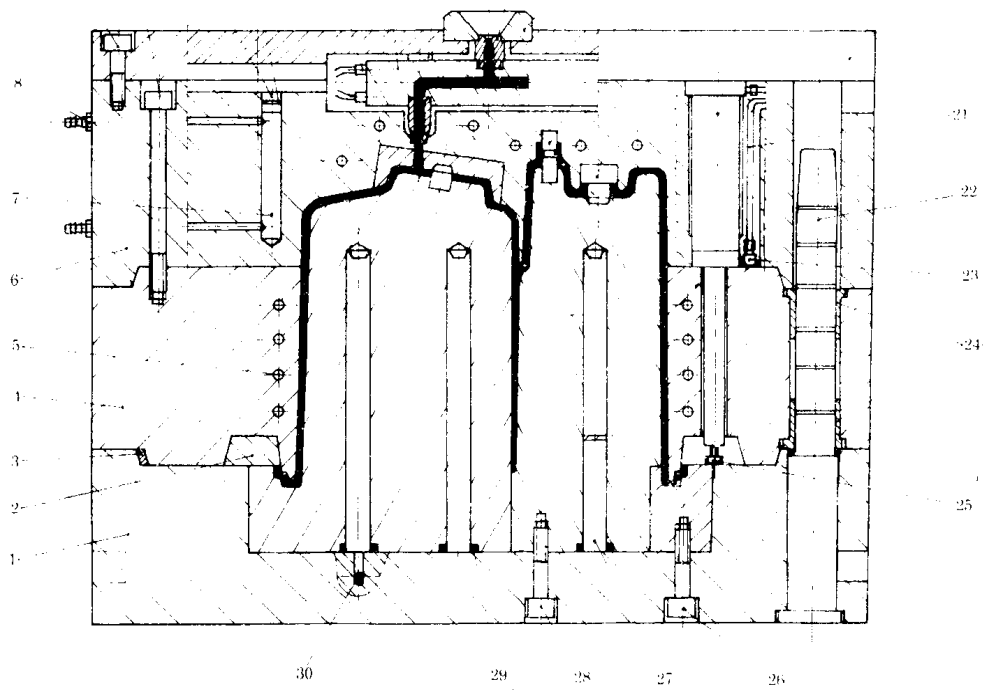


图 5-5 洗衣机连体模具总装图

件号	名称	数量	材料	规格
1	动模板	1	45	1300×1000×300
2	脱料板	4	T10A	900×110×60
3	斜锁块	4	T10A	100×30×15
4	中套	1	40Cr	1300×1000×380
5	冷却水孔	10		Φ14
6	定模板	1	40Cr	1300×1000×380
7	冷却水浴	10		Φ36
8	水嘴	34	铜	M20
9	定模固定螺钉	20		M24×100
10	中套固定螺钉	12		M24×350
11	水堵	4	45	Φ36×40
12	密封圈	4	丁腈胶	Φ36×3.5
13	热元件	8		Φ16×250
14	电热板	1	45	500×80×80
15	垫片	3	不锈钢	Φ40×5
16	料头	3	铜	M36×50
17	定位圈	1	45	Φ150×30
18	小型芯	4	45	

续表

件号	名称	数量	材料	规格
19	油缸	4		$\Phi 60 \times 350$
20	定模底板	1	45	$1300 \times 1000 \times 100$
21	油管	8	铜	$\Phi 10$
22	导柱	4	T10	$\Phi 85 \times 840$
23	油管接头	8		
24	导套	8	T10	$\Phi 85 \times 100$
25	脱料板螺钉	4		M16 \times 50
26	模芯螺钉	8		M24 \times 130
27	隔水板	6	铜	$2 \times 36 \times 500$
28	模芯螺钉			M24 \times 130
29	密封圈	6	丁腈胶	$\Phi 44 \times 4$
30	进排水孔	12	$\Phi 14$	

洗衣桶成型工艺

成型周期		102s/只	83s/只	68s/只
		工艺参数		
设备	公称注射量/g	10000	10000	10000
	锁模力/kN	9.8×10^4	9.8×10^4	9.8×10^4
聚丙烯熔体流动速率/ $g \cdot (10min)^{-1}$		15	30	30
产品净质量/kg		3.0	2.85	2.5
料筒温度/ $^{\circ}C$		245~255	220~230	220~230
定模模温/ $^{\circ}C$		20~25	20~25	20~25
动模模温/ $^{\circ}C$		35~45	35~45	35~45
注射压力(表压)/MPa		88	88	88
保压压力(表压)/MPa		69	69	69
背压/MPa		0.8	0.8	0.8
锁模力/kN		14700	14700	14700
注射时间/s		14	9	8
保压时间/s		54	40	35
间隔时间/s		3	3	3
螺杆转速/ $r \cdot min^{-1}$		85	90	90

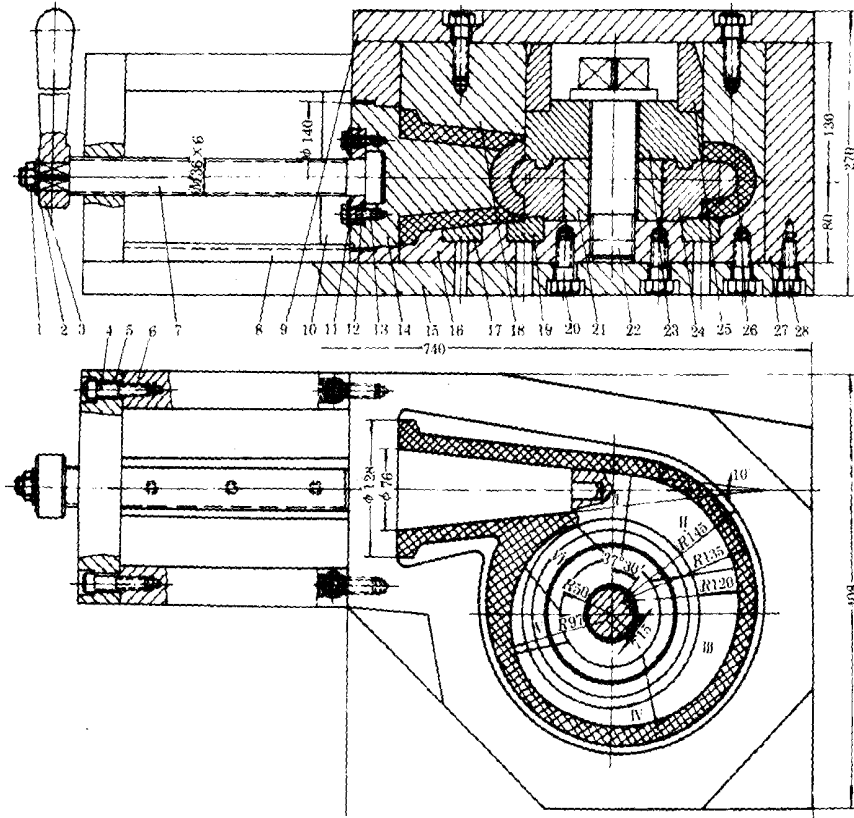


图 5-6 半机内装卸组合活动块压胶模总装图

- 1—六方螺钉 2—型圈 3—手柄 4—螺钉 5—侧板 6—垫块 7—丝杠 8—滑槽块 9—固定板
 10—支承块 11—垫圈 12—压板 13、20、22、26、28—螺钉 14—侧型芯 15—固定板 16—型腔
 17—活动顶块 18—型腔 19—活动圈 21—定位圈 23—定位圈 24—活动块 25—导向圈 27—模套
 说明:用组合活动块成型塑件内壁半圆槽件 18 有溢料槽。塑件材料:玻璃纤维塑料 FQBX-11(3411)

三 各种几何图形的面积及各种几何体的表面面积和体积计算

1. 各种几何图形的面积计算公式表 5-3

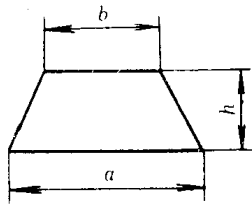
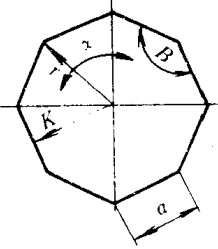
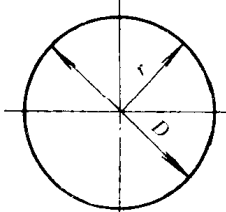
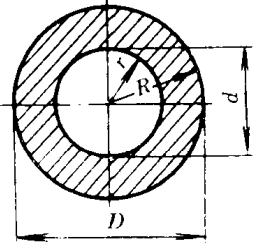
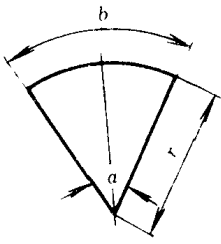
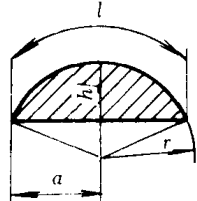
表 5-3 各种几何图形的面积计算公式表

名称	图形	符号	公式
直角三角形		a, b —直角边 c —斜边 S —面积	$C = \sqrt{a^2 + b^2} \quad S = \frac{ab}{2}$ $\angle A + \angle B = 90^\circ = \angle C$ $a = c \sin A \quad a = b \cot B$ $b = c \cos A \quad b = a \tan B$ $c = \frac{b}{\cos A} \quad c = \frac{a}{\cos B}$

续表

名称	图形	符号	公式
任意三角形		<p>a, b, c—边 A, B, C— 边的对角 b—底边 h—高 S—面积 R—外接圆半径 r—内切圆半径 P—周界之半</p>	$S = \frac{bh}{2}$ $S = \sqrt{P(P-a)(P-b)(P-c)}$ <p>其中 $P = \frac{1}{2}(a+b+c)$</p> $r = \sqrt{\frac{P(P-a)(P-b)(P-c)}{P}}$ $= P \tan \frac{A}{2} \cdot \frac{B}{2} \cdot \frac{C}{2}$ $\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C} = 2R$ <p>(正弦定理)</p> $a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A \text{ (余弦定理)}$ $\frac{a+b}{a-b} = \frac{\tan \frac{A+B}{2}}{\tan \frac{A-B}{2}}$ <p>(正切定理)</p>
等边三角形		<p>b—底边 h—高 S—面积</p>	$h = 0.866b$ $b = 1.155h$ $S = 0.433b^2$ $S = 0.577h^3$
平行四边形 和矩形		<p>b—底边 h—高 S—面积</p>	$S = b \cdot h$
菱形		<p>a—边 b, d—对角线 S—面积</p>	$D^2 + d^2 = 4a^2$ $S = \frac{Dd}{2}$
正方形		<p>a—边 d—对角线 S—面积</p>	$d = 1.414a$ $a = 0.707d$ $S = a^2 = \left(\frac{d}{1.414}\right)^2$

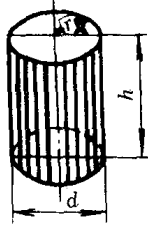
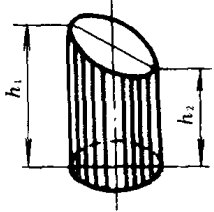
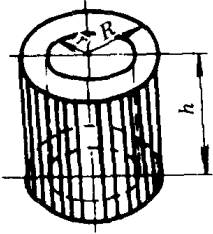
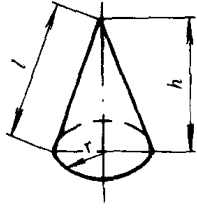
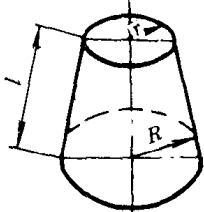
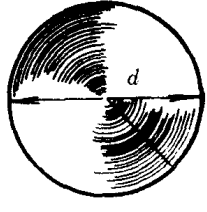
续表

名称	图形	符号	公式
梯形		a, b —底边 h —高 S —面积	$S = \frac{a+b}{2}h$
正多边形		a —边 r —外接圆半径 K —边心距 α —中心角 n —边数 S —面积 B —内角	$a = \frac{360^\circ}{n}$ $B = 180^\circ - \frac{360^\circ}{n}$ $S = \frac{aK}{2}n$
圆		r —半径 D —直径 C —周长 S —面积	$C = \pi D = 3.142D$ $= 2\pi r = 6.283r$ $S = \frac{\pi D^2}{4} = 0.785D^2$ $= \pi r^2 = 3.142r^2$
圆环		D —外圆直径 d —内圆直径 R —外圆半径 r —内圆半径 S —面积	$S = \frac{\pi}{4}(D^2 - d^2) = \pi(R^2 - r^2)$
弧与扇形		r —半径 L —弧长 α —中心角 S —面积	$L = \frac{\pi r \alpha^\circ}{180^\circ} = 0.01745r\alpha$ $S = \frac{\pi r \alpha^\circ}{360^\circ} = 0.00872r^2\alpha$
弓形		a —半弦长 h —弓形高 r —半径 l —弧长 S —面积	$r = \frac{a^2 + h^2}{2h}$ $h = r - \sqrt{r^2 - a^2}$ $a = \sqrt{2hr^2 - h^2}$ $S = \frac{1}{2}(r \cdot l - 2a(r - h))$

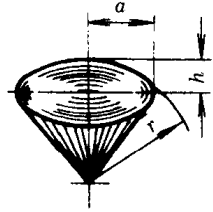
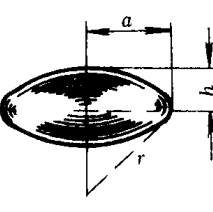
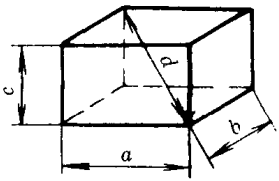
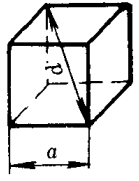
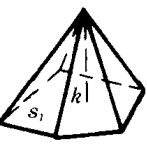
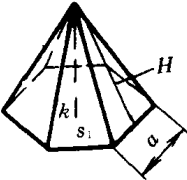
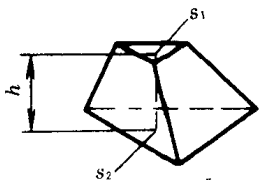
2. 各种几何体的表面积和体积的计算公式表 5-4

表 5-4

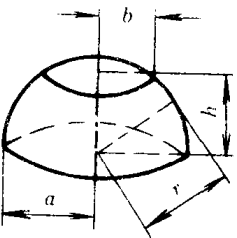
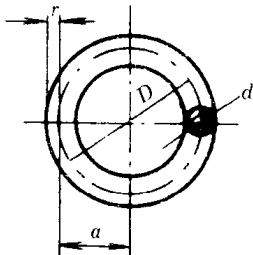
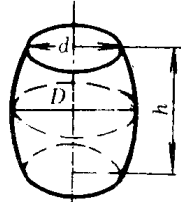
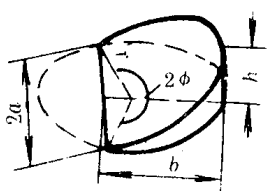
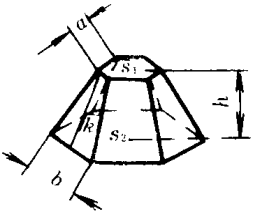
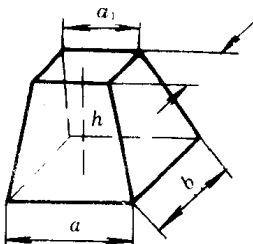
各种几何体的表面积和体积的计算公式

名称	图形	计算式
正圆柱体		$S_0 = 2\pi rh = \pi dh$ $S = 2\pi r(r+h)$ $V = \pi r^2 h$
截头正圆柱体		$S_0 = \pi r(h_1 + h_2)$ $S = \pi r \left[h_1 + h_2 + r + \sqrt{r^2 + \left(\frac{h_1 - h_2}{2} \right)^2} \right]$ $V = \pi r^2 \frac{h_1 + h_2}{2}$
圆柱管		$V = \pi h(R^2 - r^2)$ $S = 2\pi[R(R+h) + r(h-r)]$ $= 2\pi(R+r)(R-r+h)$
正圆锥形		$l = \sqrt{r^2 + h^2}$ $S_0 = \pi r L = \pi r \sqrt{r^2 + h^2}$ $S = \pi r(r+L)$ $V = \frac{1}{3} \pi r^2 h$
截头正圆锥形		$l = \sqrt{h^2 + (R-r)^2}$ $S_0 = \pi L(R+r)$ $S = \pi[R^2 + r^2 + L(R+r)]$ $V = \frac{\pi}{3} h(R^2 + r^2 + Rr)$
球形		$S = 4\pi r^2 = \pi d^2 = \frac{3V}{r}$ $V = \frac{4}{3} \pi r^3 = 4.1888r^3 = \frac{1}{6} \pi d^3 = 0.5236d^3$ $r = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{S}{\pi}} = 0.282 \sqrt{S} = \sqrt{\frac{3V}{4\pi}} = 0.62035 \sqrt{V}$

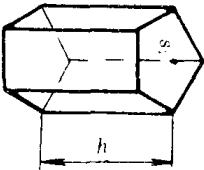
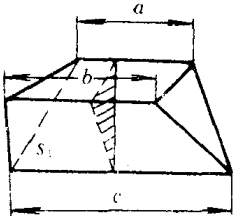
续表

名称	图形	计算式
球面扇形		$a^2 = h(2r - h)$ $S = \pi r(a + 2h)$ $V = \frac{2}{3}\pi r^2 h = 2.0944r^2 h$
球面弓形		$V = \frac{a^2 + h^2}{2h}$ $a^2 = h(2r - h)$ $S_0 = 2\pi r h = \pi(a^2 + h^2)$ $S = \pi(2rh + a^2) = \pi(h^2 + 2a^2)$ $V = \frac{1}{6}\pi h(3a^2 + h^2) = \frac{1}{3}\pi h^2(3r - h)$
直角平 形六面体		$d = \sqrt{a^2 + b^2 + c^2}$ $V = abc$ $S = 2(ab + bc + ca)$
立方体		$d = \sqrt{3} \cdot a = 1.732a$ $V = a^3$ $S = 6a^2$
角锥形		$V = \frac{1}{3}S_1 h$
正角锥形		$S_0 = \frac{1}{2}aK$ $V = \frac{1}{3}S_1 h$
截头角锥形		$V = \frac{1}{3}h(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2})$

续表

名称	图形	计算式
球面带形		$r^2 = a^2 + \left(\frac{a^2 - b^2 - h^2}{2h} \right)^2; (a > b)$ $S_0 = 2\pi rh; S = \pi(2rh + a^2 + b^2)$ $V = \frac{1}{6}\pi h(3a^2 + 3b^2 + h^2)$ <p>假使 $a = r$, 则 $V = \pi h(r^2 = \frac{h^2}{3})$</p>
圆环(圆截面之圆环)		$S = 4\pi^2 ar = 39.4784ar$ $= \pi^2 Dd = 9.8696Dd$ $V = 2\pi^2 ar^2 = 19.7392ar^2$ $= \frac{\pi^2}{4} Dd^2 = 2.4674Dd^2$
桶形		$V \approx 0.2618h(2D^2 + d^2)$ $V = 0.05236h(8D^2 + 4Dd + 3d^2)$
柱状蹄形		$S_0 = \frac{2rh}{b} = [a + (b-r)\varphi]$ $V = \frac{h}{3b} = [a(3r^2 - a^2) + 3r^2(b-r)\varphi]$ $S_0 = 2rh; V = \frac{2}{3}r^2h$ <p>当 $2\varphi = 2\pi$, 弦 $2a = 0, b = 2rh$</p> <p>则 $S_0 = \pi rh, V = \frac{1}{2}\pi r^2h$</p>
截头正角锥形		$S_0 = \frac{1}{2}(a+b)K$ $V = \frac{1}{3}h(S_1 + S_2 + \sqrt{S_1 \cdot S_2})$
方尖柱形		$V = \frac{h}{6} \cdot [(2a + a_1)b + (2a_1 + a)b_1]$ $= \frac{h}{6} [ab + (a + a_1)(b + b_1) + a_1b_1]$

续表

名称	图形	计算式
正棱形		$S_0 = Ph$ $V = S_1 h$
截头三角棱形 与底不平行		$V = \frac{1}{3}(a+b+c)S_1$

S_0 — 侧表面积

V — 体积

S — 总面积