

第 1 章 塑料成型技术基础

随着高分子化学技术的快速发展,各种性能的通用塑料和新型工业塑料相继产生,据统计,到目前为止世界上投入生产的塑料有 300 多种。如此繁多的塑料品种,其性能、用途各不相同,成型的工艺性能和方法也多种多样。本章从塑料的概念、成分、特性分析入手,介绍常用塑料的种类及其成型的工艺性能、塑件的设计方法和塑料成型工艺方法。

1.1 塑料概论

1.1.1 塑料的概念、成分、特性

1. 塑料的概念

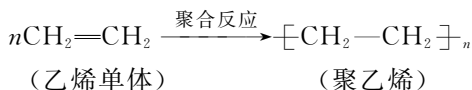
塑料是以树脂为主要成分,以增塑剂、填充剂、润滑剂、着色剂等添加剂为辅助成分,在一定温度和压力的作用下能流动成型的高分子有机材料。

树脂是一种高分子有机化合物,其特点是无明显的熔点,受热后逐渐软化,可溶解于有机溶剂,不溶解于水。树脂分天然树脂和合成树脂两种。

松树分泌出的松香、从热带昆虫分泌物中提取的虫胶、石油中的沥青等都属于天然树脂。天然树脂不仅在数量上,而且在性能上都远远不能满足工业产品的生产需要。于是人们根据天然树脂的分子结构和特性,用化学合成的方法制取了各种合成树脂。

合成树脂既保留了天然树脂的优点,同时又改善了成型加工工艺性能和使用性能,因此在现代工业生产中得到了广泛应用。常用的合成树脂有聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、酚醛树脂、氨基树脂、环氧树脂等。

通常,合成树脂由低分子有机物经化学聚合反应或缩聚反应制成,故又称为高分子聚合物。合成树脂具有很高的分子量,那些低分子有机物也称为单体。高分子不是原子任意排列而成的,而是某些结构单元有规则重复排列而成的,这些基本单元称为链节,如聚乙烯。



聚乙烯的链节是 $\text{—CH}_2\text{—CH}_2\text{—}$,重复次数 n 称为聚合度。由此可知,聚合物是原子数很多、相对分子质量很高、分子链很长的高分子有机化合物。

聚合物的分子链结构有线型、带支链线型及体型三种形式,如图 1-1 所示。

1) 线型

线型聚合物具有弹性和塑性,在适当的溶剂中可膨胀或溶解,温度升高时则软化,直至

熔化而流动,而且可反复多次熔化成型,见图 1-1(a)。高密度聚乙烯、聚苯乙烯等聚合物分子链属此种结构形式。

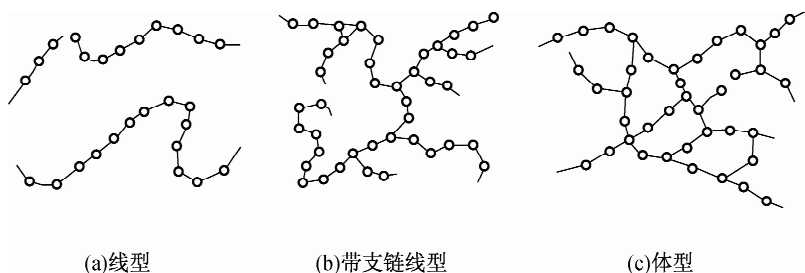


图 1-1 聚合物分子链结构示意图

2)带支链的线型

一些聚合物的大分子主链上带有一些或长或短的小支链,整个分子链呈枝状,称为带支链的线型聚合物,见图 1-1(b)。因为存在支链,结构不太紧密,因此,聚合物的机械强度较低,但溶解能力和塑性较强。低密度聚乙烯等聚合物分子链属于此种结构形式。

3)体型

如果在大分子链之间有一些短链把它们相互交联起来,成为立体网状结构,称为体型聚合物(或网型聚合物),见图 1-1(c)。体型聚合物脆性大、硬度高,成型前是可溶与可熔的,一经成型硬化后,就成为既不溶解又不熔融的固体,所以不能再次成型。

聚合物不但分子链很长,具有不同的结构,而且其分子的排列也具有不同的几何特点。据此可将聚合物的分子排列分为两种聚集态:一种是聚合物的分子排列有规则且紧密,称为结晶型聚合物;另一种是聚合物的分子排列处于无序状态,称为无定形非结晶型聚合物。结晶对聚合物的性能影响很大,由于结晶造成了分子的紧密聚集状态,增强了分子间的作用力,所以使聚合物的强度、硬度、刚度及熔点、耐热性和耐化学性等性能都有所提高,而与大分子链运动有关的性能,如弹性、伸长率和抗冲击强度等则降低。

2. 塑料的成分

在工业生产和应用上,单纯的树脂往往不能满足加工成型和实际使用的要求,需加入添加剂来改善其工艺性能、使用性能或降低成本。因此,塑料由树脂和各种添加剂组合而成,其中以树脂为主要成分,塑料的类型和基本性能取决于树脂。

1)树脂

树脂占塑料总质量的 40%~100%,其作用是使塑料具有可塑性和流动性,将各种添加剂黏结在一起,并决定塑料的类型(热固性和热塑性)和主要性能(物理性能、化学性能、力学性能等)。

2)添加剂

(1)填充剂。填充剂又称为填料,是塑料中重要但并非必要的成分。在聚合物中加入填充剂的目的是改善塑料性能,提高强度,扩大其使用范围;同时,减少贵重树脂的使用,降低成本。

对填充剂的一般要求是:易被树脂浸润,与树脂有很好的黏附性,本身性质稳定,价格便宜,来源丰富。填充剂有粉状、纤维状和片状三种形态。常用的粉状填充剂有木粉、大理石粉、滑石粉、石墨粉、金属粉等;纤维状填充剂有石棉纤维、玻璃纤维、碳纤维、金属须等;片状

填充剂有纸张、麻布、石棉布、玻璃布等。填充剂一般不超过塑料总质量的 40%。

(2)增塑剂。增塑剂是指能改善树脂成型时的流动性和提高塑件柔顺性的添加剂,它的作用是降低聚合物分子之间的作用力。

对增塑剂的要求是:与树脂有较好的相溶性,性能稳定,挥发性小,不降低塑件的主要性能,无毒、无害,成本低。常用的增塑剂有甲酸酯类、磷酸酯类和氯化石蜡等。增塑剂的使用应适量,过多会降低塑件的力学性能和耐热性能。

(3)稳定剂。稳定剂是指能阻缓塑料变质的物质,添加稳定剂的目的是阻止或抑制树脂受热、光、氧和霉菌等外界因素作用而发生质量变化和性能下降。

对稳定剂的要求是:耐水、耐油、耐化学药品,并与树脂相溶;在成型过程中不分解,挥发小,无色。常用的稳定剂有硬脂酸盐、铅的化合物及环氧化合物等。稳定剂可分为光稳定剂、热稳定剂、抗氧剂等。

(4)固化剂。固化剂是指能促使树脂固化、硬化的添加剂,又称硬化剂。它的作用是使树脂大分子链受热时发生交联,形成硬而稳定的体型网状结构。

(5)着色剂。在塑料中加入有机颜料、无机颜料或有机染料后,可以使塑料制件美观宜人,提高塑件的使用品质。

对着色剂的要求是:性能稳定,不易变色,不与其他成分(增塑剂、稳定剂等)起化学反应,着色力强;与树脂有很好的相溶性。日常生活用塑料制品应注意选用无毒、无味的着色剂。

有些着色剂兼有其他作用,如本色聚甲醛塑料用炭黑着色后可防止光老化。

塑料添加剂除上述几种外,还有润滑剂、发泡剂、阻燃剂、防静电剂、导电剂和导磁剂等,实际生产塑料制件时可根据需要选择适当的添加剂。

3. 塑料的特性

塑料的特性包括使用性能、加工性能和技术性能,其中技术性能是物理性能、化学性能、力学性能等的统称。塑料品种繁多,性能、用途也各不相同,但其主要特性有下面几个方面。

1)质量轻

塑料是一种轻质材料。普通塑料的密度约为 $0.83 \sim 2.3 \text{ g/cm}^3$,大约是铝材的 $1/2$,钢材的 $1/5$ 。如用发泡法得到的泡沫塑料,其密度可以小到 $0.01 \sim 0.59 \text{ g/cm}^3$ 。塑料质量轻这一特点,对于需要减轻自重的飞机、船舶、建筑、宇航工业等具有特别重要的意义。塑料还特别适合制造轻巧的日用品和家用电器零件。

2)电气绝缘性能好

塑料具有优良的电气绝缘性能,大多数塑料都有较高的介电强度,无论是在高频还是低频、在高压还是低压下,绝缘性能都十分优良;且耐电弧性好,介电损耗极小,所以被广泛用于电机、电器、电子工业中。

3)比强度和比刚度高

塑料的力学性能相对金属要差。塑件的刚度与木材相近,抗拉强度一般为 $10 \sim 500 \text{ MPa}$ 。但由于塑料的密度小,所以按单位质量计算相对的强度和刚度,即比强度(强度与相对密度之比称为比强度)和比刚度(弹性模量与相对密度之比称为比刚度)比较高。一些特殊塑料如纤维增强塑料拉伸比强度可达 $170 \sim 400 \text{ MPa}$,比一般钢材(约为 160 MPa)要高得多。

4)化学稳定性好

一般塑料均具有一定的抗酸、碱、盐等化学腐蚀的能力,有些塑料除此之外还能抗潮湿

空气、蒸汽的腐蚀作用,在这方面它们大大地超过了金属。其中最突出的是聚四氟乙烯,它对强酸、强碱及各种氧化剂等腐蚀性很强的介质都完全稳定,甚至在沸腾的“王水”中也不会发生任何变化。

由于塑料具有优越的化学稳定性,因此在化工设备制造中有极其广泛的用途,如做各种管道、密封件、换热器和在腐蚀介质中有相对运动的零部件等。

5)减摩、耐磨性能优良,减振消声性好

塑料的摩擦系数小,具有良好的减摩、耐磨性能。一些塑料摩擦副、传动副可以在水、油和带有腐蚀性的溶液中工作,也可以在半干摩擦、全干摩擦条件下工作,具有良好的自润滑性能。

同时,一般塑料的柔韧性比金属要大得多,当其受到频繁机械力冲击与振动时,因阻尼较大而具有良好的吸振与消声性能,这对高速运转的摩擦零部件以及受冲击载荷作用的零件具有重要意义。如一些高速运转的仪表齿轮、滚动轴承的保持架、机构的导轨等都可采用塑料制造。

6)热导率低,具有良好的光学性能

塑料的热导率比金属低得多,它们之间相差数百倍。利用热导率低的特点,可以用塑料来制作需要保温和绝热的器皿或零件。

有些塑料具有良好的透明性,透光率为90%以上,如有机玻璃、聚碳酸酯、聚苯乙烯等都具有良好的透明性,它们可用于制造光学透镜、航空玻璃、透明灯罩以及光导纤维材料等。

此外,塑料还具有良好的成型加工性、焊接性、可电镀性和着色能力。但与其他材料相比,塑料也有一定的缺陷,如塑料成型时收缩率较高,并且影响塑料成型收缩率的因素很多,这使得塑料制件要获得高的精度难度很大,故塑件精度普遍不如金属零件;塑料制件的使用温度范围较窄,塑料对温度的敏感性远比金属或其他非金属材料大,如热塑性塑料制件在高温下易变软产生热变形;塑料制件在光和热的作用下容易老化,使性能变差;塑料制件若长时间受载荷作用,即使温度不高,其形状也会产生“蠕变”,且这种变形是不可逆的,从而导致塑料制件尺寸精度的丧失。这些缺陷,使塑料的应用受到了一定限制。

1.1.2 常用塑料分类及用途

1. 塑料的分类

塑料的品种很多,从不同角度和原则考虑,分类的方式也各不相同,常用的塑料分类方法有以下两种。

1)按树脂分子结构和热性能分类

按树脂分子结构和热性能,塑料可以分为热塑性塑料和热固性塑料两类。

(1)热塑性塑料。热塑性塑料受热变软,成为可流动的黏稠液体。在此状态下具有可塑性,可塑制成一定形状的塑件,冷却后保持已成型的形状;如再加热,又可变软塑制成一定形状,如此可以反复进行多次。在成型加工过程中,一般只有物理变化,因而其变化过程是可逆的。聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯、有机玻璃、聚酰胺、聚甲醛、丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物(ABS)、聚碳酸酯、聚砜等塑料均属此类。

(2)热固性塑料。热固性塑料在加热时可塑制成一定形状的塑件。继续加热,当温度达

到一定程度时,分子会呈现网状结构,树脂会变成不熔或不溶的体型结构,形状也会固定下来不再变化。如再加热,也不会再软化,不再具有可塑性。在这一变化过程中既有物理变化,又有化学变化,因而其变化过程是不可逆的。酚醛塑料、氨基塑料、环氧树脂、有机硅塑料、不饱和聚酯塑料等均属此类。

2) 按塑料的性能及用途分类

按塑料的性能及用途,塑料可以分为通用塑料、工程塑料和特种塑料三类。

(1)通用塑料。通用塑料主要是指产量大、用途广、价格低的一类塑料。其中,聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、聚氯乙烯、酚醛塑料合称为五大通用塑料;其他如聚烯烃、乙烯基塑料,丙烯酸塑料,氨基塑料等也都属于通用塑料。它们的产量占塑料总产量的一半以上,构成了塑料工业的主体。

(2)工程塑料。工程塑料是指那些具有突出的力学性能和耐热性,或具有优异的耐化学试剂、耐溶剂性,或在变化的环境条件下可保持良好绝缘介电性能的塑料。工程塑料一般可作为承载结构件、耐热件、耐腐蚀件、绝缘件等使用。工程塑料的生产批量小,价格较昂贵,用途范围相对狭窄。从广义来说,几乎所有的塑料都可作为工程塑料使用,但实际上目前常用的工程塑料仅包括聚酰胺、聚甲醛、ABS、聚碳酸酯、聚砜、聚酰亚胺、聚苯硫醚、聚四氟乙烯等几种。

(3)特种塑料。特种塑料是指具有某种特殊功能的塑料,如用于导电、压电、热电、导磁、感光、防辐射、光导纤维、液晶、高分子分离膜、减摩耐磨等用途的塑料。特种塑料一般是由通用塑料或工程塑料用树脂经特殊处理或改性获得的,但也有一些是由专门合成的特种树脂制成的。

2. 常用塑料的性能和用途

常用塑料的性能和用途见附录 A。

1.1.3 塑料受热时的物理状态

塑料受热时的物理状态对塑料的成型加工有着非常重要的意义,不同类型的塑料在受热时会表现出不同的物理状态。

1. 热塑性塑料受热时的物理状态

热塑性塑料在恒定压力下,随着受热温度的变化,表现出三种物理状态和两个转变,如图 1-2 所示。

1) 玻璃态

塑料在 T_g (玻璃态与高弹态间的转变温度) 以下的状态是坚硬的固体,称之为玻璃态 (结晶型树脂为结晶态),它是大多数塑件的使用状态。处于此状态的塑料受外力作用有一定的变形能力,其变形是可逆的,即外力消失后,其形变也随之消失。在这种状态下,可进行车、铣、钻等切削加工。

T_g 是大多数塑料成型加工的最低温度,也是合理选用塑料的重要参数,是多数塑料使用温度的上限。在 T_g 以下某一温度,塑料受力容易发生断裂破坏,这一温度称为脆化温度,它是塑料使用温度的下限。

2) 高弹态

当塑料受热温度超过 T_g 时,由于聚合物的链段运动,塑料进入高弹态。处于这一状态

的塑料类似橡胶状态的弹性体,仍具有可逆的形变性质。在这种状态下,可进行真空成型、压延成型、中空成型、冲压、锻造等加工。但进行上述成型加工时,为得到所需形状和尺寸的塑件,成型后必须将塑件迅速冷却到 T_g 以下的温度。

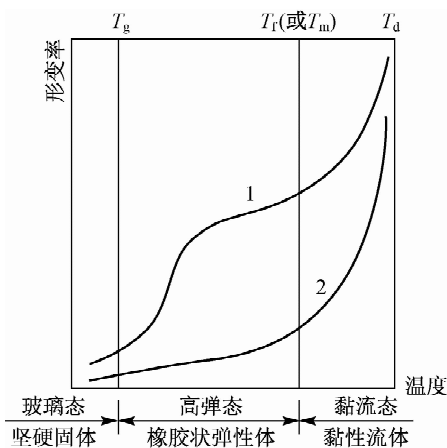


图 1-2 线型聚合物的热力学曲线

1—非结晶型高聚物；2—结晶型高聚物

T_g —玻璃化温度； T_f —非结晶型塑料黏流温度； T_d —分解温度； T_m —结晶型塑料的熔点

由图 1-2 中的曲线 1 可知,线型非结晶型高聚物有明显的高弹态,而由曲线 2 知,线型结晶型高聚物无明显的高弹态,这是因为完全结晶的高聚物无高弹性,即在高弹态温度下也不会有明显的弹性变形,但结晶型高聚物一般不可能完全结晶,都含有非结晶的部分,所以它们在高弹态温度阶段仍能产生一定程度的变形,只不过比较小而已。

3) 黏流态

当塑料受热温度超过 $T_f(T_m)$ (高弹态与黏流态的转变温度)时,由于分子链的整体运动,塑料开始有明显的流动,塑料开始进入黏流态变成黏性流体,通常也称之为熔体。在这种状态下可进行注射、挤出、吹塑等成型加工。当塑料继续加热,温度至 T_d (塑料开始分解温度)附近时,聚合物开始分解变色,所以, $T_f(T_m)$ 是塑料成型加工重要的参考温度, $T_f(T_m) \sim T_d$ 的范围越宽,塑料成型加工就越容易进行。

2. 热固性塑料受热时的物理状态

热固性塑料受热时,由于伴随着化学反应,它的物理状态变化与热塑性塑料明显不同。开始加热时,由于树脂是线型结构,与热塑性塑料相似,加热到一定温度时树脂分子链运动的结果使之很快由固态变成黏流态,这使它具有成型的性能。但这种流动状态存在的时间很短,很快由于化学反应的作用,分子结构变成网状,分子运动停止,塑料硬化变成坚硬的固体。再加热分子运动仍不能恢复,化学反应继续进行,分子结构变成体型,塑料还是坚硬的固体。当温度升到一定值时,塑料开始分解。

1.1.4 常用塑料的燃烧鉴别方法

各种塑料的燃烧特性及各种塑料的初步鉴别方法见表 1-1。

表 1-1 各种塑料的燃烧特性

塑料名称	可燃烧性	离火后是否自熄	火焰状态		塑料变化状态	气 味
硝化纤维素	极易	继续燃烧	黄色	—	迅速燃烧完	—
聚酯树脂	容易	继续燃烧		黑烟	微微膨胀,有时开裂	苯乙烯气味
ABS				软化,烧焦	特殊气味	
苯乙烯-丙烯腈共聚物(SAN)		浓黑烟		软化,起泡,比聚苯乙烯易烧焦	特殊聚丙烯腈味	
乙基纤维素		上端蓝色	熔融滴落	特殊气味		
聚乙烯(PE)		上端黄色,下端蓝色		—	石蜡燃烧味	
聚甲醛(POM)				强烈刺激性甲醛味,鱼腥味		
聚丙烯(PP)		有少量黑烟		石油味		
醋酸纤维素(CA)				醋酸味		
醋酸丁酸纤维素				丁酸味		
醋酸丙酸纤维素		黑烟	熔融滴落燃烧	丙酸味		
聚醋酸乙烯		黑烟		软化	醋酸味	
聚乙烯醇缩丁醛		黑烟		熔融滴落	特殊气味	
聚甲基丙烯酸甲酯		浅蓝色,顶端白色		融化,起泡	腐烂蔬菜臭味	
聚苯乙烯(PS)		橙黄色,浓黑烟呈炭束飞扬		软化,起泡	特殊气味,苯乙烯单体味	
酚醛(木粉)	缓慢	自熄	黄色	—	膨胀,开裂	木材和苯酚味
酚醛(布基)		继续燃烧		少量黑烟		布和苯酚味
酚醛(纸基)						纸和苯酚味
聚碳酸酯(PC)		缓慢自熄	黑烟炭束	熔融,起泡	特殊气味,腐烂花果臭味	
聚酰胺(PA)(尼龙)		蓝色,上端黄色		熔融滴落,起泡	羊毛烧焦味	
脲甲醛树脂	难	自熄	黄色,顶端淡黄色		膨胀,开裂,燃烧处变白色	特殊气味,甲醛味
三聚氰胺树脂			淡黄色			
氯化聚醚(CPT)		熄灭	飞溅,上端黄色,底蓝色,浓黑烟		熔融,不增长	特殊气味
聚苯醚(PPO)			浓黑烟		熔融	腐烂花果臭味
聚砜(PSU、PSF)			黄褐色烟			橡胶燃烧味
聚氯乙烯		离火即灭	黄色,下端绿色,白烟		软化	刺激性酸味
氯乙烯-醋酸乙烯共聚物			暗黄色			特殊气味
聚偏氯乙烯	黄色,端部绿色					
聚三氟氯乙烯(PCTFE)	不可燃烧	—	—		—	—

1.2 塑料成型的工艺性能

塑料成型的工艺性能是指塑料在成型过程中表现出的特有性能,影响着成型方法及工艺参数的选择和塑件的质量,并对模具设计的要求及质量影响很大。下面分别介绍热塑性塑料与热固性塑料成型的主要工艺性能和要求。

1.2.1 热塑性塑料成型的工艺性能

热塑性塑料成型的工艺性能除了 1.1.3 中介绍过的热力学性能和结晶性外,还应包括流动性、收缩性、热稳定性、吸湿性及相容性等。

1. 流动性

塑料熔体在一定温度与压力作用下充填模腔的能力称为流动性。所有塑料都是在熔融塑化状态下加工成型的,因此,流动性是塑料加工为塑件过程中所应具备的基本特性。塑料流动性的好坏,在很大程度上影响着成型工艺的许多参数,如成型温度、压力、模具浇注系统的尺寸及其他结构参数等。在设计塑件大小与壁厚时,也要考虑流动性的影响。

塑料熔体的流动性与塑料的分子结构和添加剂有关。只有线型分子结构而没有或很少有交联结构的塑料流动性好,而具有体型结构高分子的塑料一般不产生流动。塑料中加入填料会降低树脂的流动性,加入增塑剂、润滑剂可以提高流动性。流动性差的塑料,在注射成型时不易充满模腔,使塑件产生“缺肉”。当采用多个浇口时,塑料熔体的汇合处会因熔接不好而产生“熔接痕”。这些缺陷甚至会导致塑件报废。相反,若塑料的流动性太好,注射时又容易产生流涎和造成塑件溢边,成型的塑件容易变形。因此,成型过程中应适当控制塑料熔体的流动性,以获得满意的塑料制件。

塑料的流动性和成型工艺参数是互相影响和作用的。在实际成型过程中,还可以通过改变温度、压力和模具结构等工艺参数来改变塑料的流动性,如提高成型温度和压力、合理设计浇口的位置与尺寸、降低模腔表面粗糙度值等,都能大大提高流动性。

塑料的流动性采用统一的方法来测定。对于热塑性塑料的流动性常用熔体流动速率指数,简称熔融指数来表示。如图 1-3 所示,将被测塑料装于标准装置——熔融指数测定仪的塑化室 3 内,加热到使塑料熔融塑化的要求温度,然后在一定压力下使塑料熔体通过标准毛细管($\phi 2.09\text{ mm}$ 的口模 4),在 10 min 内挤出塑料的质量值即为要测定塑料的熔融指数。熔融指数的单位为 $\text{g}/(10\text{ min})$,通常用 MI 表示。熔融指数越大,塑料熔体的流动性越好。

为方便起见,在设计模具时,人们常用塑料熔体溢料间隙(溢边值)来反映塑料的流动性。所谓溢料间隙,是指塑料熔体在成型压力下不得溢出的最大间隙值。根据溢料间隙大小,塑料的流动性大致可划分为好、中等和差三个等级,它对设计者确定流道类型及浇注系统的尺寸、控制镶件和推杆等与模具孔的配合间隙等具有实用意义。常用塑料的流动性与溢料间隙见表 1-2。

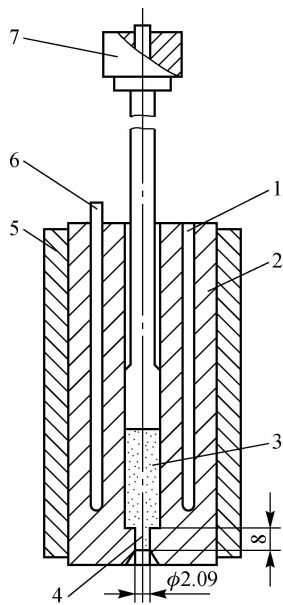


图 1-3 熔融指数测定仪结构图

1—温度计孔；2—料筒；3—塑化室；4—口模；5—保温层；
6—加热棒；7—重锤和柱塞(重锤加柱塞共重 2 160 g)

表 1-2 常用塑料的流动性与溢料间隙

溢料间隙/mm	流动性等级	塑料类型
≤0.03	好	聚酰胺、聚乙烯、聚丙烯、聚苯乙烯、醋酸纤维素
0.03~0.05	中等	改性聚苯乙烯、ABS、聚甲醛、聚甲基丙烯酸甲酯
0.05~0.08	差	聚碳酸酯、硬聚氯乙烯、聚砜、聚苯醚

2. 收缩性

一定量的塑料在熔融状态下的体积总比其固态下的体积大,说明塑料在成型及冷却过程中发生了体积收缩,这种性质称为收缩性。影响塑料收缩性的因素很多,主要有塑料的组成及结构、成型工艺方法、工艺条件、塑件几何形状及金属镶件的数量、模具结构及浇口形状与尺寸等。收缩性的大小以单位长度塑件收缩量的百分率来表示,称为收缩率。其公式为

$$S=\frac{L_m-L_s}{L_m}\times 100\% \tag{1-1}$$

式中, S 为塑料的收缩率(%); L_m 为模具在室温时的型腔尺寸(mm); L_s 为塑件在室温时的尺寸(mm)。

塑件产生收缩的原因除热胀冷缩外,往往还与聚合物固化过程中高分子堆砌密度的不同以及聚集状态的改变等因素有关。不同聚集状态的塑料其收缩率亦不同。一般结晶塑料制件的收缩率为 1.2%~4%,非结晶塑料制件的收缩率为 0.3%~1%。熔融状态的塑料有明显的可压缩性,利用这种可压缩性,成型时对塑料熔体施加压力,可以预防塑件的凹痕和缩孔的形成,提高塑件的尺寸精度。

由于塑料收缩性影响着塑件的尺寸精度,所以在设计模具时必须考虑收缩率的大小。又由于塑件的收缩是体积收缩,所以模具各项尺寸均应考虑其收缩的补偿问题。由式(1-1)得模具在室温时的型腔尺寸 L_m 为

$$L_m = \frac{L_s}{1-S} \quad (1-2)$$

根据幂级数展开公式为

$$\frac{1}{1-S} = 1 + S + S^2 + S^3 + \dots$$

由于 S 相对尺寸很小,故 S 的高次项可以忽略,因此有

$$L_m = L_s(1+S) \quad (1-3)$$

式(1-3)是模具型腔尺寸计算时经常应用的基本公式。但对于收缩率较大的大型模塑件,则建议采用式(1-2)。

3. 热稳定性

热稳定性是指塑料在受热时性能上发生变化的程度。有些塑料在长时间处于高温状态下时会发生降解、分解和变色等现象,并使性能发生变化。如聚氯乙烯、聚甲醛、ABS等塑料在成型时,如在料筒停留时间过长,就会有一种气味放出来,塑件颜色变深,所以它们的热稳定性不好。因此,这类塑料成型加工时必须正确控制温度及周期,选择合适的加工设备或在塑料中加入稳定剂。

4. 吸湿性

吸湿性是指塑料对水分的亲疏程度。据此,塑料大致可分为两种类型:一类是具有吸湿或黏附水分倾向的塑料,如聚酰胺、聚碳酸酯、ABS、聚苯醚、聚砜等;第二类是吸湿或黏附水分倾向极小的塑料,如聚乙烯、聚丙烯等。造成这种差别的主要原因是其组成及分子结构的不同。

在成型过程中如果水分含量超过一定限度,则水分会成在成型机械的高温料筒中变成气体,促使塑料高温水解,从而导致塑料降解、起泡、黏度下降,给成型带来困难,使塑件外观质量及机械强度明显下降。因此,塑料在加工成型前,一般都要经过干燥,使水分含量(质量分数)控制在 $0.2\% \sim 0.5\%$ 以下。如聚碳酸酯,要求水分含量在 0.2% 以下,可用循环鼓风干燥箱,在 $110\text{ }^\circ\text{C}$ 干燥 12 h 以上,而且在加工过程中要继续保温,以防重新吸潮。

5. 相容性

相容性是指两种或两种以上不同品种的塑料,在熔融状态不产生相互分离的能力。如果两种塑料不相容,则混熔时制件会出现分层、脱皮等表面缺陷。

不同种塑料的相容性与其分子结构有一定关系,分子结构相似者较易相容,如高压聚乙烯、低压聚乙烯、聚丙烯彼此之间的混熔等;分子结构不同时较难相容,如聚乙烯和聚苯乙烯之间的混熔等。

塑料的相容性俗称为共混性。通过塑料的这一性质,可以得到类似共聚物的综合性能,是改进塑料性能的重要途径之一。例如,聚碳酸酯与 ABS 塑料相容,在聚碳酸酯中加入 ABS 能改善其成型工艺性。

塑料的相容性对成型加工操作过程有影响。当改用不同品种的塑料时,应首先确定清

洗料筒的方法(一般用清洗法或拆洗法)。如果是相容性塑料,只需要将所要加工的原料直接加入成型设备中清洗即可;如果是不相容的塑料,就应换料筒或彻底清洗料筒。

1.2.2 热固性塑料成型的工艺性能

热固性塑料成型的工艺性能明显不同于热塑性塑料,其主要的工艺性能指标有收缩性、流动性、水分及挥发物含量、硬化速度等。

1. 收缩性

同热塑性塑料一样,热固性塑料也具有因成型加工而引起的尺寸减小,其收缩率计算方法与热塑性塑料相同。产生收缩的主要原因有以下几种。

1) 热收缩

这是因热胀冷缩而引起的尺寸变化。由于塑料线胀系数比钢材大几倍甚至十几倍,制件从成型加工温度冷却到室温时,就会产生远大于模具尺寸收缩量的收缩。它是成型收缩中主要的收缩因素之一。

2) 结构变化引起的收缩

热固性塑料在成型加工过程中发生了交联反应,分子由线型结构变为网状结构,即产生交联结构。分子交联使分子链间距离缩小,结构紧密,引起体积收缩。这种收缩所引起的体积减小是不可逆的,在进行到一定程度时不会继续产生。

3) 弹性恢复

塑件脱模时成型压力迅速降低,体积会略有膨胀,形成一定的弹性恢复,即产生负收缩(膨胀)。这种现象在成型玻璃纤维和布质为填料的热固性塑料时尤为明显。

4) 塑性变形

塑性变形主要表现在当制件脱模时,成型压力迅速降低,但模壁仍紧压着制件的周围,产生塑性变形。发生变形部分的收缩率比没有发生变形部分的收缩率大,因此,制件往往在平行于加压方向收缩较小,而垂直于加压方向收缩较大。为防止两个方向的收缩率相差过大,可采用迅速脱模的办法补救。

影响热固性塑料收缩率的因素主要有原材料、模具结构、成型方法及成型工艺条件等。塑料中树脂和填料的种类及含量,会直接影响收缩率的大小。当所用树脂在固化反应中放出的低分子挥发物较多时,收缩率较大;放出低分子挥发物较少时,收缩率较小。在同类塑料中,填料含量多,收缩率小;填料中无机填料比有机填料所得的塑件收缩率小,如有机填料(如木粉)的酚醛塑料的收缩率,就比相同数量无机填料(如硅粉)的酚醛塑料收缩率大。

凡有利于提高成型压力、增大塑料充模流动性、使制件密实的模具结构,均能减少制件的收缩率,如用压缩成型工艺模塑的塑件比注射成型工艺模塑的塑件收缩率小;凡能使制件密实、成型前使低分子挥发物逸出的工艺因素,都能使制件收缩率减少,如成型前对酚醛塑料的预热、加压等。

2. 流动性

流动性的意义与热塑性塑料流动性类同,但热固性塑料通常以拉西格流动性来表示,而不是用熔融指数表示。其测定原理如图 1-4 所示,将一定量的被测塑料预压成圆锭,然后将

圆锭放入加料腔 4 中,在一定的温度和压力下,测定塑料从流料槽 3 中挤出的长度(只计算光滑部分,单位为 mm),此即为拉西格流动值,数值大则流动性好。

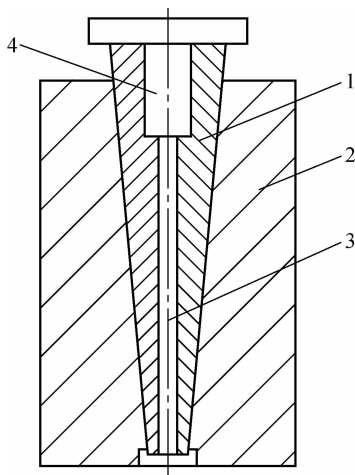


图 1-4 拉西格流动性测定模

1—组合凹模；2—模套；3—流料槽；4—加料腔

流动性过大容易造成溢料过多、填充不密实、塑件组织疏松、树脂与填料分头聚积、易粘模而使脱模和清理困难、早期硬化等缺陷；流动性过小则填充不足，不易成型，成型压力增大。影响热固性塑料流动性的主要因素有塑料原料和模具及工艺条件两方面。

1) 塑料原料

组成塑料的树脂和填料的性质及配比等对塑料的流动性都有影响，如树脂分子支链化程度低，流动性好；填料颗粒小，流动性好；加入的润滑剂及水分、挥发物含量高时，流动性好。

2) 模具及工艺条件

模具型腔表面光滑，型腔形状简单，采用有利于提高型腔压力的模具结构，在成型加工时进行适当的预热、预压，选择合适的模温等，都有利于提高热固性塑料的流动性。

3. 水分及挥发物含量

塑料中水分及挥发物的含量主要来自两个方面：一是来自热固性塑料在制造中未除尽的水分或贮存过程中由于包装不当而吸收的水分；二是来自塑料成型时化学反应的副产物。

适当的水分及挥发物含量在塑料中可起增塑作用，有利于成型，有利于提高充模流动性。例如，在酚醛塑料粉中通常要求水分及挥发物含量为 1.3%，若过多，则会促使流动性过大，导致成型周期增长，制件收缩率增大，易发生翘曲、变形，出现裂纹及表面粗糙等现象，同时，塑件的性能，尤其是电绝缘性能将会有所降低。

4. 硬化速度

硬化速度又称为固化速度。它是指热固性塑料在压制标准试样时，于模内变为坚硬而不熔、不溶状态的速度。通常以硬化 1 mm 厚试样所用的时间来表示，单位为 min/mm。

每一种热固性塑料都有一定的硬化速度。硬化速度太低，会使塑件成型周期延长；硬化

速度太高,不易于用来成型形状复杂的塑件。

硬化速度与所用塑料的性能、预压、预热、成型温度和压力的选择有关,采用预热、预压、提高成型温度和压力时,有利于提高硬化速度。

热固性塑料成型工艺性能除上述指标外,还有颗粒度、比体积、压片性等。成型工艺条件不同,对塑料的工艺性能要求也不同,可参照有关资料 and 具体成型要求进行选择确定。

1.3 塑件的设计

1.3.1 塑件的尺寸、精度和表面粗糙度

塑件的尺寸、精度和表面粗糙度一般是根据使用要求来确定的,但还必须充分考虑塑料的性能和成型工艺特点。

1. 塑件的尺寸

塑件尺寸的大小与塑料的流动性有关。在注射成型和传递成型中,流动性差的塑料(如布基塑料、玻璃纤维增强塑料等)及薄壁塑件等的尺寸不能设计得过大。大而薄的塑件在塑料未充满型腔时已经固化,或勉强能充满,但塑料的前锋已不能很好熔融而形成冷接缝,影响塑件外观和结构强度;注射成型的塑件尺寸还要受到注射机的注射量、锁模力和模板尺寸的限制;压缩和压注成型的塑件尺寸要受到压力机最大压力和压力机工作台面最大尺寸的限制。

2. 塑件的精度

塑件的尺寸精度是指所获得的塑件尺寸与产品图中尺寸的符合程度,即塑件尺寸的准确度,可用塑件允许的尺寸公差来表示。影响塑件尺寸精度的因素很多,首先是模具的制造精度和模具的磨损程度,其次是塑料收缩率的波动以及成型时工艺条件的变化,塑件成型后的时效变化和模具的结构形状等。因此,塑件的尺寸精度往往不高,应在保证使用要求的前提下尽可能选用低精度等级。

塑件的尺寸公差可依据 GB/T 14486—2008《塑料模塑件尺寸公差》确定,见附录 B。该标准将塑件分成 7 个精度等级,MT1 级精度要求较高,一般不采用。附录 B 只列出了公差值,基本尺寸的上、下偏差可根据工程的实际需要分配。附录 B 还分别给出了受模具活动部分影响的尺寸公差值和不受模具活动部分影响的尺寸公差值。此外,对于塑件上孔的公差可采用基孔制,可取表中数值冠以“+”号;对于塑件上轴的公差可采用基轴制,可取表中数值冠以“-”号。

塑件的精度要求要根据使用要求来确定,一般配合部分尺寸精度高于非配合部分尺寸精度,受塑料收缩率波动的影响,小尺寸易达到高精度。塑件的精度要求越高,模具的制造精度要求也越高,模具的制造难度及成本亦越高,同时塑件的废品率也会增加。因此,在塑件材料和工艺条件一定的情况下,应参照表 1-3 合理地选用精度等级。

表 1-3 常用模塑材料塑件公差等级和选用

材料代号	模塑材料		公差等级		
			标注公差尺寸		未注公差尺寸
			高精度	一般精度	
ABS	丙烯腈-丁二烯-苯乙烯共聚物		MT2	MT3	MT5
AS	丙烯腈-苯乙烯共聚物		MT2	MT3	MT5
CA	醋酸纤维素		MT3	MT4	MT6
EP	环氧树脂		MT2	MT3	MT5
PA	尼龙类塑料	无填料填充	MT3	MT4	MT6
		玻璃纤维填充	MT2	MT3	MT5
PBTP	聚对苯二甲酸 丁二(醇)酯	无填料填充	MT3	MT4	MT6
		玻璃纤维填充	MT2	MT3	MT5
PC	聚碳酸酯		MT2	MT3	MT5
PDAP	聚邻苯二甲酸二丙烯酸酯		MT2	MT3	MT5
PE	聚乙烯		MT5	MT6	MT7
PESU	聚醚砜		MT2	MT3	MT5
PETP	聚对苯二甲酸 乙二(醇)酯	无填料填充	MT3	MT4	MT6
		玻璃纤维填充	MT2	MT3	MT5
PF	酚醛塑料		MT2	MT3	MT5
			MT3	MT4	MT6
PMMA	聚甲基丙烯酸甲酯(有机玻璃)		MT2	MT3	MT5
POM	聚甲醛		MT3	MT4	MT6
			MT4	MT5	MT7
PP	聚丙烯		MT3	MT4	MT6
			MT2	MT3	MT5
			MT2	MT3	MT5
PPO	聚苯醚		MT2	MT3	MT5
PPS	聚苯硫醚		MT2	MT3	MT5
PS	聚苯乙烯		MT2	MT3	MT5
PSU、PSF	聚砜		MT2	MT3	MT5
HPVC	硬聚氯乙烯(无强塑剂)		MT2	MT3	MT5
LPVC	软聚氯乙烯		MT5	MT6	MT7
VF/MF	氨基塑料和 氨基酚醛塑料	无机填料填充	MT2	MT3	MT5
		有机填料填充	MT3	MT4	MT6

3. 塑件的表面粗糙度

塑件的外观要求越高,表面粗糙度值应越低。这除了在成型时从工艺上尽可能避免冷疤、云纹等疵点来保证外,主要取决于模具型腔的表面粗糙度。一般模具粗糙度要比塑件的要求低 1~2 级。模具在使用过程中,由于型腔磨损而使表面粗糙度不断加大,所以应随时予以抛光复原。透明塑件要求型腔和型芯的表面粗糙度相同,而不透明塑件则根据使用情况决定它们的表面粗糙度。塑件的表面粗糙度可参照 GB/T 14234—1993《塑料件表面粗糙度》选取,见表 1-4。一般取 $Ra1.6\sim0.2\ \mu\text{m}$ 。

表 1-4 塑料件表面粗糙度(GB/T 14234—1993)

加工 方法	材 料		Ra 参数值范围/ μm											
			0.012	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	25
注射成型	热塑性塑料	有机玻璃(PMMA)		0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6				
		ABS		0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6				
		AS		0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6				
		聚碳酸酯(PC)			0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6				
		聚苯乙烯(PS)			0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2			
		聚丙烯(PP)				0.1	0.2	0.4	0.8	1.6				
		聚酰胺(PA)				0.1	0.2	0.4	0.8	1.6				
		聚乙烯(PE)				0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3		
		聚甲醛(POM)			0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2			
		聚砜(PSF、PSU)					0.2	0.4	0.8	1.6	3.2			
		聚氯乙烯(PVC)					0.2	0.4	0.8	1.6	3.2			
		聚苯醚(PPO)					0.2	0.4	0.8	1.6	3.2			
		氯化聚醚(CPT)					0.2	0.4	0.8	1.6	3.2			
		PBT					0.2	0.4	0.8	1.6	3.2			
	热固性塑料	氨基塑料(VF)					0.2	0.4	0.8	1.6	3.2			
		酚醛塑料(PF)					0.2	0.4	0.8	1.6	3.2			
		硅酮塑料					0.2	0.4	0.8	1.6	3.2			
压制和挤出成型		氨基塑料(VF)					0.2	0.4	0.8	1.6	3.2			
		酚醛塑料(PF)					0.2	0.4	0.8	1.6	3.2			
		喀胺塑料				0.1	0.2	0.4	0.8					
		硅酮塑料					0.2	0.4	0.8					
		苯二酸二烯丙酯树脂(DAP)						0.4	0.8	1.6	3.2			
		不饱和聚酯						0.4	0.8	1.6	3.2			
		环氧树脂(EP)					0.2	0.4	0.8	1.6	3.2			
机械加工		有机玻璃(PMMA)		0.025	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8	1.6	3.2	6.3		
		聚酰胺(PA)								1.6	3.2	6.3	12.5	
		聚四氟乙烯(PTFE)							0.8	1.6	3.2	6.3	12.5	
		硬聚氯乙烯(HPVC)								1.6	3.2	6.3	12.5	
		增强塑料								1.6	3.2	6.3	12.5	25

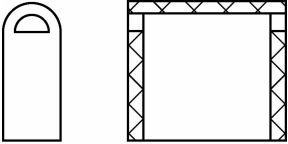
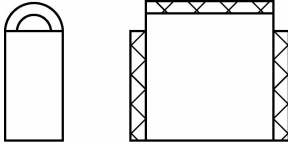
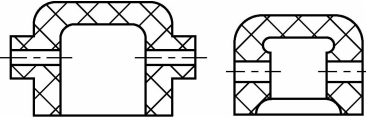
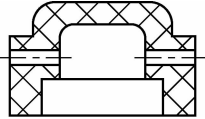
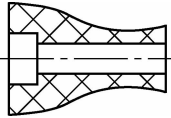
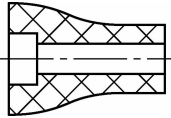
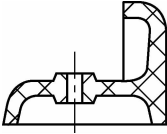
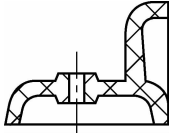
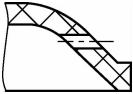
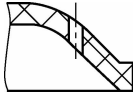
注:模塑增强塑料件 Ra 数值应相应增大两个档次。

1.3.2 塑件的几何形状

1. 塑件的表面形状

塑件的内外表面形状应尽可能保证有利于成型。由于侧抽芯和瓣合凹模或凸模不但使模具结构复杂,制造成本提高,而且还会在分型面上留下飞边,增加塑件的修整量。因此,塑件设计时应尽可能避免侧向凹凸,如果有侧向凹凸,模具设计时应在保证塑件使用要求的前提下,适当改变塑件的结构,以简化模具结构。通过改变塑件形状以利于成型的典型实例见表 1-5。

表 1-5 改变塑件形状成型的典型实例

序 号	不 合 理	合 理	说 明
1			将左侧孔容器改为右侧凹容器,则不需采用侧抽式或瓣合分型的模具
2			应避免塑件表面横向凹台,以便于脱模
3			塑件外侧凹,必须采用瓣合凹模,使塑料模具结构复杂,塑件表面有接缝
4			塑件内侧凹,抽芯困难
5			将横向侧孔改为垂直向孔,可免去侧抽芯机构

塑件内侧凹较浅并允许带有圆角时,则可以用整体凸模采取强制脱模的方法使塑件从凸模上脱下,如图 1-5(a)所示,但此时塑件在脱模温度下应具有足够的弹性,以使塑件在强制脱模时不会变形,如聚乙烯、聚丙烯、聚甲醛等能适应这种情况。塑件外侧凹凸也可以强制脱模,如图 1-5(b)所示。但是,多数情况下塑件的侧向凸凹不可能强制脱模,此时应采用侧向分型抽芯结构的模具。

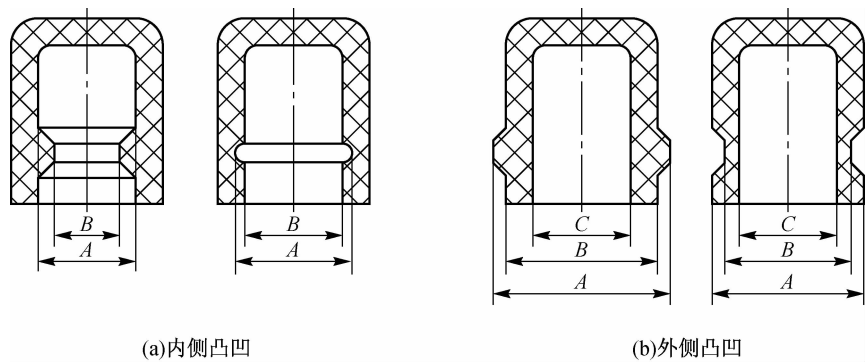


图 1-5 可强制脱模的侧向

可强制脱模的内侧凸凹深度计算公式为

$$\frac{A-B}{B} \times 100\% \leq 5\%$$

可强制脱模的外侧凸凹深度计算公式为

$$\frac{A-B}{C} \times 100\% \leq 5\%$$

2. 塑件的壁厚

塑件的壁厚对塑件质量有很大影响,壁厚过小,成型时流动阻力大,大型复杂塑件就难以充满型腔。塑件壁厚的最小尺寸应满足以下要求:具有足够的强度和刚度;脱模时能经受推出机构的推出力而不变形;能承受装配时的紧固力。塑件最小壁厚值随塑料品种和塑件大小不同而异。壁厚过大,不但造成原料的浪费,而且对热固性塑料成型来说增加了模压成型时间,并易造成固化不完全;对热塑性塑料则增加了冷却时间,降低了生产率,另外也影响产品质量,如产生气泡、缩孔、凹陷等缺陷。所以,塑件的壁厚应有一个合理的范围。

热固性塑料的小型塑件,壁厚取 0.6~2.5 mm;热固性塑料的大型塑件,壁厚取 3.2~8 mm;布基酚醛塑料件等流动性差者壁厚应取大些,但一般不宜大于 10 mm;脆性塑料如矿物填充的酚醛塑料件壁厚应不小于 3.2 mm。根据外形尺寸推荐的热固性塑件壁厚值,见表 1-6。热塑性塑料易于成型薄壁塑件,最小壁厚能达到 0.25 mm,但一般不宜小于 0.6~0.9 mm,常取 2~4 mm。各种热塑性塑件壁厚常用值见表 1-7。

表 1-6 热固性塑件壁厚 单位:mm

塑件外形高度 塑料名称	<50	50~100	>100
粉状填料的酚醛塑料	0.7~2	2~3	5~6.5
纤维状填料的酚醛塑料	1.5~2	2.5~3.5	6~8
氨基塑料(VF)	1	1.3~2	3~4
聚酯玻璃纤维填料的塑料	1~2	2.4~3.2	>4.8
聚酯无机物填料的塑料	1~2	3.2~4.8	>4.8

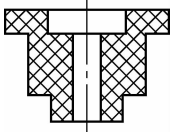
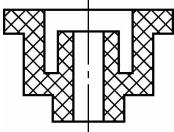
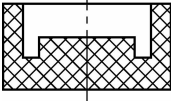
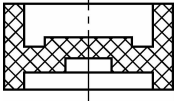
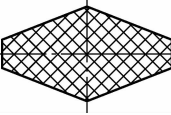
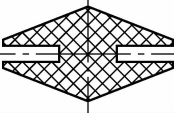
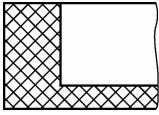
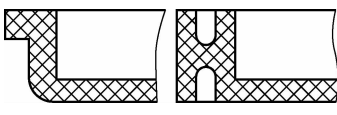
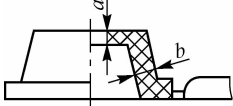
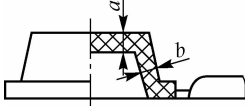
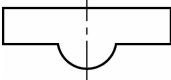
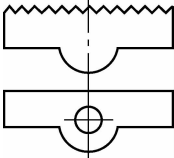
表 1-7 热塑性塑料最小壁厚及推荐壁厚

单位: mm

塑料种类	塑件流程 50 mm 的最小壁厚	一般塑件壁厚	大型塑件壁厚
聚酰胺(PA)	0.45	1.75~2.6	>2.4~3.2
聚苯乙烯(PS)	0.75	2.25~2.6	>3.2~5.4
改性聚苯乙烯	0.75	2.29~2.6	>3.2~5.4
有机玻璃(PMMA)	0.8	2.5~2.8	>4~6.5
聚甲醛(POM)	0.8	2.4~2.6	>3.2~5.4
软聚氯乙烯(LPVC)	0.85	2.25~2.5	>2.4~3.2
聚丙烯(PP)	0.85	2.45~2.75	>2.4~3.2
氯化聚醚(CPT)	0.85	2.35~2.8	>2.5~3.4
聚碳酸酯(PC)	0.95	2.6~2.8	>3~4.5
硬聚氯乙烯(HPVC)	1.15	2.6~2.8	>3.2~5.8
聚苯醚(PPO)	1.2	2.75~3.1	>3.5~6.4
聚乙烯(PE)	0.6	2.25~2.6	>2.4~3.2

同一塑料零件的壁厚应尽可能一致,否则会因冷却或固化速度不同产生附加内应力使塑件产生翘曲、缩孔、裂纹甚至开裂。塑件局部过厚,外表会出现凹痕,内部会产生气泡。改善塑件壁厚的典型实例见表 1-8。如果结构要求必须有不同壁厚时,不同壁厚的比例不应超过 1 : 3,且应避免厚薄过渡部分的突然变化。

表 1-8 改善塑件壁厚的典型实例

序 号	不 合 理	合 理	说 明
1			左图壁厚不均匀,易产生气泡及使塑件变形;右图壁厚均匀,改善了成型工艺条件,有利于保证质量
2			
3			
4			
5			平顶塑件,采用侧浇口进料时,为避免平面上留有熔接痕,必须保证平面进料通畅,故 $a > b$
6			壁厚不均匀塑件,可在易产生凹痕表面采用波纹形式或在壁厚处开设工艺孔,以掩盖或清除凹痕

3. 塑件的脱模斜度

塑件冷却时的收缩会使它包紧模具型芯或型腔中的凸起部分,因此,为了便于从塑件中抽出型芯或从型腔中脱出塑件,防止脱模时擦伤塑件,在设计塑件时,必须使塑件内外表面沿脱模方向留有足够的斜度,在模具上即称为脱模斜度,如图 1-6 所示。

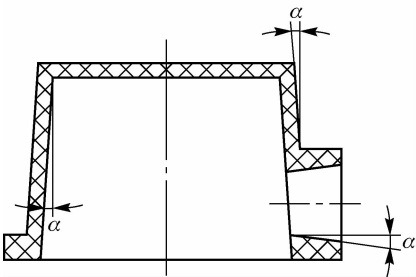


图 1-6 脱模斜度

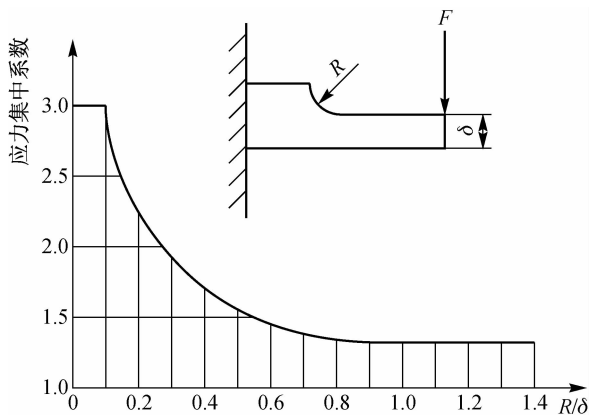
脱模斜度取决于塑件的形状、壁厚及塑料的收缩率,一般取 $30' \sim 1^{\circ}30'$ 。成型型芯较长或型腔较深,则斜度应取偏小值;反之可选用偏大值。塑件高度不大(小于 $2 \sim 3 \text{ mm}$)时可不设计脱模斜度。当使用上有特殊要求时,脱模斜度可采用外表面(型腔)为 $5'$,内表面(型芯)为 $10' \sim 20'$ 。沿脱模方向有几个孔或矩形槽而使脱模阻力增大时,宜采用较大的脱模斜度。侧壁带有皮革花纹时应留有 $4^{\circ} \sim 6^{\circ}$ 的脱模斜度。在一般情况下,若脱模斜度不妨碍塑件的使用,则可将斜度值取大些。有时开模后为了使塑件留在凹模内或凸模上,在设计模具时往往有意地减小凹模或凸模的脱模斜度。热固性塑料一般较热塑性塑料收缩率要小一些,故脱模斜度也相应小一些。压缩成型较大的塑件时,内表面的脱模斜度应比外表面的大些,以保证顶缘部分的密度。一般情况下,脱模斜度不包括在塑件的公差范围内。常用塑件的脱模斜度见表 1-9。

表 1-9 常用塑件的脱模斜度

塑料名称	脱模斜度	
	型腔	型芯
聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、软聚氯乙烯(LPVC)、聚酰胺(PA)、氯化聚醚(CPT)	$25' \sim 45'$	$20' \sim 45'$
硬聚氯乙烯(HPVC)、聚碳酸酯(PC)、聚砜(PSF、PSU)	$35' \sim 40'$	$30' \sim 50'$
聚苯乙烯(PS)、有机玻璃(PMMA)、ABS、聚甲醛(POM)	$35' \sim 1^{\circ}30'$	$30' \sim 40'$
热固性塑料	$25' \sim 40'$	$20' \sim 50'$

4. 塑件的圆角

塑件除了使用上要求采用尖角之外,其余所有转角处应尽可能采用圆角过渡,因为带有尖角的塑件,往往会在尖角处产生应力集中,在受力或受冲击振动时发生破裂,甚至在脱模过程由于成型内应力而开裂,特别是塑件的内角处。如图 1-7 所示为塑件受应力作用时应力集中系数与相对圆角半径 R/δ 的关系。从图中可以看出,理想的内圆角半径应为壁厚的 $1/3$ 以上。

图 1-7 应力集中系数与 R/δ 的关系

塑件上转角处采用圆角过渡,不仅避免了应力集中,提高了强度,而且还使塑件变得美观,有利于塑料充模时的流动。此外,有了圆角,模具在淬火或使用不至于因应力集中而开裂。但是采用圆角会使凹模型腔加工复杂化,使钳工劳动量增大。通常,内壁圆角半径应是壁厚的 $1/2$,而外壁圆角半径可为壁厚的 1.5 倍,一般圆角半径不应小于 0.5 mm 。壁厚不等的两壁转角,可按平均壁厚确定内、外壁圆角半径。对于塑件的某些部位,在成型必须处于分型面、型芯与型腔配合处等位置时,则不便制成圆角,而采用尖角。

5. 塑件的加强筋

为了确保塑件的强度和刚度而又不致使塑件的壁厚过大,可在塑件适当的位置上设置加强筋。有的加强筋还能改善成型时熔体的流动状况。加强筋的厚度比塑件壁厚 t 小,加强筋的尺寸如图 1-8 所示。

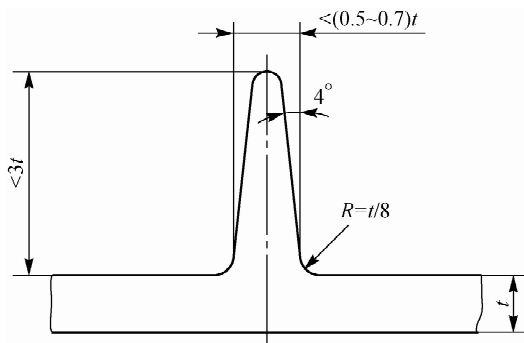


图 1-8 加强筋的尺寸

在塑件上设置加强筋有以下要求:

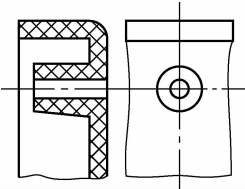
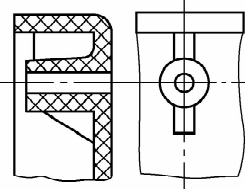
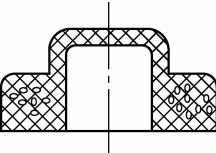
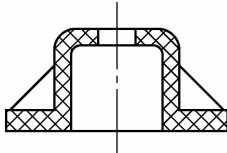
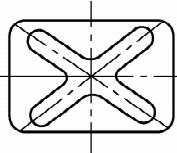
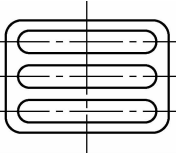
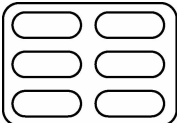
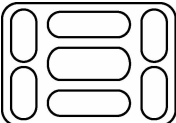
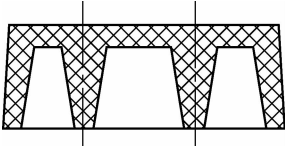
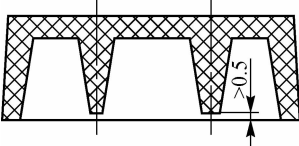
- (1) 布置加强筋时,应尽量减少塑料的局部集中,以免产生缩孔和气泡。
- (2) 加强筋的尺寸不宜过大,以矮一些、多一些为好。
- (3) 加强筋之间中心距应大于两倍壁厚,这样既可以避免缩孔产生,又可以提高塑件的强度和刚度。
- (4) 加强筋布置的方向尽量与熔体流动的方向一致,以利于熔体充满型腔,避免熔体流

动受到搅乱。

(5)加强筋的端面不应与塑件支承面平齐,应有一定距离。

加强筋设计的典型实例见表 1-10。

表 1-10 加强筋设计的典型实例

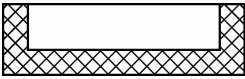
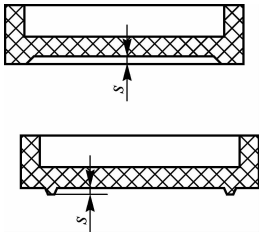
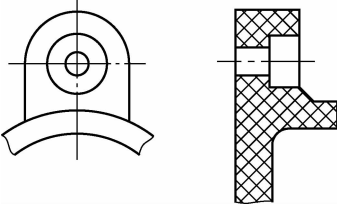
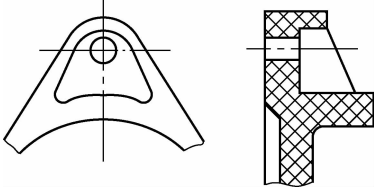
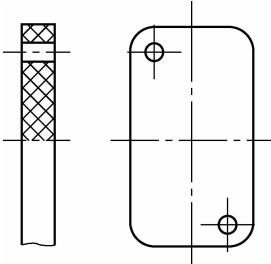
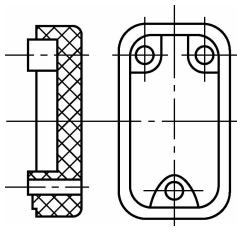
序 号	不 合 理	合 理	说 明
1			增设加强筋后,可提高塑件强度,改善熔体流动状况
2			采用加强筋,既不影响塑件强度,又可避免因壁厚不均而产生缩孔
3			平板状塑件,加强筋应与熔体流动方向平行,以免造成充模阻力过大和降低塑件韧性
4			非平板状塑件,加强筋应交错排列,以免塑件产生翘曲变形
5			加强筋应设计得矮一些,与支承面应有大于 0.5 mm 的间隙

6. 塑件的支承面及凸台

以塑件的整个底面作为支承面是不合理的,因为塑件稍许翘曲或变形就会使底面不平。通常采用的是底脚(三点或四点)支承或边框支承,见表 1-11 中的序号 1。

凸台是用来增强孔或装配附件的凸出部分的。设计凸台时,除应考虑前面所述的一般问题外,在可能情况下,凸台应当位于边角部位,其几何尺寸应小,高度不应超过其直径的两倍,并应具有足够的脱模斜度。设计固定用凸台时,除应保证有足够的强度以承受紧固时的作用力外,在转折处不应有突变,连接面应局部接触,见表 1-11 中的序号 2 和序号 3。

表 1-11 支承面和固定凸台的结构

序 号	不 合 理	合 理	说 明
1			采用凸边或底脚作支承面,凸边或底脚的高度 s 取 $0.3\sim 0.5\text{ mm}$
2			安装紧固螺钉用的凸台或凸耳应有足够的强度,避免突然过渡和用整个底面作支承面
3			凸台应位于边角部位

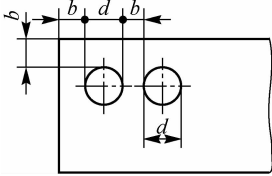
7. 塑件上孔的设计

塑件上的孔有通孔、不通孔、形状复杂的孔、螺纹孔,对这些孔的设计有以下要求:

- (1)孔的形状宜简单。形状复杂的孔,模具制造较困难。
- (2)孔与孔之间、孔与壁之间均应有足够的距离,见表 1-12。

表 1-12 热固性塑料件孔间距、孔边距与孔径的关系

单位:mm

孔 径 d	~ 1.5	$1.5\sim 3$	$3\sim 6$	$6\sim 10$	$10\sim 18$	$18\sim 30$	
孔间距、孔边距 b	$1\sim 1.5$	$1.5\sim 2$	$2\sim 3$	$3\sim 4$	$4\sim 5$	$5\sim 7$	

注:热塑性塑料为热固性塑料的 75%,增强塑料取大值,如两孔孔径不一致时,则以小孔孔径查表。

(3)孔径与孔的深度也有一定关系,见表 1-13。塑件上紧固用的孔和其他受力的孔,应设计出凸台予以加强,如图 1-9 所示。固定孔建议采用如图 1-10(a)所示沉头螺钉孔形式,一般不采用如图 1-10(b)所示的形式。如果必须采用图 1-10(b)所示形式时,则应采用如图 1-10(c)所示的形式,以便设置型芯。

表 1-13 塑料的最小孔径和最大孔深

成型方法	塑料名称	最小孔径 d/mm	最大孔深	
			不通孔	通孔
压缩成型与压注成型	压缩粉	1	压缩: $2d$ 压注: $4d$	压缩: $4d$ 压注: $8d$
	纤维塑料	1.5		
	碎布塑料	1.5		
注射成型	聚酰胺(PA) 聚乙烯(PE) 软聚氯乙烯(LPVC)	0.2	$4d$	$10d$
	有机玻璃(PMMA)	0.25	$3d$	$8d$
	氯化聚醚(CPT) 聚甲醛(POM) 聚苯醚(PPO)	0.3	$3d$	$8d$
	硬聚氯乙烯(HPVC)	0.25		
	改性聚苯乙烯	0.3		
	聚碳酸酯(PC) 聚砜(PSU、PSF)	0.35	$2d$	$6d$

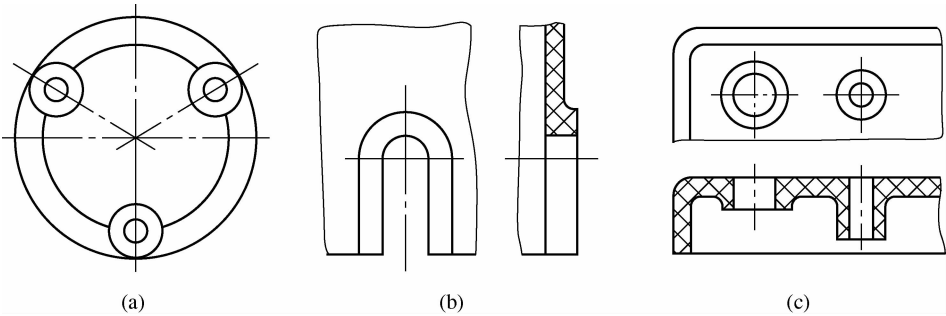


图 1-9 孔的加强

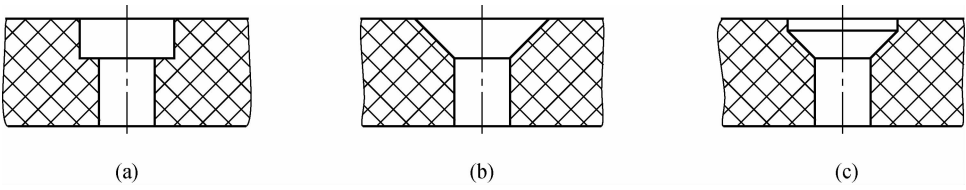


图 1-10 固定孔的形式

互相垂直的孔或斜交的孔,在压缩成型塑件中不宜采用,而在注射模塑和传递模塑中可以采用,但两个孔的型芯不能采用如图 1-11(a)所示的互相嵌合结构,而应采用如图 1-11(b)所示的结构形式。成型时,先将小孔型芯从两边抽出后,再抽大孔型芯。需要设置侧壁孔时,应尽可能避免侧抽芯装置,以使模具结构简化。孔的设计应便于模塑成型。

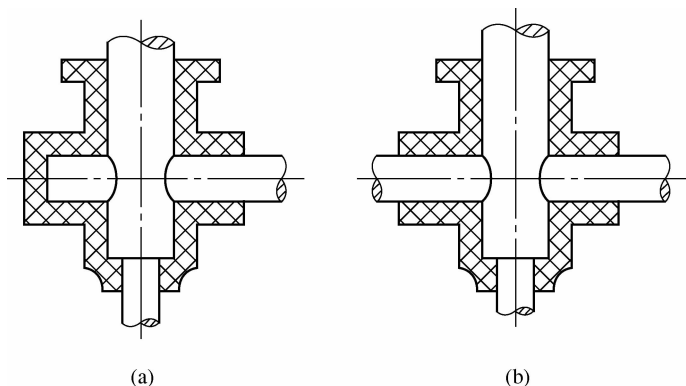


图 1-11 两相交孔的设计

8. 塑件上的花纹、文字及符号

塑件上的花纹(如凸纹、凹纹、皮革纹等),有的是使用上的需要,有的则是为了装饰。设计的花纹应易于成型和脱模,便于模具的制造,因此,纹向应与脱模方向一致。如图 1-12(a)和图 1-12(d)所示,塑件脱模麻烦,模具结构复杂;如图 1-12(c)所示,在分型面处的飞边不易清除;而如图 1-12(b)和图 1-12(e)所示,则脱模方便,模具结构简单,制造方便,而且分型面处的飞边为一圆形,容易去除。塑件侧表面的皮革纹等是依靠侧壁斜度保证脱模的。

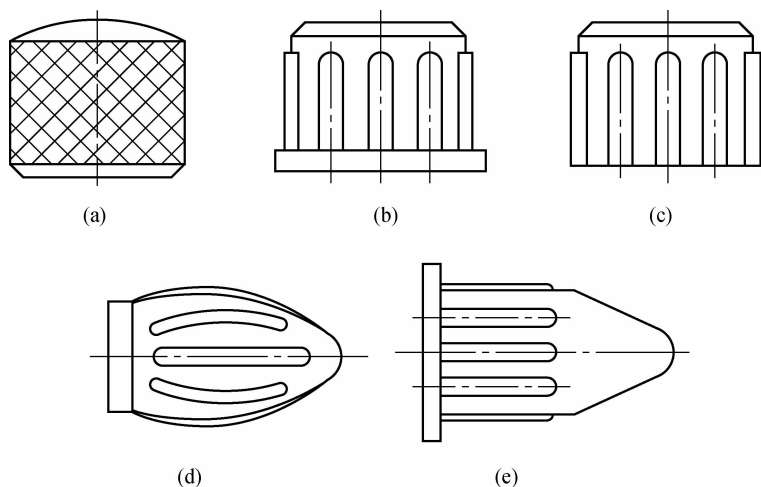


图 1-12 塑件花纹的设计

塑件上的标记、符号和文字有三种不同的结构形式:

(1)凸字,如图 1-13(a)所示。这种形式制模方便,但使用过程中凸字容易损坏。

(2)凹字,如图 1-13(b)所示。凹字可以填上各种颜色的油漆,字迹鲜艳,但这种形式如果用机械加工模具则较麻烦,现多用电铸、冷挤压、电火花加工等方法制造。

(3)凹坑凸字,在凸字的周围带有凹入的装饰框,如图 1-13(c)所示。制造这种结构形式的模具可以采用镶块中刻凹字,然后镶入模体中。这种结构形式的凸字在使用时不易损坏,模具制造也较方便。

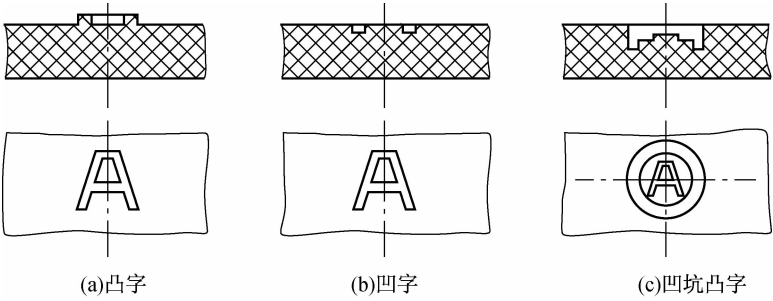


图 1-13 塑件上的文字结构形式

塑件上标记的凸出高度不小于 0.2 mm,线条宽度一般不小于 0.3 mm,通常取 0.8 mm。两条线的间距不小于 0.4 mm,凹坑凸字的边框可比字高出 0.3 mm 以上,标记的脱模斜度可大于 10°。

1.3.3 塑料的螺纹和齿轮设计

1. 塑料螺纹设计

塑件上的螺纹可以直接模塑成型,也可以用成型后机械加工成型,在经常装拆和受力较大的部位,则应该采用金属的螺纹嵌件。塑件上的螺纹应选用螺牙尺寸较大者,螺纹直径较小时不宜采用细牙螺纹,见表 1-14。特别是用纤维或布基做填料的塑料成型螺纹,其螺牙尖端部分常常被强度不高的纯树脂所填充,如螺牙过细将会影响使用强度。

表 1-14 塑料螺纹的选用范围

螺纹公称直径 M/mm	螺纹种类				
	公制标准螺纹	1 级细牙螺纹	2 级细牙螺纹	3 级细牙螺纹	4 级细牙螺纹
<3	+	—	—	—	—
3~6	+	—	—	—	—
6~10	+	+	—	—	—
10~18	+	+	+	—	—
18~30	+	+	+	+	—
30~50	+	+	+	+	+

注:表中“+”表示可选用螺纹,“—”表示不可选用螺纹。

为了防止螺孔最外圈的螺纹崩裂或变形,应使螺纹最外圈和最里圈留有台阶,如图 1-14 和图 1-15 所示。螺纹的始端和终端应逐渐开始和结束,有一段 1 mm 的过渡长度,其值可按表 1-15 选取。同一螺纹型芯或型环上有前后两段螺纹时,应使两段螺纹旋向相同,螺距相等,如图 1-16(a)所示,否则无法将塑件从螺纹型芯或型环上旋下来。当螺距不等或旋向不同时,就需采用两段型芯或型环组合在一起的形式,成型后分段旋下,如图 1-16(b)所示。

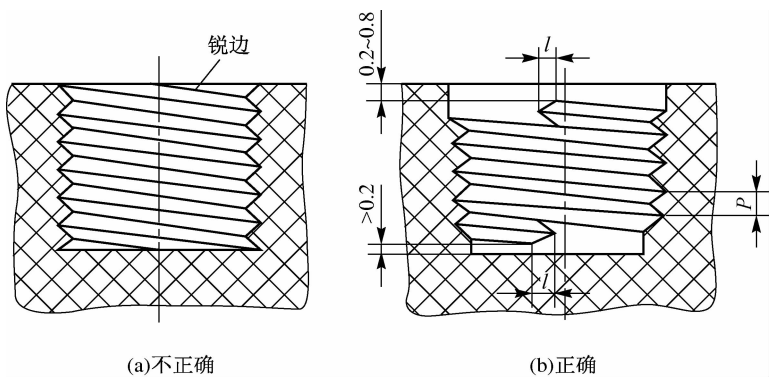


图 1-14 塑料内螺纹的正误形状

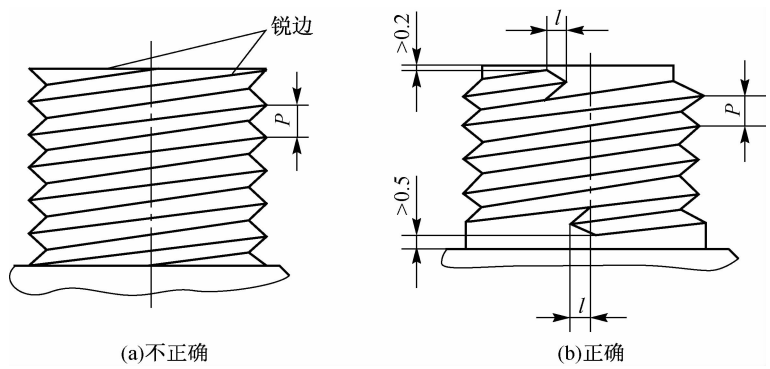


图 1-15 塑料外螺纹的正误形状

表 1-15 塑件上螺纹始末过渡部分长度

单位: mm

螺纹直径 M	螺 距 P		
	<0.5	0.5~1	>1
	始末过渡部分长度尺寸 l		
≤10	1	2	3
10~20	2	3	4
20~34	2	4	6
34~52	3	6	8
>52	3	8	10

注: 始末过渡部分长度相当于车制金属螺纹型芯或型腔的退刀长度。

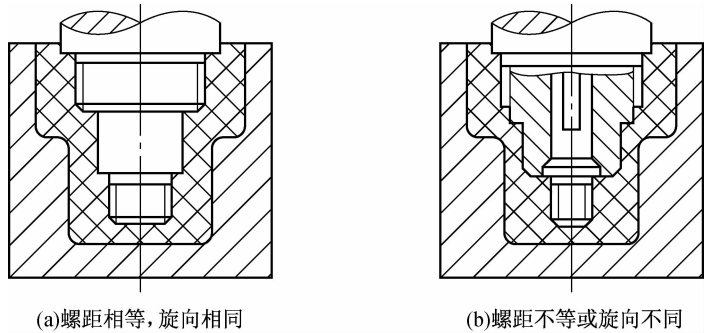


图 1-16 两段同轴螺纹的成型

2. 塑料齿轮设计

由于塑料齿轮具有质量轻、弹性模量小、在同样制造精度下比金属齿轮传动噪声小等特点,因此,近年来在机电产品、民用产品上精度和强度要求不太高的传动机构中应用越来越广泛,其常用的塑料有聚酰胺、聚甲醛、聚碳酸酯及聚砒等。

为了使塑料齿轮适应注射成型工艺,保证轮缘、辐板和轮毂有相应的厚度,要求轮缘宽度 t_1 至少为全齿高 t 的 3 倍,辐板厚度 H_1 应小于或等于轮缘厚度 H ,轮毂厚度 H_2 应大于或等于轮缘厚度 H ,并相当于轴孔直径 D ,最小轮毂外径 D_1 应为 $1.5D \sim 3D$,如图 1-17 所示。

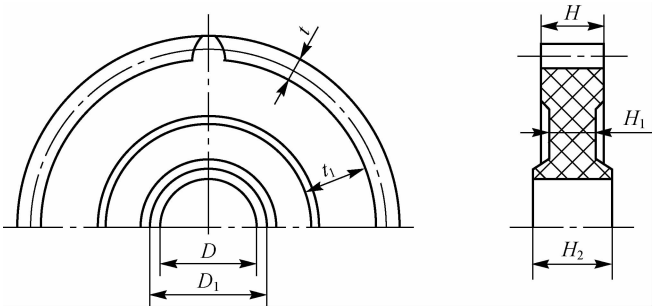


图 1-17 塑料齿轮各部分尺寸

由于齿轮承受的是交变载荷,因此应尽量避免截面的突然变化,各表面相接或转折处应尽可能用大圆角过渡,以减小尖角处的应力集中和成型时应力的影响。为了避免装配时产生应力,轴和孔应尽可能采用过渡配合而不采用过盈配合,并用销钉固定或月形孔配合的形式传递扭矩,如图 1-18 所示。

对于薄型齿轮,厚度不均匀能引起齿形歪斜,若用无轮毂无轮缘的齿轮可以很好地改善这种情况。但如在辐板上有大的孔时,因孔在成型时很少向中心收缩,会使齿轮歪斜,如图 1-19(a)所示;若改用如图 1-19(b)所示的形式,即轮毂和轮缘之间采用薄筋时,则能保证轮缘向中心收缩。

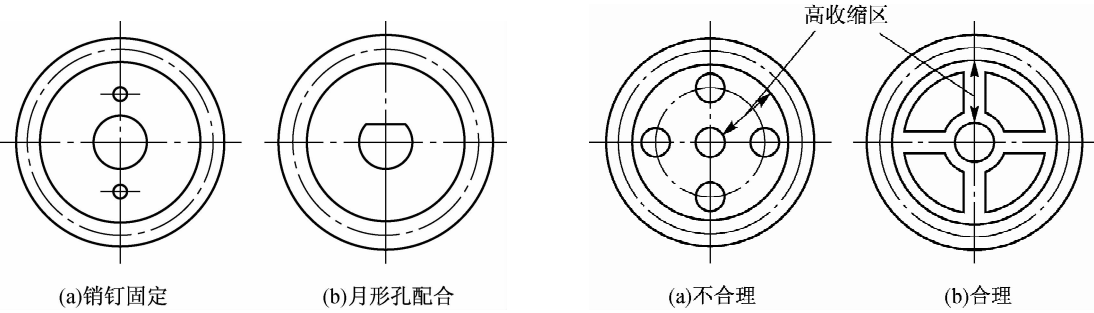


图 1-18 塑料齿轮孔与轴固定形式

图 1-19 塑料齿轮辐板结构

由于不同塑料的收缩率相差较大,收缩的影响因素也较多,所以一般只宜用收缩率相同的塑料模塑成型齿轮相互啮合工作。

1.3.4 嵌件设计

1. 嵌件的用途

在塑件内嵌入一些零件形成不可拆卸的连接,所嵌入的零件即称嵌件。各种塑件中嵌件的作用不尽相同,有的是为了增加塑件的局部强度、硬度、耐磨性;有的是为了保证电性能;有的是为增加塑件形状和尺寸的稳定性,提高精度等。嵌件的材料一般为金属材料,也有用非金属材料的。

2. 嵌件的形式

常用的嵌件如图 1-20 所示。其中,图 1-20(a)为圆筒形嵌件,有通孔和盲孔两种,以带螺孔最为常见;图 1-20(b)为圆柱形嵌件,如螺杆、光杆等;图 1-20(c)、(d)为板形或片形嵌件,如导体、焊片等;图 1-20(e)为汽车转向盘中的细杆状贯穿嵌件。

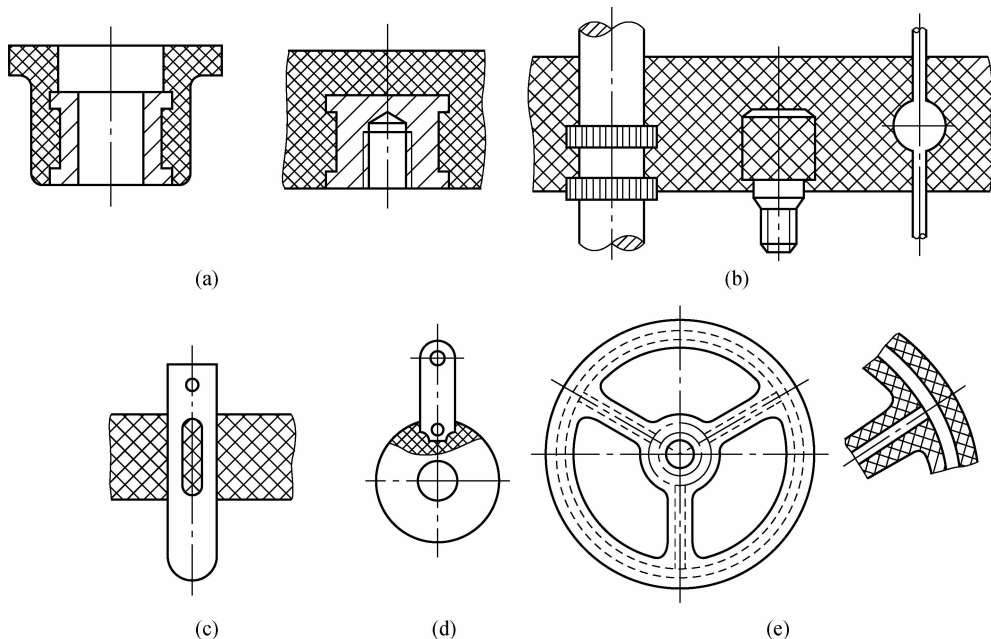


图 1-20 常用的嵌件种类

3. 带嵌件塑件的设计

设计带嵌件的塑件时,应注意的主要问题是嵌件固定的牢靠性和塑件的强度以及模塑过程中嵌件定位的稳定性。解决以上问题的关键是嵌件的结构设计及其与塑件的配合关系。

1) 嵌件材料及嵌入部分的结构

嵌件材料与塑料的膨胀系数应尽可能接近,嵌件嵌入部分必须保证嵌件受力时不转动或拔出,其结构有以下几种:

(1) 嵌入部分表面滚花和开槽,小件可只滚花不开槽,见图 1-20(a)、(b)。

(2) 嵌入部分压扁,这种结构用于导电部分必须要保证有一定横截面的场合,如图 1-21(a)所示。

- (3)板、片状嵌件嵌入部分采用切口、冲孔、打弯的方法固定,如图 1-21(b)所示。
- (4)薄壁管状嵌件可将端部翻边以便固定,如图 1-21(c)所示。

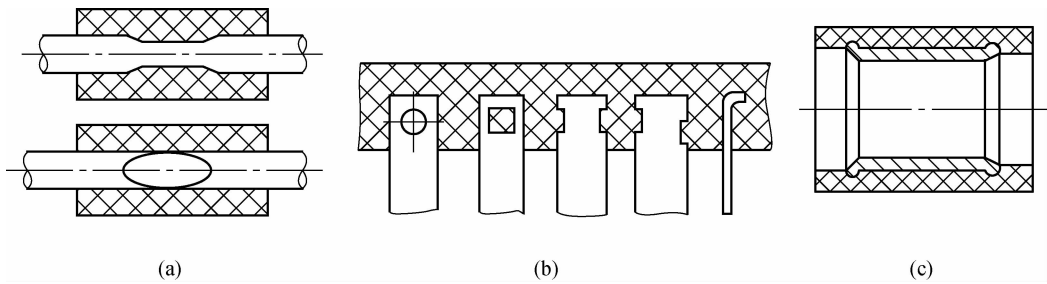


图 1-21 嵌件嵌入部分的结构形式

2)嵌件在模具中的定位与固定

设计时必须保证嵌件在模具中正确定位和牢靠固定,以防模塑时发生歪斜或变形。此外,还应防止模塑时塑料挤入嵌件上的预留孔或螺纹中,圆柱形嵌件一般采用插入模具相应孔中加以固定。为了增加嵌件固定的稳定性和防止塑料挤入螺纹中,常采用如图1-22 所示的结构及配合。对于不通孔的螺纹嵌件,可将嵌件插入模具中的圆形光杆上,如图 1-23(a)所示;为了增强稳固性,可采用外部凸台或内部台阶与模具密切配合,如图 1-23(b)、图 1-23(c)和图 1-23(d)所示。对于通孔的螺纹嵌件,可将其拧在具有外螺纹的插入嵌件上,如图 1-23(e)所示。对于注射压力不大,螺纹细小(M3.5 mm 以下)的通孔嵌件也可直接插在光杆上。

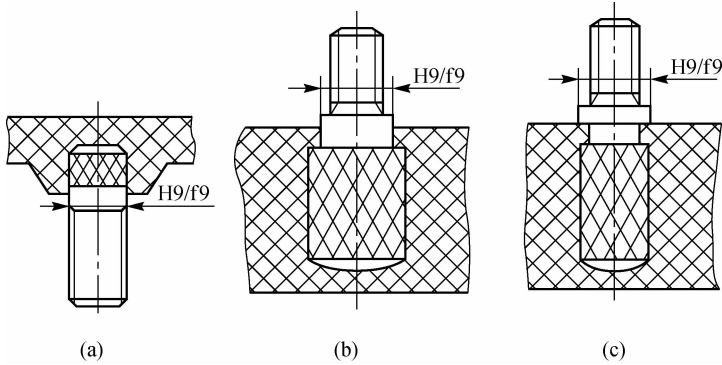


图 1-22 外螺纹嵌件在模具内的定位方法

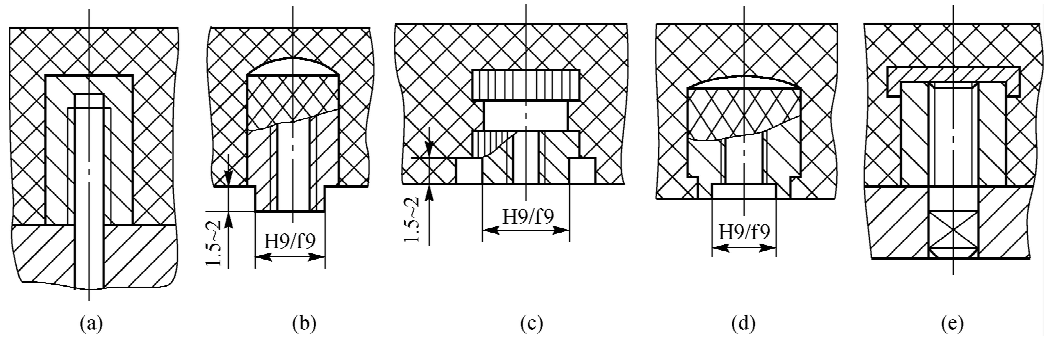


图 1-23 内螺纹嵌件在模具内的定位方法

无论是杆形还是环形嵌件，在模具中伸出的自由长度均不应超过定位部分直径的两倍，否则，在模塑时熔体压力会使嵌件移位或变形。当嵌件过高或使用细杆状或片状的嵌件时，应在模具上设支柱予以支承，如图 1-24(a)和图 1-24(b)所示。但支柱在塑件上留下的孔应不影响塑件的使用。薄片嵌件还可在熔体流动方向上设孔，以降低熔体对嵌件的压力，如图 1-24(c)所示。

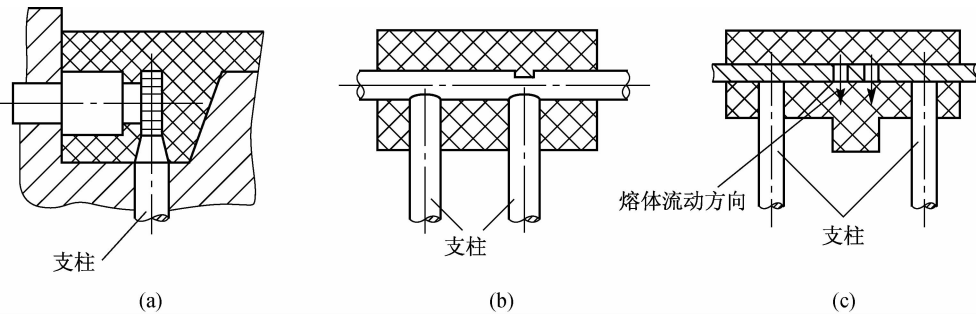


图 1-24 细长、薄片嵌件在模具内的支承方法

3) 嵌件周围塑料层的设计

由于设置嵌件会在嵌件周围塑料中产生内应力，内应力大小与塑料特性、嵌件材料与塑料的膨胀系数差异以及嵌件结构有关，内应力大的会导致塑件开裂。为此，嵌件周围塑料必须有足够的厚度。嵌件通常设置在塑件的凸耳和其他凸出部位，如图 1-25 所示。

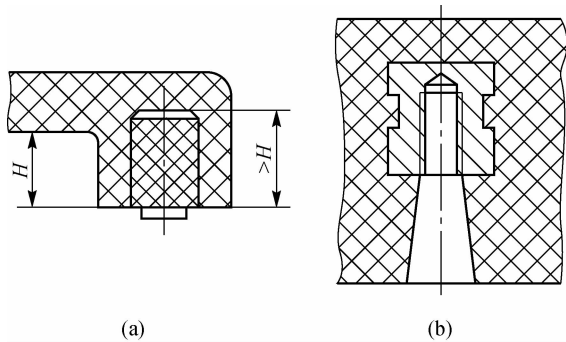
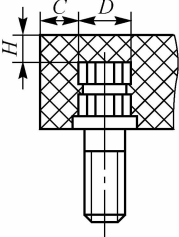


图 1-25 嵌件设置位置及要求

酚醛塑料及类似的热固性塑料，金属嵌件周围塑料层厚度见表 1-16。

表 1-16 金属嵌件周围塑料层厚度

单位：mm

	金属嵌件直径 D	周围塑料层最小厚度 C	顶部塑料层最小厚度 H
	<4	1.5	0.8
	4~8	2	1.5
	8~12	3	2
	12~16	4	2.5
	16~25	5	3

带嵌件塑件的设计除了应注意上述问题之外,还应注意嵌件在模塑时对熔体流动的阻力,影响熔体流动状态和充满模腔等情况。

生产带嵌件的塑件会降低生产效率,使塑件的生产不易实现自动化,因此在设计塑件时,应尽可能避免嵌件的使用。

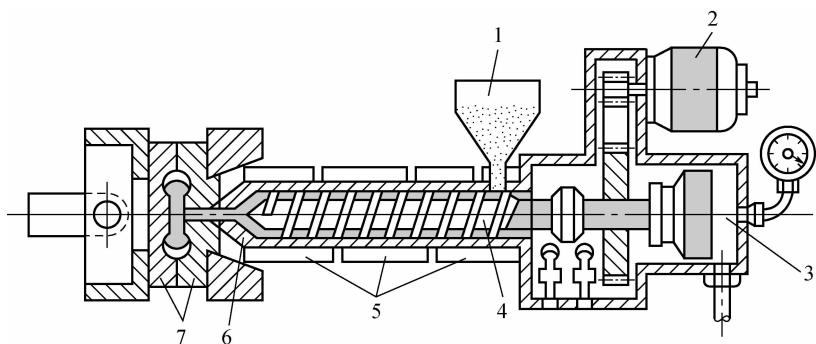
1.4 塑料注射成型工艺

注射成型是热塑性塑料制件一种重要的成型方法。到目前为止,除氟塑料外,几乎所有的热塑性塑料都可以采用此法成型。它具有成型周期短,能一次成型外形复杂、尺寸精确、带有金属或非金属嵌件的塑件,对各种塑料的适应性强,生产效率高,易于实现自动化生产等一系列优点。因此,注射成型广泛地用于塑件的生产中,其产品占目前塑件生产量的30%左右。

目前,除了热塑性塑料注射成型以外,一些热固性塑料也可以采用注射成型,且具有效率高、产品质量稳定的特点;注射成型还是获得中空塑件型坯的重要工艺方法之一。但应当指出的是,注射成型的设备价格及模具制造费用较高,不适合单件及批量较小的塑件生产。

1.4.1 注射成型原理

如图1-26所示,注射成型的原理是将颗粒状或粉状塑料从注射机的料斗1送进加热的料筒中,经过加热熔化呈流动状态后,在柱塞或螺杆4的推动下,熔融塑料被压缩并向前移动,进而通过料筒前端的喷嘴6以很快的速度注入温度较低的闭合模腔中,充满型腔的熔料在受压的情况下,经冷却固化后即可保持模具型腔所赋予的形状,然后开模分型获得成型塑件。这样在操作上完成了一个成型周期,以后不断地重复上述周期的生产过程。通常,一个成型周期从几秒钟至几分钟不等,时间的长短取决于塑件的大小、形状和厚度,模具的结构,注射机类型及塑料的品种和成型工艺条件等因素。每个塑件的重量可从小于一克至数十千克不等,视注射机的规格及塑件的需要而定。



(a)合模注射

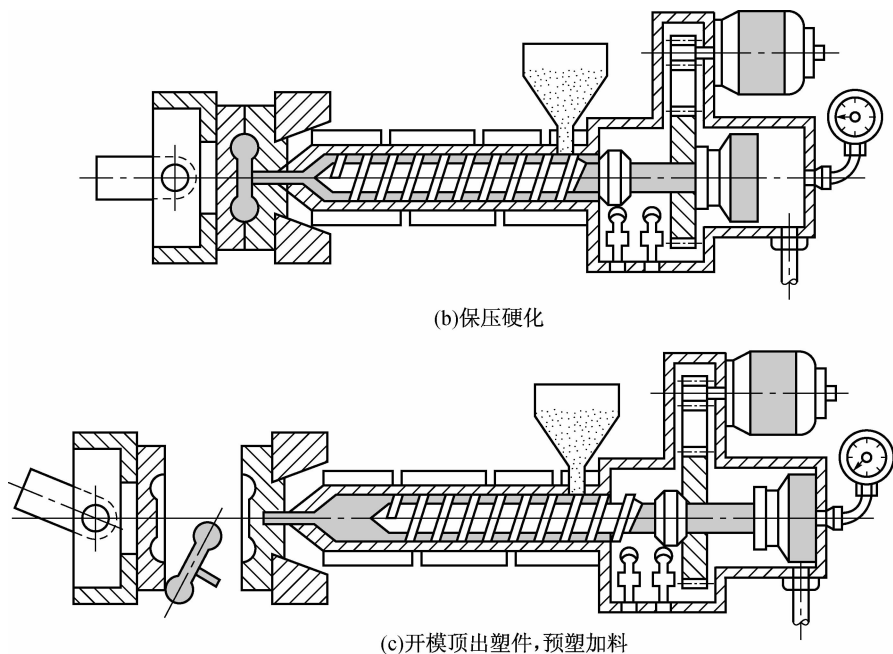


图 1-26 螺杆式注射机注射成型原理图

1—料斗；2—螺杆转动传动装置；3—注射液压缸；4—螺杆；5—加热器；6—喷嘴；7—模具

1.4.2 注射设备

1. 注射机的种类

注射机的类型和规格较多,分类的方法也不同,主要的分类方法如下:

- (1)按外形可分为卧式、立式和角式注射机。
- (2)按传动方式可分为机械式、液压式和机械液压联合作用式注射机。
- (3)按用途可分为通用注射机和专用注射机。

下面主要介绍应用广泛的通用注射机。

2. 通用注射机的特点

1) 卧式注射机

卧式注射机是柱塞(或螺杆)与合模机构均沿水平方向布置的注射机,如图 1-27 所示。这类注射机重心低、加料稳定,操作及维修均很方便,塑件推出后可自行脱落,便于实现自动化生产。大、中型注射机一般采用这种形式。其主要缺点是模具安装较麻烦,嵌件放入模具具有倾斜和落下的可能,机床占地面积较大。

2) 立式注射机

立式注射机的柱塞(或螺杆)与合模机构是垂直于地面安装的。其主要优点是占地面积小,安装和拆卸模具方便,安放嵌件较容易。缺点是重心高、不稳定,加料较困难,推出的塑件要人工取出,不易实现自动化生产。这种机型一般为小型的,最大注射量在 60 g 以下。

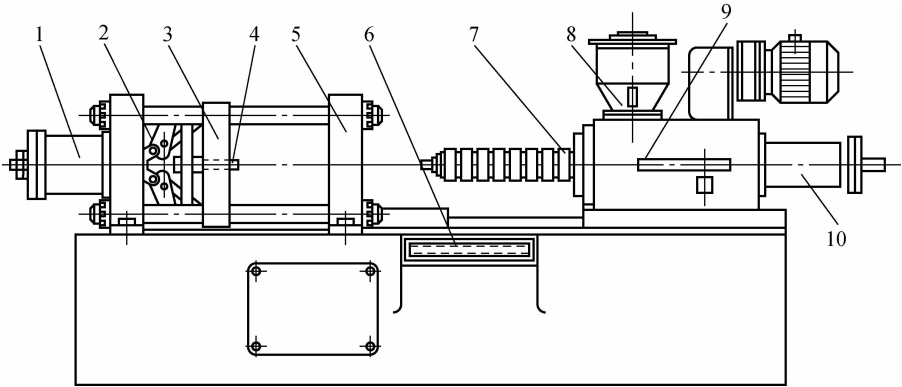


图 1-27 卧式注射机

1—锁模液压缸；2—锁模机构；3—移动模板；4—顶杆；5—固定板；6—控制台；
7—料筒及加热器；8—料斗；9—定量供料装置；10—注射液压缸

3)角式注射机

角式注射机的柱塞(或螺杆)与合模机构运动方向相互垂直,故又称为直角式注射机。目前国内使用最多的角式注射机系采用沿水平方向合模,沿垂直方向注射,合模采用开合模丝杠传动,注射部分除采用齿轮齿条传动外也有采用液压传动的。它的主要优点是结构简单,便于自制;主要缺点是机械传动无准确可靠的注射和保压压力及锁模力,模具受冲击和振动较大。

3. 注射机的结构组成及作用

一台通用型注射机主要包括注射装置、合模装置、液压传动系统和电气控制系统。

1)注射装置

注射装置的主要作用是将塑料均匀地塑化,并以足够的压力和速度将一定量的熔料注射到模具的型腔中。注射装置主要由塑化部件(由螺杆、料筒和喷嘴组成)以及料斗、计量装置、传动装置、注射和移动液压缸等组成。

2)合模装置

合模装置的作用是实现模具的启闭,在注射时保证成型模具可靠地合紧,以及顺利脱出塑件。合模装置主要由前后固定模板、移动模板、连接前后固定模板用的拉杆、合模液压缸、移模油缸、连杆机构、调模装置以及塑件顶出装置等组成。

3)液压传动系统和电气控制系统

液压传动系统和电气控制系统的作用是保证注射机按工艺过程预定的要求(压力、速度、温度、时间)和动作程序准确有效地工作。注射机的液压传动系统主要由各种液压元件和回路及其他附属设备组成,电气控制系统则主要由各种电器和仪表等组成。液压传动系统和电气控制系统有机地结合在一起,为注射机提供动力和对注射机实现控制。

4. 国产注射机的规格和主要技术参数

国产注射机的规格是以公称注射量来表示的,它是以聚苯乙烯为标准,用一次注射出熔料的最大容积(单位为 cm^3)表示。

注射机的主要技术参数有公称注射量、注射压力、注射速率、塑化能力、锁模力、合模装置的基本尺寸、开合模速度、空循环时间等。这些参数是设计模具、选择和使用注射机的依据。其中合模装置的基本尺寸对于模具尺寸的确定非常重要。

常用的卧式注射机型号有 XS-Z-30、XS-ZY-60、XS-ZY-125 和 XS-ZY-500 等。其中, XS 表示塑料成型机, Z 表示注射机, Y 表示螺杆式, 30、60、125 和 500 等表示注射机的公称注射量。

常用的立式注射机有 SYS-30 和 SYS-45 等。

部分国产注射成型机的型号和主要技术参数见附录 C。

如图 1-28 和图 1-29 所示分别为 XS-Z-60 和 XS-ZY-125 塑料注射机合模部分的基本参数。

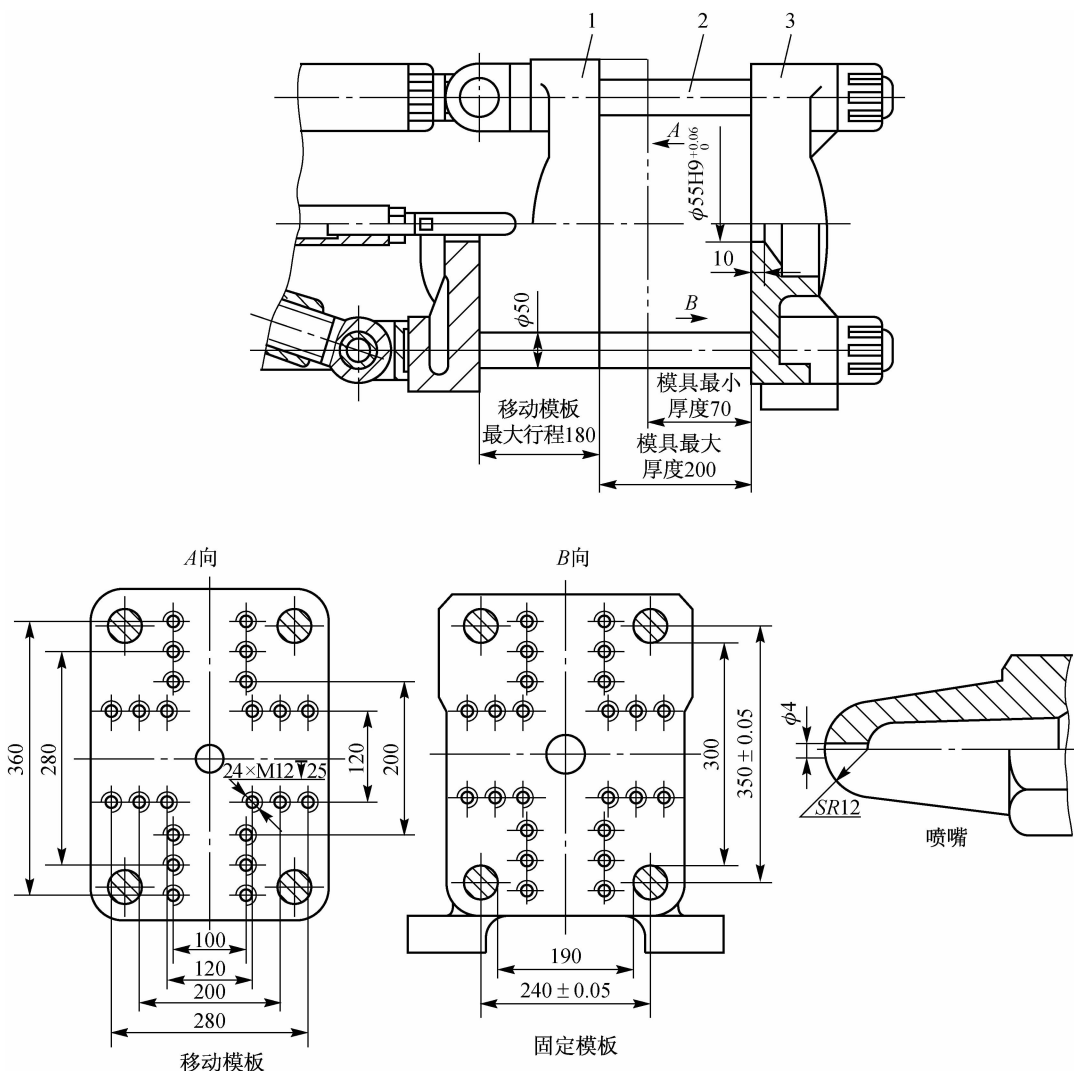


图 1-28 XS-Z-60 塑料注射机合模部分

1—移动模板；2—拉杆；3—固定模板

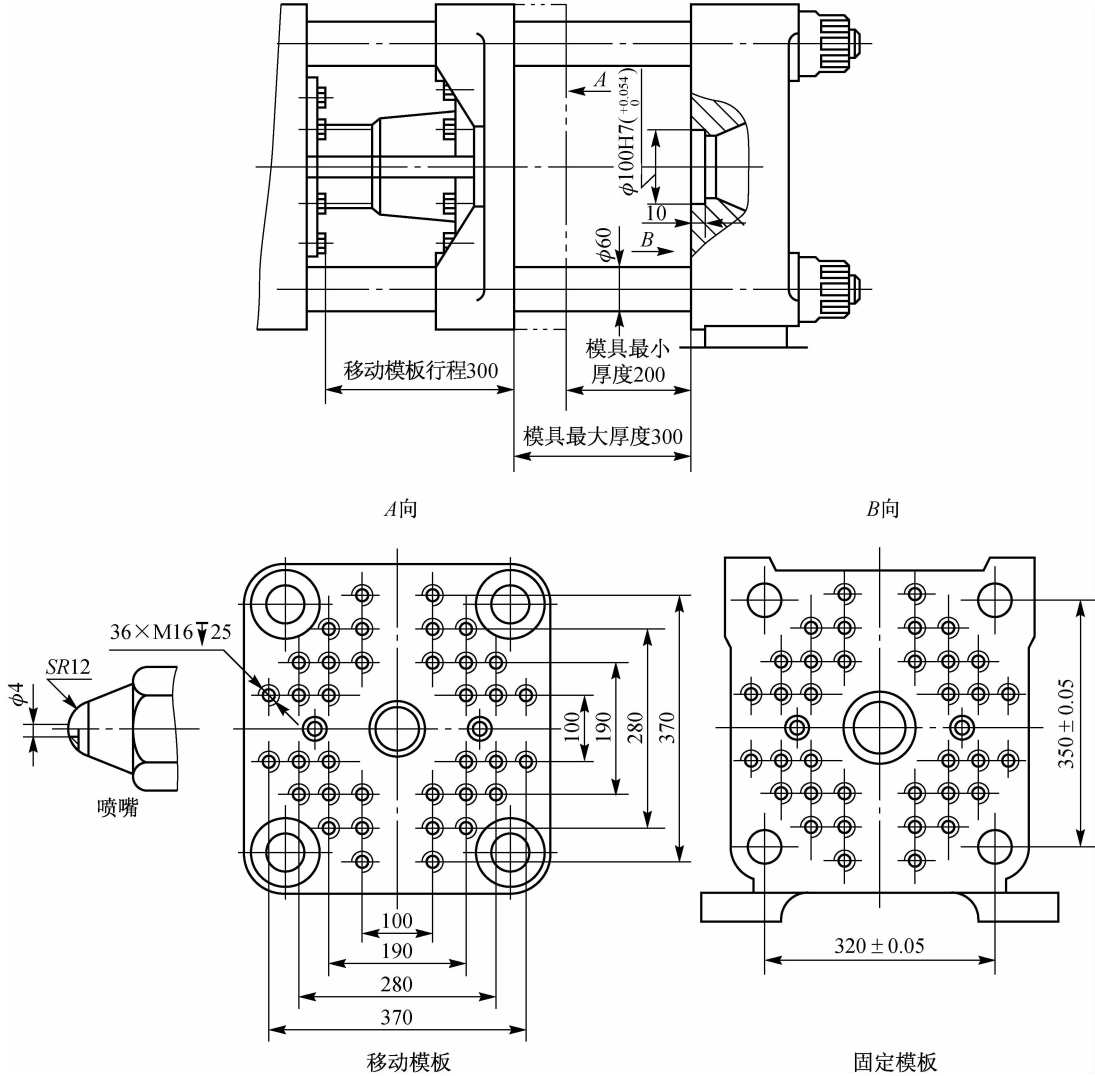


图 1-29 XS-ZY-125 塑料注射机合模部分

1.4.3 注射成型工艺过程

塑料注射成型工艺过程包括成型前的准备、注射成型和塑件的后处理。

1. 成型前的准备

为保证塑料制件质量,在成型前应做一些工艺准备工作,如对成型物料进行外观(如物料的色泽、颗粒大小及均匀度等)检验,对其工艺性能(如熔融指数、流动性、热性能及收缩性)进行测试;对于某些容易吸湿的塑料(如聚酰胺、聚碳酸酯、ABS等)成型前应进行充分的干燥,以避免产品表面出现银丝、斑纹和气泡等缺陷;成型不同种类塑料前,应对料筒进行清洗;对成型带有嵌件的塑件,应先对嵌件进行预热;对脱模困难的塑件,预备好合适的脱模剂。

2. 注射成型

注射成型一般包括加料、塑化、注射、冷却和脱模几个步骤。

1) 加料

由于注射成型是一个间歇过程,因而需定量(定容)加料,以保证操作稳定,塑料塑化均匀,最终获得良好的塑件。加料过多、受热的时间过长等容易引起塑料的热降解,同时注射机功率损耗增多;加料过少,料筒内缺少传压介质,型腔中塑料熔体压力降低,难于补塑(即补压),容易引起塑件出现收缩、凹陷、空洞甚至缺料等缺陷。

2) 塑化

塑料在料筒中受热,由固体颗粒转变成黏流态并且形成具有良好可塑性均匀熔体的过程称为塑化。决定塑料塑化质量的主要因素是物料的受热情况和所受到的剪切作用。通过料筒对物料加热,使聚合物分子松弛,出现由固体向液体转变。一定的温度是塑料得以形变、熔融和塑化的必要条件。而剪切作用则以机械力的方式强化了混合和塑化过程,使混合和塑化扩展到聚合物分子的水平(而不仅是静态的熔融),它使塑料熔体的温度分布、物料组成和分子形态都发生改变,并更趋于均匀。同时,螺杆的剪切作用能在塑料中产生更多的摩擦热,促进了塑料的塑化,因而螺杆式注射机对塑料的塑化比柱塞式注射机要好得多。总之,对塑料的塑化要求是:塑料熔体在进入型腔之前要充分塑化,既要达到规定的成型温度,又要使塑料各处的温度尽量均匀一致,还要使热分解物的含量达到最小值,并能提供满足上述条件、质量足够的熔融塑料以保证生产连续并顺利地进行。这些要求与塑料的特性、工艺条件的控制及注射机塑化装置的结构等密切相关。

3) 注射

不论何种形式的注射机,注射的过程都可分为充模、保压、倒流等阶段。

(1) 充模。塑化好的熔体被柱塞或螺杆推挤至料筒前端,经过喷嘴及模具浇注系统进入并充满型腔,这一阶段称为充模。

(2) 保压。模具中熔体冷却收缩时,继续保持施压状态的柱塞或螺杆迫使浇口附近的熔料不断补充入模具中,使型腔中的塑料能成型出形状完整且密实的塑件,这一阶段称为保压。

(3) 倒流。保压结束后,柱塞或螺杆后退,型腔中压力解除,这时型腔中的熔料压力将比浇口前方的高,如果浇口尚未冻结,就会发生型腔中熔料通过浇口流向浇注系统的倒流现象,使塑件产生收缩、变形及质地疏松等缺陷。如果保压结束之前浇口已经冻结,那就不存在倒流现象。

4) 冷却

浇口冻结后,继续保压已不再需要,因此可退回柱塞或螺杆,卸除对料筒内塑料的压力,对模具进行进一步的冷却,这一阶段称为浇口冻结后的冷却。实际上冷却过程从塑料注入型腔时就已开始。

5) 脱模

塑件冷却到一定的温度即可开模,在推出机构的作用下将塑件推出模外。

3. 塑件的后处理

由于塑化不均匀或塑料在型腔中的结晶、定向和冷却不均匀,造成塑件各部分收缩不一致,或由于金属嵌件的影响和塑件的二次加工不当等原因,塑件内部不可避免地存在一些内应

力。而内应力的存在往往导致塑件在使用过程中产生变形或开裂,因此,应该设法消除。

根据塑料的特性和使用要求,塑件可进行退火处理和调湿处理。

1)退火处理

退火处理的方法是把塑件放在一定温度的烘箱中或液体介质(如热水、热矿物油、甘油、乙二醇和液体石蜡等)中一段时间,然后缓慢冷却。退火的温度一般控制在高于塑件的使用温度 $10\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 或低于塑料热变形温度 $10\sim 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。温度不宜过高,否则塑件会产生翘曲变形;温度也不宜过低,否则达不到后处理的目的。退火的时间取决于塑料品种、加热介质的温度、塑件的形状和壁厚、塑件精度要求等因素。

退火处理消除了塑件的内应力,稳定了尺寸。对于结晶型塑料还能提高结晶度、稳定结晶结构,从而提高其弹性模量和硬度,但却降低了断裂伸长率。

2)调湿处理

调湿处理主要是用于聚酰胺类塑料的塑件。因为聚酰胺类塑件脱模时,在高温下接触空气容易氧化变色。另外,这类塑件在空气中使用或存放还容易吸水而膨胀,需要经过很长时间,尺寸才能稳定下来,所以将刚脱模的这类塑件放在热水中处理,不仅可以隔绝空气,防止氧化,消除内应力,而且还可以加速达到吸湿平衡,稳定其尺寸,故称为调湿处理。经过调湿处理,可改善塑件的韧度,使冲击韧度和抗拉强度有所提高。调湿处理的温度一般为 $100\sim 120\text{ }^{\circ}\text{C}$,热变形温度高的塑料品种取上限;反之,取下限。调湿处理的时间取决于塑料的品种、塑件形状、壁厚和结晶度大小。达到调湿处理时间后,应缓慢冷却至室温。

当然,并非塑件一定要经过后处理,像聚甲醛和氯化聚醚塑件,虽然存在内应力,但由于高分子本身柔性较大和玻璃化温度较低,内应力能够自行缓慢消除。当塑件要求不严格时,可以不必后处理。

1.4.4 注射成型工艺参数

注射成型工艺参数主要为温度、压力及相应的作用时间,它们会影响到熔体的流动和冷却。

1. 温度

在注射成型过程中需要控制的温度有料筒温度、喷嘴温度和模具温度等。前两种温度主要影响塑料的塑化和流动,而后一种温度主要影响塑料的熔体流动和冷却。

1)料筒温度

料筒温度的选择与塑料的特性有关。每一种塑料都具有不同的黏流态温度 T_f (结晶型塑料为 T_m),为了保证塑料熔体的正常流动,不使塑料在料筒中发生热降解,料筒温度需控制在黏流态温度 T_f 与热分解温度 T_d 之间。料筒温度的分布,一般是从料斗一侧(后端)起至喷嘴(前端)止逐步升高,使塑料温度平稳地上升以达到均匀塑化的目的。对于螺杆式注射机,因剪切摩擦热有助于塑化,因而前端的温度也可略低于中段,以防止塑料的过热分解。

2)喷嘴温度

喷嘴温度一般略低于料筒的最高温度,以防止直通式喷嘴发生“流涎现象”。由喷嘴低温产生的影响可以从塑料注射时所发生的摩擦热得到一定的补偿。但应注意,温度低得太多可能导致熔体早凝而将喷嘴堵死。

料筒和喷嘴温度的选择不是孤立的,与其他工艺条件存在一定关系。如注射压力的
大小对温度有直接影响,在保持同样的流速下,较低的注射压力,一般对应较高的温度;反之,
较高的注射压力,对应较低的温度。

3)模具温度

模具温度对塑料熔体的充型能力及塑件的内在性能和外观质量影响很大。模具温度的
高低取决于塑料结晶性的有无,塑件尺寸和结构、性能要求以及其他工艺条件(熔体温度、注
射速度及注射压力、成型周期等)。

模具温度由模具上设置的温度控制系统来控制。

2. 压力

注射成型过程中的压力包括塑化压力和注射压力两种。

1)塑化压力

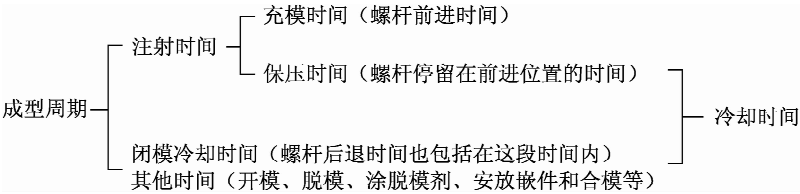
塑化压力又称为背压,是指注射机螺杆顶部的熔体在螺杆转动后退时所受到的压力。
增加背压能提高熔体温度并使温度均匀,但会降低塑化的速度。背压可以通过液压系统中的
溢流阀来调整。注射中,塑化压力的大小随螺杆的设计、塑件的质量要求以及塑料的种类
不同而异。

2)注射压力

注射压力用以克服熔体从料筒流向型腔的流动阻力,提供充模速度以及对熔体进行压
实等。注射压力的大小与塑料制件的质量和生产率有直接的关系。影响注射压力的因素很
多,有塑料品种、注射机类型、制件和模具结构以及其他工艺条件等,而各因素之间的关系十
分复杂。目前,国内外成功地采用注射流动模拟计算机软件,对注射压力进行了优化设计。

3. 时间

完成一次注射成型过程所需的时间称为成型周期,它包括以下几个部分:



在保证塑料制件质量的前提下,应尽量缩短成型周期中的各段时间,以提高生产率。其
中最重要的是注射时间和冷却时间,它们对产品的质量有着决定性的影响。在生产中,充模
时间一般为 3~5 s,保压时间一般为 20~120 s,冷却时间一般为 30~120 s。

1.5 塑料压缩成型工艺

1.5.1 压缩成型原理

压缩成型又称为模压成型或压制成型。它的成型方法是先将松散状的物料放入成型温

度下的模具加料腔中,然后合模加压,使其成型并固化,从而获得所需要的塑件,如图 1-30 所示。

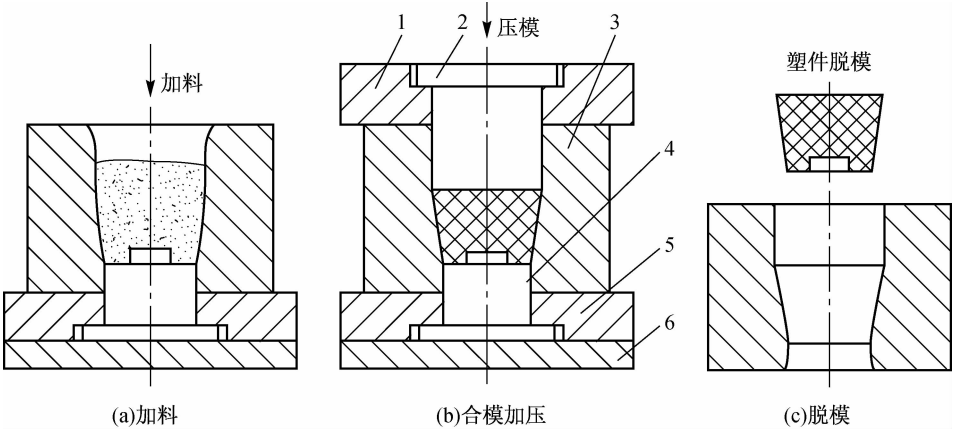


图 1-30 压缩成型原理图

1—凸模固定板; 2—上凸模; 3—凹模; 4—下凸模; 5—凸模固定板; 6—垫板

压缩成型主要用于热固性塑料的成型,也可用于热塑性塑料的成型。压缩成型热固性塑料时,置于型腔中的热固性塑料处于高温高压的作用下,由固态变为黏流态,并在这种状态下充满型腔,同时高聚物产生交联反应,随着交联反应的深化,黏流态的塑料逐步变为固体,最后脱模获得塑件。

热塑性塑料的压缩成型同样由固态变为黏流态而充满型腔,但不存在交联反应,所以在充满型腔后,需将模具冷却使其凝固,才能脱模获得塑件。由于热塑性塑料模压成型时模具需要交替地加热和冷却,生产周期长、效率低,因此,热塑性塑料的成型以注射模成型更经济,只有不宜用高温注射成型的硝化纤维塑料以及一些流动性很差的塑料(如聚四氟乙烯等)采用压缩成型。

压缩成型的特点是塑料直接加入型腔内,压力机的压力通过凸模直接传递给塑料,模具是在塑料最终成型时才完全闭合。其优点是没有浇注系统,料耗少,使用的设备为一般的压力机,模具比较简单,可以压缩成型较大平面的塑件或利用多型腔模一次压缩成型多个塑件,而且塑件收缩较小、变形小,各向性能比较均匀。压缩成型的缺点是生产周期长、效率低,不容易压缩成型形状复杂、壁厚相差较大的塑件;不容易获得尺寸精确尤其是高精度的塑件;而且不能压缩成型带有精细和易断嵌件的塑件。

用于压缩成型的塑料有酚醛塑料、氨基塑料、不饱和聚酯塑料、聚酰亚胺塑料等,其中酚醛塑料和氨基塑料使用最广泛。

1.5.2 压缩成型设备

1. 压缩成型用液压机

液压机是压缩成型用的主要设备。根据机身结构不同,液压机可分为框架连接及立柱连接两类。框架式如图 1-31 所示,一般用于中小型压力机。立柱式如图 1-32 所示,常用于

大中型压力机。加压形式一般为上压式,上、下模分别安装在上压板(滑块)、下压板(工作台)上,工作时上压板带动上模下行进行压制。工作台设有机械或液压顶出系统,开模后顶杆上升推动脱模机构而脱出塑件,该类液压机一般可进行半自动化工作。

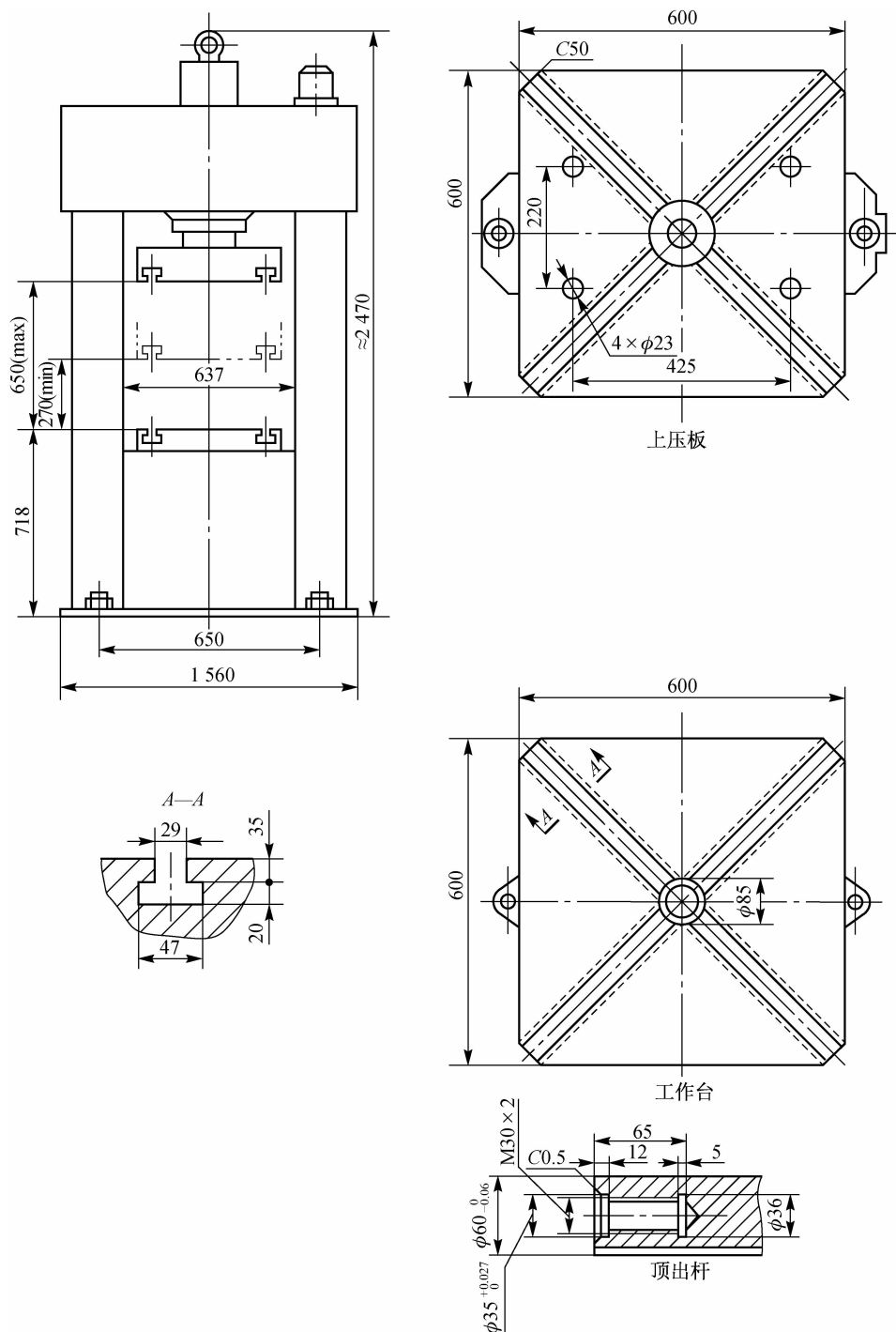


图 1-31 Y71-100X 型液压机

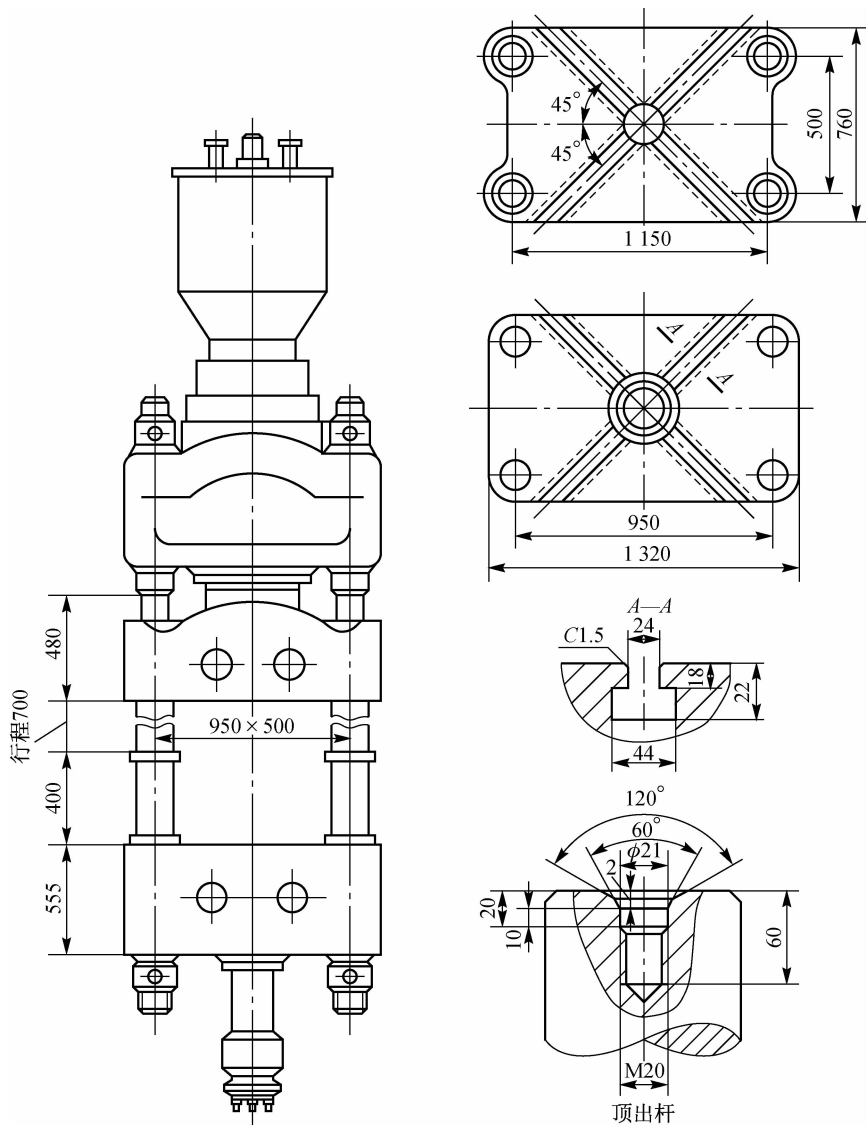


图 1-32 YB32-200 型四柱万能液压机

2. 国产压缩成型用液压机的技术参数

为保证压缩成型的正常进行,在模具设计时应选用适当的液压机。因此,应对液压机的性能规格、顶出系统及连接模具顶出机构的结构及有关尺寸等进行必要的了解。我国目前常用的压缩成型用液压机的技术参数见附录 D。

1.5.3 压缩成型工艺过程

压缩成型工艺过程可用如图 1-33 所示的框图表示。总体说来,压缩成型工艺过程分为三个大的阶段,即成型前的准备、压缩成型过程和压后处理。

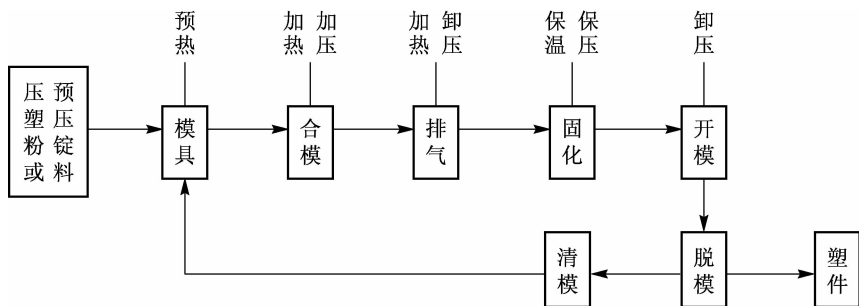


图 1-33 压缩成型工艺过程

1. 成型前的准备

热固性塑料易吸湿，储存时易受潮，且比体积较大，为了使成型过程能顺利进行，并保证塑件的质量和产量，需对原料进行预热处理，在有些情况下还要对原料进行预压处理。

1) 预热

成型前对热固性塑料原料进行预热处理，目的是去除其中的水分和其他挥发物，同时提高料温，便于缩短压缩成型周期。生产中常用电热烘箱进行预热。

2) 预压

在室温下将松散的热固性塑料用预压模在液压机上压成质量一定、形状一致的型坯，型坯的形状以能紧凑地放入模具中预热为宜，多为圆片状及长条状等。

2. 压缩成型过程

热固性塑料压缩成型过程包括加料、合模、排气、固化和脱模等几个阶段，如成型带有嵌件的塑件，加料前应预热嵌件并将其安放定位于模内。

1) 嵌件的安放

安放嵌件一般是用镊子或专用工具进行。安放的嵌件要求位置正确且平稳，以避免成型后出现废品和损坏模具。

2) 加料

在模具加料室内加入已经预热和定量的物料。加料定量的方法有重量法、容积法、计数法三种。重量法准确，但操作麻烦；容积法虽没有重量法准确，但操作方便；计数法只用于加预压物。

3) 合模

加料完成后便合模。在凸模尚未接触物料前合模速度要快，以缩短模塑周期，避免塑料过早固化和过多降解；当凸模接触物料后改为慢速，以避免模具中的嵌件、成型杆或型腔遭到破坏。此外，慢速还可以使模具内的气体得到充分排除。待模具闭合后可加大压力（通常达 15~35 MPa）对原料进行加热加压。合模所需的时间由几秒至数十秒不等。

4) 排气

压缩热固性塑料时，在模具闭合后有时还需卸压，即将凸模松动少许时间，以便排出其中的气体。排气不但可以缩短固化时间，而且还有利于塑件性能和表面质量的提高。排气的次数和时间按需要确定，通常排气的次数为 1~2 次，每次排气由几秒至几十秒不等。

5) 固化

热固性塑料的固化是在压缩成型温度下保持一段时间,以待其性能达到最佳状态。固化速率不高的塑料,有时也不必将整个固化过程放在模内完成,而只要塑件能够完整地脱模即可结束固化,因为拖长固化时间会降低生产率。提前结束固化时间的塑件,需要用后烘的方法来完成它的固化。通常酚醛压缩塑件的后烘温度为 $90\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$,时间由几个小时至几十个小时不等,视塑件的厚薄而定。模内固化时间取决于塑料的种类、塑件的厚度、塑件的形状以及预热和成型的温度等,一般由三十秒至数分钟不等,需由试验方法确定。模内固化时间过长或过短对塑件的性能都不利。

6) 脱模

固化完成后使塑件从模具型腔内脱出,通常用推出机构将塑件推出模外,带有侧型芯或嵌件时,应先用专门工具将它们拔出,然后再进行脱模。

3. 压后处理

塑件脱模后,需对模具进行清理,有时还要对塑件进行后处理。

1) 模具的清理

热固性塑料成型脱模后,模内会留有一些脱落的碎料或飞边等,如果这些杂物进入再一次成型的塑件中,会严重影响塑件的质量,甚至造成塑件的报废。模具清理即是利用有关工具或压缩空气将这些杂物清理出模具外。

2) 后处理

对某些塑件进行后处理是为了进一步提高其质量。热固性塑料制件脱模后的后处理一般是将其置于较高温度的环境中保温一段时间。后处理能使塑料固化更趋完全,同时减少或消除塑件的内应力,减少水分及挥发物等,有利于提高塑件的电性能及强度。后处理方法与注射成型的后处理方法一样,在一定的环境条件下进行,不同的只是处理的温度而已。一般后处理温度比成型温度高 $10\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

1.5.4 压缩成型工艺参数

压缩成型工艺参数主要是指压缩成型压力、压缩成型温度和压缩成型时间。

1. 压缩成型压力

压缩成型压力是指压缩时液压机通过凸模对塑料熔体充满型腔和固化时在分型面单位投影面积上施加的压力,简称为成型压力,可采用以下公式计算

$$p = \frac{p_b \pi D^2}{4A} \quad (1-4)$$

式中, p 为成型压力(MPa),一般为 $15\sim 30\text{ MPa}$; p_b 为液压机工作液压缸表面压力(MPa); D 为液压机主缸活塞直径(m); A 为塑件与凸模接触部分在分型面上的投影面积(m^2)。

施加成型压力的目的是:促使物料流动充模,增大塑件密度,提高塑件的内在质量;克服塑料树脂在成型过程中因化学变化释放的低分子物质及塑料中的水分等产生的胀模力,使模具闭合,保证塑件具有稳定的尺寸、形状,减少飞边,防止变形。但过大的成型压力会降低模具寿命。

压缩成型压力的大小与塑料种类、塑件结构及模具温度等因素有关。一般情况下,塑料

的流动性越小,塑件越厚以及形状越复杂,塑料固化速度和压缩比越大,所需的成型压力亦越大。常用热固性塑料的压缩成型压力见表 1-17。

表 1-17 热固性塑料的压缩成型压力和成型温度

塑料种类	压缩成型压力 p/MPa	压缩成型温度 $T_{\text{成}}/^{\circ}\text{C}$	塑料种类	压缩成型压力 p/MPa	压缩成型温度 $T_{\text{成}}/^{\circ}\text{C}$
酚醛塑料 (PF)	7~42	146~180	邻苯二甲酸二丙烯 脂塑料 (PDPO)	3.5~14	120~160
三聚氰胺甲醛 塑料 (MF)	14~56	140~180			
脲甲醛塑料 (UF)	14~56	135~155	环氧树脂塑料 (EP)	0.7~14	145~200
聚酯塑料 (UP)	0.35~3.5	85~150	有机硅塑料 (DSMC)	7~56	150~190

2. 压缩成型温度

压缩成型温度是指压缩成型时所需的模具温度。它是使热固性塑料流动、充模及最后固化成型的主要影响因素,决定了成型过程中聚合物交联反应的速度,从而影响塑料制件的最终性能。

热固性塑料受到温度作用时,其黏度或流动性会发生很大变化,这种变化是在温度作用下的聚合物松弛(使黏度降低,流动性增加)和交联反应(引起黏度增大、流动性降低),是物理变化和化学变化的综合结果。温度上升的过程中,塑料从固态粉末逐渐熔化,黏度由大到小,然后交联反应开始;随着温度的升高,交联反应速率增大,聚合物熔体黏度则经历由减小到增大(流动性由增大到减小)的过程,因而其流动性随温度变化具有峰值。因此,在闭模后迅速增大成型压力,在温度还不很高而流动性又较大时使塑料充满型腔各个部分是非常重要的。温度升高能使热固性塑料在型腔中的固化速度加快,固化时间缩短,因此高温有利于缩短模压周期。但是,过高的温度会因固化速度太快而使塑料流动性迅速下降,并引起充模不足,特别是模压形状复杂、壁薄、深度大的塑件时,这种弊病最为明显;温度过高还可能引起物料变色、树脂和有机填料等分解、塑件表面颜色暗淡等。另外,高温下外层固化要比内层固化快得多,从而使内层挥发物难以排除,这不仅会降低塑件的力学性能,而且会使塑件发生肿胀、开裂、变形和翘曲等。因此,在压缩成型厚度较大的塑件时,往往不是提高温度,而是在降低温度的前提下延长压缩时间。但温度过低时不仅固化慢,而且效果差,也会造成塑件暗淡无光,这是由于固化不完全的外层承受不住内层挥发物压力作用所致。常见热固性塑料压缩成型温度见表 1-17。

3. 压缩成型时间

热固性塑料压缩成型时,在一定温度和压力下保持一定的时间,才能使其充分固化,成为性能优越的塑件,这一时间称为压缩成型时间(简称压缩时间)。压缩时间与塑料的种类(树脂种类、挥发物含量等)、塑件形状、压缩成型工艺条件(温度、压力)以及操作步骤(是否排气、预压、预热)等有关。压缩成型温度升高,塑料固化速度加快,所需压缩时间减少,因而压缩周期随模温的提高而缩短。压缩成型压力对模压时间的影响虽不及模压温度那么明显,但随着压力的增大压缩时间也略有减少。由于预热减少了塑料充模和开模时间,所以压缩时间比不预热时要短。通常压缩时间还随塑件厚度的增大而增加。

压缩时间的长短对塑件的性能影响很大。压缩时间太短,塑料固化不完全(欠熟),塑件

力学和物理性能差,外观无光泽,脱模后易出现翘曲、变形等现象。但过分延长压缩时间会使塑料“过熟”,不仅延长成型时间,降低生产率,多消耗热能,而且因树脂交联过度会使塑件收缩率增加,引起树脂与填料之间产生内应力,从而使塑件力学性能下降,严重时会使塑件破裂。一般的酚醛塑料,压缩时间为 1~2 min,有机硅塑料达 2~7 min。酚醛塑料和氨基塑料的压缩成型工艺参数见表 1-18。

表 1-18 酚醛塑料和氨基塑料的压缩成型工艺参数

工艺参数	酚醛塑料			氨基塑料
	一般工业用	高电绝缘用	耐高频电绝缘用	
压缩成型温度 $T_{成}/^{\circ}\text{C}$	150~165	160±10	185±5	140~155
压缩成型压力 p/MPa	30±5	30±5	>30	30±5
压缩成型时间 $t_{成}/(\text{min}/\text{mm})$	1±0.2	1.5~2.5	2.5	0.7~1

1.6 塑料传递成型工艺

传递成型又称为压注成型,是在压缩成型基础上发展起来的一种热固性塑料的成型方法。

1.6.1 传递成型原理和特点

1. 传递成型原理

传递成型原理如图 1-34 所示,模具闭合后,将热固性塑料(预压锭或预热的原料)加入到加料腔中,使其受热熔融,见图 1-34(a);接着在压力作用下,塑料熔体通过模具浇注系统高速挤入型腔,见图 1-34(b);塑料在型腔内继续受热受压而发生交联反应固化成型为塑件,最后打开模具将其取出,见图 1-34(c)。

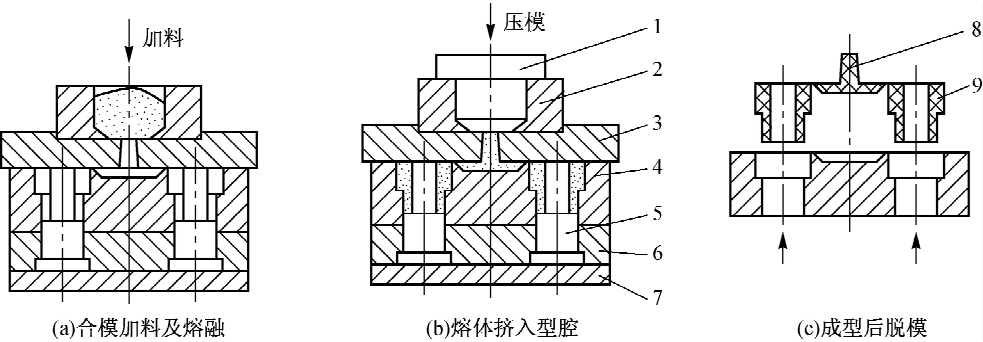


图 1-34 传递成型原理

1—柱塞; 2—加料腔; 3—上模座板; 4—凹模; 5—型芯; 6—型芯固定板;
7—下模座板; 8—浇注系统; 9—塑件

2. 传递成型的特点

与压缩成型相比,传递成型的塑料在进入型腔前已经塑化,因此能生产外形复杂、薄壁

或壁厚变化很大,带有精细嵌件的塑件;塑料在模具内的保压硬化时间较短,缩短了成型周期,提高了生产效率;塑件的密度和强度也得到提高;由于塑料成型前模具完全闭合,分型面的飞边很薄,因而塑件精度容易保证,表面粗糙度也较低。但传递所用的模具结构要复杂些;传递成型塑料浪费较大,塑件因有浇口痕迹,使修整工作量增大;工艺条件较压缩成型要求更严格,操作难度大。

1.6.2 传递成型设备和工艺过程

传递成型设备和压缩成型设备相同,主要也是液压机,见 1.5.2,这里不再赘述。

传递成型工艺过程与压缩成型基本相似。它们的主要区别在于,压缩成型过程是先加料后合模,而传递成型是先合模后加料。

1.6.3 传递成型工艺参数

传递成型工艺参数与压缩成型相比较,有一定的区别。

1. 传递成型压力

由于增加了浇注系统的消耗,传递成型的压力一般需为压缩成型压力的 2~3 倍。压力随塑料种类、模具结构及塑件的形状不同而不同,酚醛塑料粉为 50~80 MPa,纤维填料的塑料为 80~160 MPa,环氧树脂、硅酮等低压封装塑料为 2~10 MPa。

2. 模具温度

传递成型的模具温度通常比压缩成型低 15~30 ℃,一般为 130~190 ℃,这是因为塑料通过浇注系统时能从中获取一部分摩擦热所致。加料室和下模的温度要低一些,而中间型腔的温度要高一些,这样可以保证塑料畅通进入型腔而又不会出现溢料现象,同时也可避免塑件出现缺料、起泡、接缝等缺陷。

3. 传递时间及保压时间

在一般情况下,传递时间控制在加压后 10~30 s 内将塑料充满型腔。保压时间与压缩成型比较可以短一些,因为塑料在热和压力作用下通过浇口的塑料量少,加入迅速而均匀,塑料化学反应也较均匀,所以当塑料进入型腔时已临近树脂固化的最后温度。

酚醛塑料传递成型的主要工艺参数见表 1-19,其他部分热固性塑料传递成型的工艺参数见表 1-20。

表 1-19 酚醛塑料传递成型的主要工艺参数

模具类型 物料状态 工艺参数	罐 式		柱 塞 式
	未 预 热	高频预热	高频预热
预热温度 $T_{\text{预}}/^\circ\text{C}$	—	100~110	100~110
成型压力 p/MPa	160	80~100	80~100
充模时间 $t_{\text{充}}/\text{min}$	4~5	1~1.5	0.25~0.33
固化时间 $t_{\text{固}}/\text{min}$	8	3	3
成型周期 $t_{\text{周}}/\text{min}$	12~13	4~4.5	3.5

表 1-20 部分热固性塑料传递成型的主要工艺参数

塑 料	填 料	成型温度 $T_{成}/^{\circ}\text{C}$	成型压力 p/MPa	压 缩 率	成型收缩率 $S_{成}/\%$
环氧双酚 A 模塑料	玻璃纤维	138~193	7~34	3.7~7	0.001~0.008
	矿物填料	121~193	0.7~21	2~3	0.001~0.002
环氧酚醛模塑料	矿物和玻璃纤维	121~193	1.7~21	—	0.004~0.008
	矿物和玻璃纤维	190~196	2~17.2	1.5~2.5	0.003~0.006
	玻璃纤维	143~165	17~34	6~7	0.002
三聚氰胺	纤维素	149	55~138	2.1~3.1	0.005~0.15
酚醛	织物和回收料	149~182	13.8~138	1~1.5	0.003~0.009
聚酯(BMC、TMC ^①)	玻璃纤维	138~160	—	—	0.004~0.005
聚酯(SMC、TMC)	导电护套料 ^②	138~160	1.4~3.4	1	0.000 2~0.001
聚酯(BMC)	导电护套料	138~160	—	—	0.000 5~0.004
醇酸树脂	矿物质	160~182	13.8~138	1.8~2.5	0.003~0.01
聚酰亚胺	50%玻璃纤维	199	20.7~69	—	0.002
脲醛塑料	α -纤维素	132~182	13.8~138	2.2~3	0.006~0.014

注：①TMC 指黏稠状模塑料。

②在聚酯中添加导电性填料和增强材料的电子工业用护套料。

另外,传递成型对塑料有一定要求:在未达到硬化温度以前塑料应具有较大的流动性,而达到硬化温度以后又需具有较快的硬化速度,能符合这种要求的塑料有:酚醛、三聚氰胺甲醛和环氧树脂等塑料。而不饱和聚酯和脲醛塑料,因在低温下具有较大的硬化速度,所以不能成型较大的塑件。

1.7 塑料挤出成型工艺

挤出成型是一种用途广泛、所占比重很大的塑料加工方法,主要用于生产连续的型材,如管、棒、丝、板、薄膜、电线电缆的涂覆、异型材和中空塑件型坯生产等。除热塑性塑料外,挤出成型也可用于部分热固性塑料的成型。

与其他成型方法比,挤出成型具有能连续成型、生产量大、生产效率高、所用设备结构简单、成本低、操作方便等特点。

1.7.1 挤出成型原理

热塑性塑料的挤出成型原理如图 1-35 所示(以管材的挤出为例)。首先将粒状或粉状塑料加入料斗中(图中未画出),在旋转的挤出机螺杆的作用下,塑料沿螺杆的螺旋槽向前方输送,在此过程中,不断地接受外加热和螺杆与物料之间、物料与物料之间及物料与料筒之间的剪切摩擦热,逐渐熔融呈黏流态,然后在挤压系统的作用下,塑料熔体通过具有一定形状的挤出模具(机头)口模以及一系列辅助装置(定型、冷却、牵引、切割等装置),从而获得截面形状一定的塑料型材。

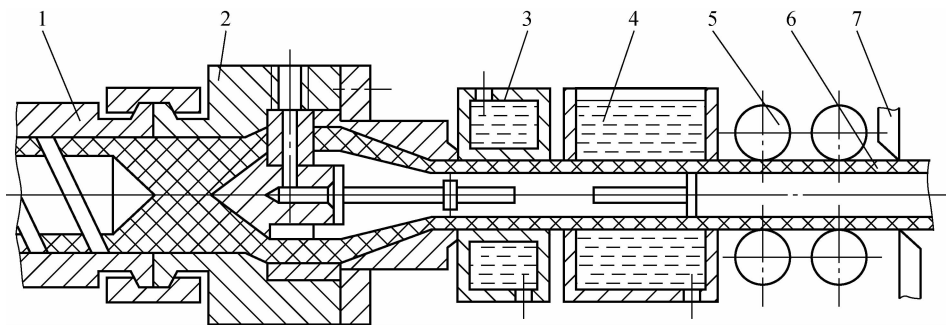


图 1-35 挤出成型原理

1—挤出模料筒；2—机头；3—定型装置；4—冷却装置；5—牵引装置；6—塑件；7—切割装置

1.7.2 挤出成型设备

挤出成型所用的设备称为挤出机组，主要由挤出机、辅机和控制系统组成。

1. 挤出机

挤出机在挤出机组中也称为主机，是机组中的核心设备，主要由挤出系统、传动系统、加热冷却系统和机身等组成，如图 1-36 所示。

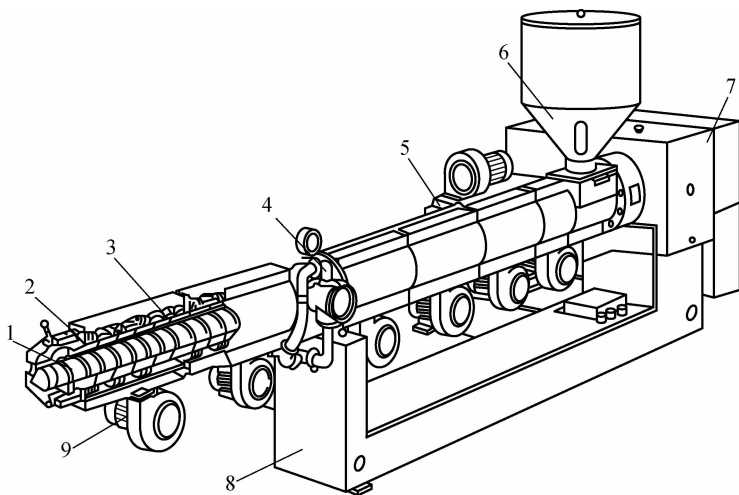


图 1-36 挤出机的组成

1—螺杆；2—料筒；3—加热器；4—排气装置；5—传动电动机；
6—料斗；7—传动装置；8—底座；9—冷却装置

1) 挤出系统

挤出系统是挤出机最关键的部分，因为塑料正是通过挤出系统而塑化成均匀的熔体，并在这一过程中所建立的压力作用下，被螺杆连续地定压、定量、定温地挤出机头。挤出系统主要由螺杆和料筒组成，螺杆是挤出机最重要的部件。一台挤出机挤出指定塑料的产量、熔体温度、熔体均匀性、功率消耗等主要由螺杆的结构和尺寸决定。

2) 传动系统

传动系统的主要作用是驱动螺杆，保证螺杆在工作过程中所需的扭矩和转速。

3)加热冷却系统

加热冷却系统的主要作用是保证塑料和挤出系统在成型过程中的温度达到工艺要求。

2. 辅机

在挤出生产中与主机配套的辅助工艺装备称为辅机。不同的挤出塑件,与主机配套的辅机组组成和结构是不同的。以如图 1-37 所示的挤出吹塑薄膜辅机为例,辅机主要由挤出机机头 5、风环(冷却定型装置)4、人字板 3、牵引装置 2 和卷取装置 1 等组成。

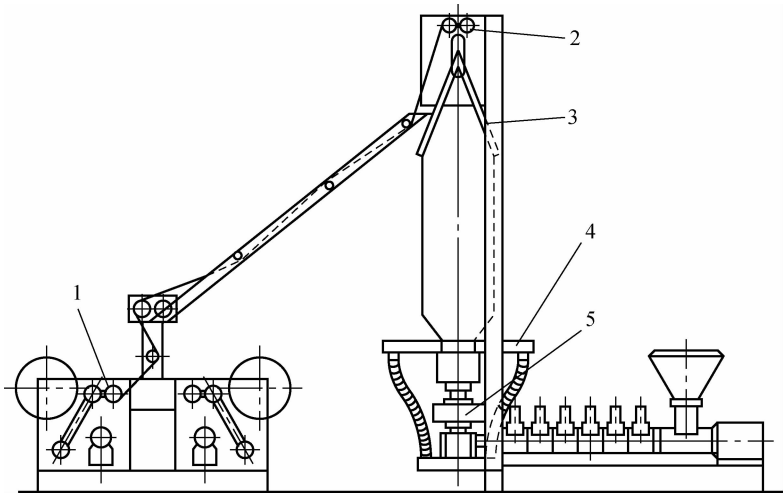


图 1-37 挤出吹塑薄膜辅机示意图

1—卷取装置; 2—牵引装置; 3—人字板; 4—风环(冷却定型装置); 5—挤出机机头

1)挤出机机头

机头是塑件成型的主要部件,熔料通过它获得一定的几何截面和尺寸。在辅机中,机头是最关键的部分。

2)定型装置

定型装置的作用是将塑件精整,获得更为精确的截面形状、尺寸和光亮的表面。通常采用冷却和加压的方法达到这一目的。

3)冷却装置

冷却装置的作用是将定型后的塑件充分冷却,获得最终的形状和尺寸。

4)牵引装置

牵引装置的作用是均匀地牵引塑件,并对塑件截面尺寸进行控制,使挤出过程稳定地进行。

5)卷取装置

卷取装置的作用是将软塑件(如薄膜、软管、电线电缆等)卷绕成卷。

6)切割装置

切割装置的作用是将塑件切成一定的长度和宽度。

3. 控制系统

控制系统的作用是控制挤出设备主、辅机的电动机,使其满足工艺所需的转速和功率;

控制主、辅机的温度、压力、流量,保证塑件质量;实现整个挤出机组的自动控制,保证主、辅机协调地运行。

1.7.3 挤出成型工艺过程

热塑性塑料的挤出成型工艺过程可分为三个阶段:

(1)第一阶段为塑化。塑料原料在挤出机的机筒温度和螺杆的旋转压实及混合作用下,由粉状或粒状转变成黏流态物质(常称为干法塑化),或固体塑料在机外溶解于有机溶剂中而成为黏流态物质(常称为湿法塑化),然后加入到挤出机的料筒中。生产中通常采用干法塑化。

(2)第二阶段为成型。黏流态塑料熔体在挤出机螺杆螺旋力的推挤作用下,通过具有一定形状的口模而得到截面与口模形状一致的连续型材。

(3)第三阶段为定型。通过适当的处理方法,如定径处理、冷却处理等,使已挤出的塑料连续型材固化为塑件。

下面以干法塑化方式为例介绍热塑性塑料的挤出成型工艺过程。

1. 原料的准备

挤出成型大部分用的是粒状塑料,粉状用得少。在成型之前应进行干燥处理,原料的干燥一般是在烘箱或烘房中进行的。此外,还要尽可能地去塑料中存在的杂质。

2. 挤出成型

将挤出机预热到预定的温度后,启动电动机带动螺杆旋转输送塑料,同时向料筒中加入塑料。料筒中的塑料在外加热和剪切摩擦热作用下熔融塑化,由于螺杆旋转时对塑料不断推挤,迫使塑料经过滤板上的过滤网,由机头成型为一定口模形状连续型材。

初期的挤出物质量较差,外观也欠佳,要调整工艺条件及设备装置直到正常状态后才能投入正式生产。

3. 塑件的定型与冷却

热塑性塑件在离开机头口模以后,必须立即进行定型和冷却;否则,塑件在自重力的作用下就会变形,出现凹陷或扭曲现象。多数情况下,定型和冷却是同时进行的,只有在挤出各种棒料和管材时,才需要有一个独立的定型过程,而挤出薄膜、单丝等则无须定型,仅通过冷却便可。挤出板材与片材,有时还要经过一对压辊压平,也有定型与冷却作用。管材可采用定径套、定径环和定径板等来定型,也可采用能通水冷却的特殊口模来定型。

冷却一般采用空气冷却或水冷却,冷却速度对塑件性能有很大影响。硬质塑件(如聚苯乙烯、低密度聚乙烯和硬聚氯乙烯等)不能冷却得过快,否则容易造成残余内应力,并影响塑件的外观质量;软质或结晶型塑件则要求及时冷却,以免塑件变形。

4. 塑件的牵引、卷取和切割

塑件自口模挤出后,一般都会因压力突然解除而发生离模膨胀现象,而冷却后又会发生收缩现象,从而使塑件的尺寸和形状发生改变。此外由于塑件被连续不断地挤出,自重量越来越大,如果不加以引导,会造成塑件停滞,使塑件不能连续地挤出。因此,在冷却的同时,要连续均匀地将塑件引出,这就是牵引。

牵引过程由辅机部分的牵引装置来完成。牵引速度要与挤出速度相适应,通常牵引速

度略大于挤出速度,以消除塑件尺寸的变化值,同时对塑件进行适当的拉伸有利于提高塑件质量。不同的塑件牵引速度不同,通常薄膜和单丝可以快些。对于挤出硬质塑件的牵引速度则不能大,通常需将牵引速度控制在一定范围内,并且要十分均匀,不然就会影响塑件的尺寸均匀性和力学性能。

通过牵引的塑件可根据使用要求在切割装置上裁剪(如棒、管、板、片等),或在卷取装置上绕制成卷(如薄膜、单丝、电线电缆等)。

1.7.4 挤出成型工艺参数

挤出成型的工艺参数主要有温度、压力、挤出速度和牵引速度等。

1. 温度

温度是挤出过程得以顺利进行的重要条件之一。塑料从加入料斗到最后成为塑件经历了一个极为复杂的温度变化过程。严格地讲,挤出成型温度应指塑料熔体的温度,但该温度却在很大程度上取决于料筒和螺杆的温度。这是因为塑料熔体的热量除一部分来源于料筒中混合时产生的摩擦热以外,大部分是料筒外部的加热器所提供的。因此,在实际生产中为了检测方便,常用料筒温度近似地表示挤出成型温度。

如图 1-38 所示为聚乙烯的温度曲线,它是沿料筒轴线方向测得的。由图可知,料筒和塑料温度在螺杆各段是有差异的,要满足这种要求,料筒就必须具有加热、冷却和温度调节等一系列装置。一般来说,对挤出成型温度进行控制时,加料段的温度不宜过高,而压缩段和均化段的温度则可取高一些,具体的数值应根据塑料种类和塑件情况而定。机头和口模温度相当于注射成型时的模温,通常机头温度必须控制在塑料热分解温度以下,而口模处的温度可比机头温度稍低一些,但应保证塑料熔体具有良好的流动性。

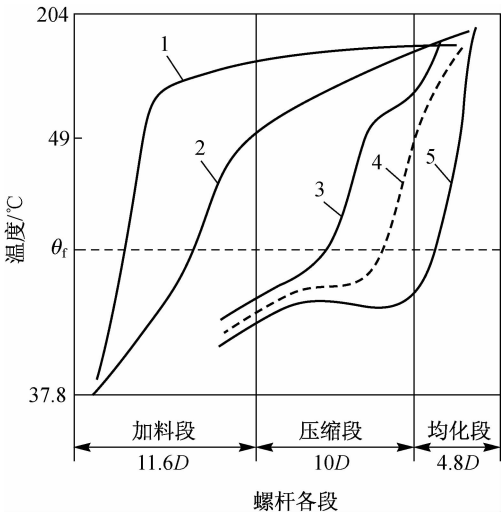


图 1-38 聚乙烯的挤出成型温度曲线

1—料筒温度曲线；2—螺杆温度曲线；3—塑料(PE)的最高温度；4—塑料(PE)的平均温度；5—塑料(PE)的最低温度
 D —料筒直径； θ_f —熔点

图 1-38 中的温度曲线只是稳定挤出过程中温度的宏观表示。实际上,在挤出过程中,即使是稳定挤出,每个测试点的温度随时间变化也是有变化的,温度随时间的不同而产生波

动,并且这种波动往往具有一定的周期性。习惯上,把沿着塑料流动方向上的温度波动称为轴向温度波动。另外,在沿着与塑料流动方向垂直的截面上,各点的温度值也是不同的,即有径向温差。

上述温度波动和温差,都会给塑件质量带来不良后果,使塑件产生残余应力,各点强度不均匀,表面灰暗无光。产生这种波动和温差的因素很多,如加热冷却系统不稳定、螺杆转速变化等,但以螺杆设计和选用的好坏影响最大。表 1-21 是几种塑料挤出成型管材、片材和板材及薄膜等的温度参数。

表 1-21 热塑性塑料挤出成型时的温度参数

塑料名称	挤出温度 $T_{挤}/^{\circ}\text{C}$				原料中水分控制/%
	加料段	压缩段	均化段	机头及口模段	
丙烯酸类聚合物	室温	100~170	~200	175~210	≤ 0.025
醋酸纤维素	室温	110~130	~150	175~190	< 0.5
聚酰胺(PA)	室温~90	140~180	~270	180~270	< 0.3
聚乙烯(PE)	室温	90~140	~180	160~200	< 0.3
硬聚氯乙烯(HPVC)	室温~60	120~170	~180	170~190	< 0.2
软聚氯乙烯及氯乙烯共聚物	室温	80~120	~140	140~190	< 0.2
聚苯乙烯(PS)	室温~100	130~170	~220	180~245	< 0.1

2. 压力

在挤出过程中,由于料流的阻力、螺杆槽深度的变化,还有过滤板、过滤网和口模等产生阻碍,因而沿料筒轴线方向塑料内部建立起一定的压力。这种压力的建立是塑料得以成型塑件的重要条件之一。和温度一样,压力随时间的变化也会产生周期性波动,这种波动对塑件质量同样有不利影响,如局部疏松、表面不平、弯曲等。螺杆、料筒的设计,螺杆转速的变化,加热与冷却系统的不稳定都是产生压力波动的原因。为了减小压力波动,应合理控制螺杆转速,保证加热和冷却装置的温控精度。

3. 挤出速度

挤出速度是指单位时间内由挤出机头和口模中挤出的塑化好的塑料量或塑件长度,它表征着挤出生产能力的高低。影响挤出速度的因素很多,如机头、螺杆和料筒的结构、螺杆的转速、加热冷却系统结构和塑料的性能等。在挤出机的结构和塑料品种及塑件类型已确定的情况下,调整螺杆转速是控制挤出速度的主要措施。挤出速度在生产过程中也存在波动现象,对产品的形状和尺寸精度有显著的不良影响。为了保证挤出速度均匀,应设计与生产的塑件相适应的螺杆结构和尺寸;严格控制螺杆转速;严格控制挤出温度,防止因温度改变而引起挤出压力和熔体黏度变化,从而导致挤出速度波动。

4. 牵引速度

挤出成型主要生产连续的塑件,因此必须设置牵引装置。从机头和口模中挤出的塑件,在牵引力作用下将会发生拉伸取向。拉伸取向程度越高,塑件沿取向方向的拉伸强度也越大,但冷却后长度收缩也大。通常,牵引速度可与挤出速度相当。牵引速度与挤出速度的比值称牵引比,其值必须等于或大于 1。表 1-22 是几种塑料管材的挤出成型工艺参数。

表 1-22 几种塑料管材的挤出成型工艺参数

塑料管材 工艺参数		硬聚氯乙烯 (HPVC)	软聚氯乙烯 (LPVC)	低密度聚乙烯 (LDPE)	ABS	聚酰胺-1010 (PA-1010)	聚碳酸酯 (PC)
管材外径 d_s /mm		95	31	24	32.5	31.3	32.8
管材内径 D_s /mm		85	25	19	25.5	25	25.5
管材壁厚 t /mm		5 ± 1	3	2 ± 1	3 ± 1	—	—
机筒温度 $T_{筒}/^{\circ}\text{C}$	后段	80~100	90~100	90~100	160~165	200~250	200~240
	中段	140~150	120~130	110~120	170~175	260~270	240~250
	前段	160~170	130~140	120~130	175~180	260~280	230~255
机头温度 $T_{机}/^{\circ}\text{C}$		160~170	150~160	130~135	175~180	220~240	200~220
口模温度 $T_{口}/^{\circ}\text{C}$		160~180	170~180	130~140	190~195	200~210	200~210
螺杆转速 $v_{螺}/(\text{r}/\text{min})$		12	20	16	10.5	15	10.5
口模内径 D /mm		90.7	32	24.5	33	44.8	33
芯模外径 d /mm		79.7	25	19.1	26	38.5	26
稳流定型段长度 L_1 /mm		120	60	60	50	45	87
拉伸比		1.04	1.2	1.1	1.02	1.5	0.97
真空定径套内径 d_0 /mm		96.5	—	25	33	31.7	33
定径套长度 $L_{套}$ /mm		300	—	160	250	—	250
定径套与口模间距 S_{dk} /mm		—	—	—	25	20	20

注:稳流定型段由口模和芯模的平直部分构成。

本章小结

生产中使用的塑料种类很多。从实际应用的角度出发,根据塑料的使用要求和塑料的工艺特性,合理设计产品,选择原材料,正确选择成型方法,确定成型工艺过程及成型工艺条件,正确选择成型设备,这一系列工作通常称为制定塑件的加工工艺规程,也是塑料模具设计的重要依据。本章重点介绍了塑料的特性、应用及分类,常见塑料成型方法,塑料的尺寸、公差和表面粗糙度,塑件的几何形状,塑料螺纹和齿轮以及带嵌件的塑件设计等有关塑料成型工艺的基本知识和内容。

塑料模具的结构设计与成型设备选择,在以后各章节中将会涉及并详细介绍。本章的重点、难点部分是塑料的工艺性能和各种模塑成型工艺的理解及能灵活地应用到生产实际中。本章的内容需要反复阅读,增强理解。

习 题 1

- 1-1 什么是塑料?按它们的热性能和用途分各有哪些类型?
- 1-2 塑料有哪些优良特性及缺点?

- 1-3 热固性塑料和热塑性塑料的主要区别是什么？
- 1-4 塑件的尺寸公差分为几个精度等级？哪一级最低？
- 1-5 塑件的表面粗糙度一般取值为多少？
- 1-6 脱模斜度的取向原则是什么？
- 1-7 塑料齿轮在模具结构及制造上有何特点？
- 1-8 什么是嵌件？在设计嵌件时要遵循哪些原则？
- 1-9 热固性塑料成型的工艺性能有哪些？
- 1-10 热塑性塑料成型的工艺性能有哪些？
- 1-11 注射成型工艺包括哪些内容？
- 1-12 压缩成型有什么特点？它适合哪些塑件的生产？
- 1-13 传递成型和压缩成型的主要区别是什么？
- 1-14 挤出成型有什么特点？挤出成型与注射成型有哪些不同？