

# 塑料成型加工技术

上海胜德塑料厂编译

上海科学技术情报研究所

## 前 言

近年来，随着工程塑料的品种增加和产量扩大，对成型加工和推广应用必然提出了新的、更高的要求。

成型加工是塑料工业中一个重要的环节，是联系工程塑料生产厂和塑料制件应用单位的桥梁。为了促进塑料工业的发展，在不久的将来要赶上和超过世界先进水平，使之更好地为社会主义革命和社会主义建设服务，我们遵循伟大领袖毛主席关于“洋为中用”的教导，编译了《塑料成型加工技术》一书，供有关同志参考。

由于我们学习马列、毛主席著作不够，水平有限，因此书中如有误漏之处，请批评指正。

上海胜德塑料厂

# 目 录

(一) 微型注射成型及其应用.....	1
(二) 低发泡塑料结构材料的制造和加工技术现状.....	5
(三) 硬质聚氯乙烯型材高速挤压.....	43
(四) 烧结尼龙粉及其烧结体.....	47
(五) 田贺 (TaGa) 加工法 .....	52
(六) 复合吹塑薄膜的共挤压.....	60
(七) 热塑性塑料的离心浇铸.....	67
(八) 聚四氟乙烯的柱塞挤压.....	74
(九) 压缩空气成型(一).....	80
(十) 压缩空气成型(二).....	88

# 微型注射成型及其应用

微型注射成型能够制造极小的工业标准零件,例如,用聚甲醛已制造出外径为0.4毫米,孔径为0.22毫米,高度为0.35毫米的微型轴承。

1952年瑞士在电讯测量仪表、雷达设备、缝纫机和唱机的经验基础上,第一次研究在钟表中应用塑料零件。

首先在实际上应用的是自动手表中转动的摆盘轴,用自润滑的塑料轴承代替了两颗加油的钻石。这个轴的直径为0.8毫米。

为了省去润滑和避免钻石在冲击或振动时碎裂等原因,对不同的制造方法经过仔细地研究以后,还是选择了注射成型。

## 微型注射成型

微型注射成型可以生产极小尺寸的工业零件,要兼顾到各种技术要求(尺寸、强度、机械性能),加工中不改变材料的物理性能等,则最困难的问题是在塑料的收缩率中保持必要的公差。

目前联邦德国市场上的注射成型机还无法达到这种要求,为了进行研究,现正在同法国制造厂合作下制造了一台机器,它具有下列的特性。

- (1) 最大注射量: 2克;
- (2) 注射压力: 3,000~4,000公斤/厘米<sup>2</sup>;
- (3) 注射料筒的温度控制精度高;
- (4) 超过最大注射压力时,料筒立即开启;
- (5) 可变的锁模压力;
- (6) 易于供给背压;
- (7) 加工时需非常精确的粒料计量。

机器设计成垂直结构,使制件易于从模型中取出和自动放入金属嵌件。它有两根导柱。

注射时间是可变的。它和放入模型的金屬嵌件数量有关。

注射料筒具有氮化的不锈钢分流梳,容量为2克。

喷嘴直径为1.2毫米,有一个轴向针形阀,系用一根杠杆来液力控制。

压力调节器保证注射压力在1,000~5,000公斤/厘米<sup>2</sup>。

大量的实验证明,采用过高的压力操作会带来危险,在注射料筒中物料的过高压压缩会造成物料的突然降聚,然后从熔融液体变成爆炸的气体分解产物,这种情况在百分之一秒内就能引起料筒的爆炸,而且在很高的压力下生产的零件具有内应力,使其不能保持必要的公差。

锁模压力在2,000~7,000公斤/厘米<sup>2</sup>之间变化,温度可以在料筒上的三处加以控制,即在喷嘴、机头和注射料筒的上部。误差为 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

加工时,粒料的准确计量采用秤量,料斗加热到60 $^{\circ}\text{C}$ 以上,避免在室温变化下的任何不利影响。

记录仪能够检查主要参数。

## 1. 模 型

不管要求压力如何,所有模型元件是比较小的,如脱模系统、脱模板和分流道等,要求如下:

- (1) 只要模型重量不影响操作时的敏感度,则模型所要求的精度(配合的精确度为2.5微米)就能达到。

(2) 由于模型嵌入金属部件时必须用手操作,因此,模型在机器上要快速地操作,并且模型重量要小。

(3) 这种模型的价格(大约在5,000联邦德国马克范围内)由于重量的增加而显著地提高。

在设计这种模型时应考虑以下各点:

① 合金钢的选择是非常重要的,模型所有的零件必须淬硬至罗氏硬度C级52~56。

② 必须尽可能地保持最小的淬硬挠曲,以消除过量的研磨工作,因为这将影响模型的强度。

③ 定位杆必须氮化。

④ 脱模装置决不允许模型的斜弛。

⑤ 模穴数量不应超过10个,模穴数量过多将造成流道太大和有时长度不平均,为保证完全充满模穴,它们必须包括在4~6毫米半径的圆周内。

⑥ 椭圆形的浇口短轴为0.07毫米,长轴为0.15毫米。

⑦ 针尖式浇口的直径可为0.16毫米。

⑧ 为避免溢料形成,在滑动表面之间允许的最大间隙为2.5微米。

⑨ 模型采用油循环加热或装配式加热器加热。

齿轮模型采用特殊的电镀法制造,电镀层的表面硬度达450(维氏)以上,模穴的数量可在1~6之间,浇口最好经过3点,直径在0.16~0.25毫米之间。

在模型装配中的高精度显著地影响空气的排除。这个问题可以通过适当处理分型面来克服。

## 2. 自润滑轴承

最初这种轴承应用于手表,以后也扩大到小的仪器中。

盲孔轴承,如图1所示,具有1.20毫米外径,内径为0.08~0.17毫米,高度为0.25

毫米,它们系注射入硬钢或黄铜的金属圈,由于这种形式保证了塑料的机械固定。穿孔轴承具有1.20~2.10毫米外径和0.25~1毫米高度,它们的芯子直径为0.20~1毫米,在一般情况下,孔的长度等于直径,亦是机械固定。轴承无金属圈的也可以使用。

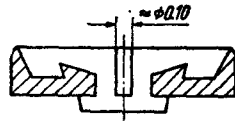


图1 穿孔轴承举例

到目前为止,材料方面以聚甲醛和尼龙最为满意,因为它们的摩擦磨损性能优良,不需加石墨或二硫化钼,由于零件很小,不能保证有足够的均匀性。

因为材料的摩擦系数选择为0.012~0.020,不需要加油就可以保证长时期的正常操作。这样省去了加油,避免了润滑剂的树脂化,尤其是阻止了含有微尘颗粒的润滑残渣的形成,经过一段时期以后微尘颗粒具有研磨作用。

直径为0.08~0.50毫米的轴间隙,必须小于宝石或金属轴衬所允许的间隙。0.60~2毫米直径的轴间隙比较大。例如一个直径为0.80毫米的轴,在一般传统的轴承中,惯例允许有百分之一毫米的间隙,在塑料轴承中,可允许1.25/100~1.5/100的间隙。

通常,使用的材料能承受300~370公斤/厘米<sup>2</sup>压力下1/100的变形。如果希望维持轴间的公差,就必须维持在这个限度之内。另外,在轴承设计中,由于塑料代替了油膜,在尽可能紧密的条件下,限制塑料的厚度。

图2表示一定深度孔的负荷和允许速度之间的内在关系。轴通常采用在280°C淬火的硬质钢,它具有罗氏硬度C级58~60。轴颈和颈口抛光,圆筒部分和轴颈尾端的表面必须无粗糙现象,经长期使用(10~12年),由于抛光光洁度的改善,外观质量的提高,轴

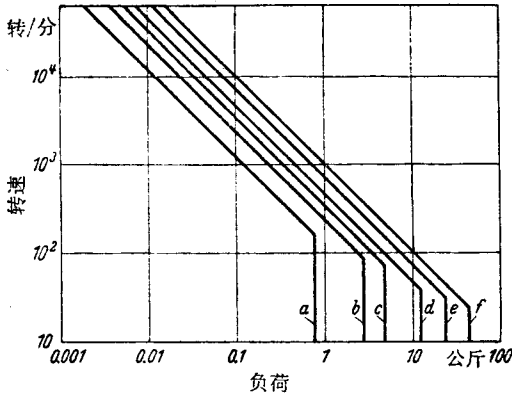


图2 轴承转速与负荷的关系

承没有磨损的痕迹。

注射成型的最小轴承具有下列尺寸：

外径 0.40 毫米，孔径 0.22 毫米，高度 0.35 毫米。

它们是由共聚甲醛制造，使用在手表中心旋转的指针轴颈，每 1,000,000 个轴承只需 6.4 克原料。

### 3. 齿 轮

用注射成型生产了 0.07 毫米模数的齿轮，轮的厚度为 0.20 毫米，齿轮直径为 0.85 毫米。图 3 表示这种齿轮的例子，它的轮和齿系整体制造。

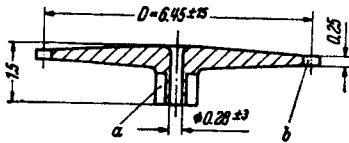


图3 带有传动轮的齿轮

a—传动轮，6 牙 b—齿轮，18 牙

许多齿轮是注射在一个金属部件上，所以它们能够在一个轴上没有变形的危险。

塑料齿轮的优点是质轻，防磁，成本低，自润滑，不腐蚀。

#### (1) 机能零件

机能零件包括如骑马，转臂弹簧，杠杆，数字滚轮，计数星，过桥，双金属摆轮，钻石钢丝，保持器等。

对于这些零件必须弄清下列问题：

① 模穴的数量决定于公差和制品复杂性等因素。

② 制件的形状是否允许模型的机械加工或者模型是否需要电镀。

③ 能否保证制件附在模型的底部，如果这样，它必须能从模型上脱落而没有任何形成溢料的危险，尤其是制件没有变形。

④ 从模型中取出后计算收缩率。

由于经常受到使用原料的流动性和制件不对称性的限制，同时为了保证完整的均匀性和避免表面凹痕现象，因此限制了一定的厚度。在机能零件中，小型减震弹簧厚度降至 0.07 毫米。颗粒形状和大小对这种部件有显著影响。

#### (2) 公 差

正如一般注射成型一样，如欲保持公差，最重要的是严格遵守各项条件。关于模型，实际上所有部件均已淬火或用热处理钢来制造，大大地保证了它们的尺寸稳定性。根据精度和重量的关系，须经常进行检验，使之稳定生产管理，这种措施已应用于重量超过 1 克的零件上。

零件的体积也有利于保持公差，重量低的零件实际上并不存在质量问题。

在适宜的注射成型条件下，估计孔径为 0.09~1.5 毫米的轴承，具有最大的偏差为 6~12 微米(图 4)。

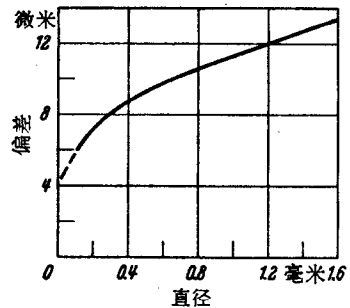


图4 尺寸偏差与轴钻孔直径的关系

齿轮的公差常常有三度空间特征。尤其在小齿轮方面，螺距实际运行性和平行度的

重要性超过整个直径。图5表示头部直径的偏差。

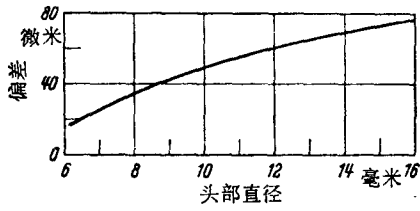


图5 尺寸偏差与齿轮头部直径的关系

直径为4~14毫米的齿轮实际达到同心度的变化为：直径达8毫米时，同心度为0~15微米，直径达14毫米时，同心度为0~25微米。

译自《Kunststoffe》Vol. 60, No. 11,  
p. 837~839 (1970).

# 低发泡塑料结构材料的制造和加工技术现状

低发泡塑料的发展有二个目的：一是向木纹状、防止凹痕为主的、提高外观质量的高级成型品发展；另一是向提高刚性、成型合理化为主的大型成型品领域发展。

热塑性塑料的低发泡成型有：

- ① 注射成型；
- ② 挤压成型；
- ③ 吹塑成型；
- ④ 粉末成型；
- ⑤ 压力成型等。

分别根据成型品要求的特性、形状、尺寸而采用上述合适的方法。塑料发泡体，一般虽能分为高发泡体和低发泡体，但区别并不太鲜明。低发泡这一术语，虽在日本普遍地使用，但在国外资料中，可以看到硬质泡沫、结构泡沫的术语。结构泡沫是用于硬质泡沫中具有结皮的泡沫体的总称，而另一方面，也用于表达注射成型可发性热塑性塑料。但是适当表达低发泡的语言还未找到。

在本文中，低发泡体限定发泡倍数在5以下，文中主要以热塑性塑料的结构泡沫为对象作了归纳。

## 原料树脂和发泡剂

热塑性塑料低发泡体的原料，在工业上主要用聚苯乙烯、ABS树脂、聚烯烃以及硬质聚氯乙烯。表1比较了各种低发泡体树脂的特性。聚苯乙烯中，通用聚苯乙烯发泡孔较粗，高冲击聚苯乙烯较细，ABS树脂则更细。熔融粘度高，则孔细，在以木质花纹为重点时，能够得到比较细密的花纹。

表1 各种低发泡树脂的物性比较

树脂物性	高密度聚乙烯	聚丙烯	聚苯乙烯	ABS
加工性	◎	◎	◎	○
尺寸精度	△	○	◎	◎
刚性	○	○	◎	◎
硬度	○	○	◎	◎
耐冲击性	◎	○	×	○
耐热性	△	○	○	○
耐寒性	◎	△	×	○
价格	○	○	◎	△

注：◎：优秀；○：优；△：良；×：可。

对于聚烯烃，树脂的熔融指数大，则发泡倍数高(图1)，另外，即使是同一发泡倍数，收缩率变大(图2)，从图3可知，冲击强度下降。这是由于发泡孔的尺寸变大的关系。表2表示影响发泡注射成型品物性的各种因素，但在高密度聚乙烯的场合下，其分子量分布狭窄，保证了孔的均匀一致性。

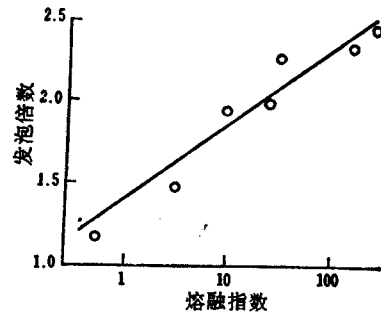


图1 熔融指数和发泡倍数的关系  
(聚丙烯)箱形模型: 295×150×110毫米,厚5毫米



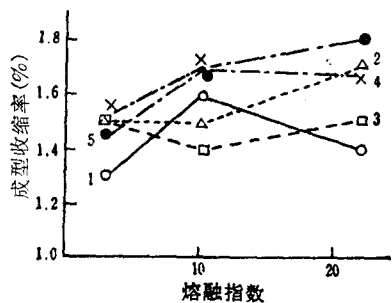


图2 熔融指数和成型收缩率的关系  
(聚丙烯)箱形模型: 250×150×110毫米, 厚5毫米

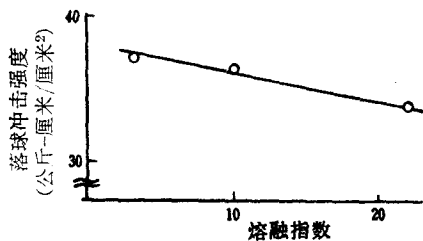


图3 熔融指数和落球冲击强度的关系(聚丙烯)

发泡剂基本上有三种类型:

① 有机及无机发泡剂: 成型前混入树

表2 低发泡注射成型质量和因素的关系

	强韧性	高发泡倍数	气泡的均匀性
树脂			
低熔融指数	×		
高熔融指数		×	
分子量分布狭			×
最适停滞时间		×	
制品			
壁厚	×	×	
均一的厚度			×
模型			
宽的铸口		×	
充模的控制			×

脂, 受热发生分解气体, 使熔融树脂发泡。

② 气体: 压入熔融树脂之中, 在成型压力降低状态时发泡。

③ 挥发性液体: 以气体或液体状态压入熔融树脂之中, 在达到沸点时挥发而形成气泡。

表3为低发泡成型用发泡剂。表4表示各种树脂使用的发泡剂和成型方法、制品种类。

表3 各种发泡剂的性质

略号	化学名称	发生气体量/克	使用温度范围(°C)	应用树脂	配合量
ADCA	偶氮甲酰胺	220毫升 200°C	165~215	PP, PS, ABS, PVC	0.1~2
AZDN	偶氮二异丁腈	135毫升 100°C	110~125	PVC	0.1~2
BSH	苯磺酰肼	120毫升 100°C	90~100	PVC	0.1~2
OBSH	4',4' 羟双(苯磺酰肼)	120毫升 140°C	165~210	PE, PS	0.1~2
TSSC(RA)	对甲苯磺酰氨基脲	146毫升 263°C	213~225	ABS, PP, PA	0.1~2
DMDNTA	N,N 二甲基, NN 二亚硝基四苯二甲酸酰胺	170毫升 140°C	80~160	PVC	0.1~2
THT	三肼硝基咪唑	225毫升 320°C	250~320	PA, PP, ABS, PE, PC	0.1~5
N <sub>2</sub>	氮气		任何	PE, PS	1~2
CO <sub>2</sub>	二氧化碳		—	PVC	1~5
—	戊烷	—	—	PS	5~10
—	氟碳化合物 11	—	—	PS	5~10
—	氟碳化合物 12	—	—	PS	5~10
—	氟碳化合物 114	—	—	PS, PE	5~10
—	三氯甲烷	—	—	—	5~10

注: PP: 聚丙烯; PS: 聚苯乙烯; PVC: 聚氯乙烯; ABS: 苯乙烯、丙烯腈、丁二烯三元共聚物; PE: 聚乙烯; PA: 尼龙; PC: 聚碳酸酯。

表4 用于各种树脂的代表性发泡剂

发泡体	代表性发泡剂	%	制造方法	密度**	制品形状
聚苯乙烯	a) 戊烷, 异戊烷(水)	7	可膨胀的珠	1.5~2.5	闭孔硬板和型材
	b) 戊烷, 氟碳化合物	7	挤压	2~6	闭孔硬质薄膜和片材
	c) 三氯甲烷, 氟碳化合物	10~15	挤压	2~5	闭孔硬质板材
聚氯乙烯	a) 空气, 氮, 二氧化碳, 偶氮甲酰胺	—	混合, 浇铸, 压延	3~6	开孔或闭孔软质型材和片材
	b) N, N 二甲基 N, N 二亚硝基四苯二甲酸酰胺	10~18	压延	4~25	开孔或闭孔软质型材和片材
	c) 丙酮加化学试剂	—	挤压	7~25	闭孔软质型材
	d) 异氰酸酯(CO <sub>2</sub> )	50	挤压, 模塑	7~25	闭孔硬质型材
	溶剂(水)	—	模塑	3~6	闭孔硬板和型材
聚乙烯	a) 氟碳化合物(114)(烃类)*	10~20	挤压	2~4	闭孔半软绝缘
	b) 4', 4' 羟双(苯磺肼)	—	挤压	2~4	开孔和闭孔软质薄膜
	c) 偶氮甲酰胺	2	挤压	19~20	闭孔, 半软电线绝缘
	d) 偶氮甲酰胺, 氮	1~2	注射, 挤压	25~55	开孔和闭孔硬质型材
	e) 偶氮甲酰胺, 二异丙苯过氧化物	2~7	交联, 模压, 挤压	1.5~12	闭孔半硬块、片和薄膜
聚丙烯	a) 偶氮甲酰胺, 对甲苯磺酰氨基脲	4~2	注射, 挤压	25~55	闭孔硬质型材
	b) 偶氮甲酰胺, 过氧化物	2~7	交联, 模压, 挤压	2~6	闭孔半硬片, 薄膜

注 \* 在某些系统中可用二甲苯

\*\* 16/呎<sup>3</sup>

化学发泡, 在选择化学发泡剂的时候, 重要的问题是在特定温度范围内的气体发生量和发生速度。一般说来, 发泡剂的分解温度和树脂的熔融温度相一致是很重要的。为了适应分解温度而把树脂的温度提高到必要的温度以上时, 由于有树脂降聚、冷却时间延长等不良影响, 因此并不太好。另外, 分解作用要在树脂冷却、凝固以前全部结束, 以便有效地利用气体。据说发泡剂的分解温度略比树脂的熔点为低, 则孔的结构良好。

两种发泡剂的并用也是有效的。例如, 对于聚丙烯和 ABS 树脂, 当分解温度低的 ADCA 和分解温度高的 TSSC 并用时, 就发挥出非常好的发泡效果(表 4)。

碳酸钠、碳酸氢钠、碳酸氢铵等无机发泡剂虽是分解产生二氧化碳的化合物, 但由于有着分解温度范围广, 对压力的依存性高, 难以成为细微的粒子, 在树脂中均匀分散有困难, 分解出来的二氧化碳即使易于分散在熔

融树脂之中也难以发泡等等缺点, 因此一般并不使用。戊烷和氮气或者并用, 或者作为助剂使用。

有机发泡剂大致可以分为:

① 偶氮化合物;

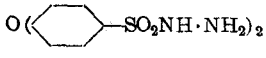
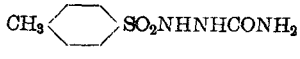
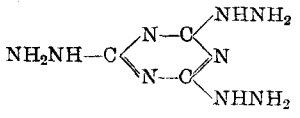
② 磺酰肼化合物;

③ 亚硝基化合物等三种。但是, ADCA 具有使用方便, 氮气的发生量大, 容易保管, 在树脂中容易分散等优点。在分解温度高, 而不适合的情况下, 则把亚铅、镉等的盐类作为助剂使用较好。OBSH 和 BSH 在低温时具有很明显的分解点。主要发泡剂列于表 3, 另外, 日本市场上销售的, 容易采购的发泡剂汇总于表 5。表 4 表示配合量和发泡体密度的代表性例子。

气体发泡, 从向熔融树脂中的扩散少, 且不活泼性观点出发, 可用氮气。

挥发性液体发泡, 可用戊烷、丁烷、己烷、庚烷、苯等低沸点的碳氢化合物, 但庚烷以外

表5 低发泡注射成形用发泡剂

发泡剂名称	结 构 式	商 品 名 称	制 造 厂 名 称
偶氮甲酰胺	$\text{NH}_2-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-\text{N}=\text{N}-\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\text{C}}}-\text{NH}_2$	アンピス-CA アソヤル A-C ユニホーム-AZ ヤルマイク-C ビニヤラ-AZ プニホル-AC Kempore Celogen-AZ Genitron-AC Porofor-N Azocel MD-100 Lucel-ADN	光化工 光学化成 大塚化学工业 三协化成 堺化研 永和化成工业 National Polichemical Uniroyal Chemical Fisons Bayer Fairmount Olin Matheson Wallace & Tierman
偶氮二异丁腈	$\begin{array}{c} \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{CH}_3 \\   \qquad \qquad \qquad   \\ \text{NC}-\text{C}-\text{N}=\text{N}-\text{C}-\text{NC} \\   \qquad \qquad \qquad   \\ \text{CH}_3 \qquad \qquad \text{CH}_3 \end{array}$	アンピス A A-BN ヤルマイク B ビニホル-AZ Poly-Zole-ZDN Genitron-AZDN Porofor-N Vazo	光化工 大塚化学工业 三协化成 永和化成工业 National Polichemical Fisons Bayer Du Pont
4',4' 羟双苯磺肼		ネオヤルボン Celogen-OT Genitron-OB Porofor	永和化成工业 Uniroyal Chemical Fison Bayer
N, N, 二亚硝戊次 甲基四胺	$\begin{array}{c} \text{CH}_2-\text{N}-\text{CH}_2 \\   \qquad \qquad   \\ \text{NO}-\text{N} \qquad \text{CH}_2-\text{N}-\text{ON} \\   \qquad \qquad   \\ \text{CH}_2-\text{N}-\text{CH}_2 \end{array}$	ヤルマイク-A ヤルラ-D Opex Unicel-ND Vulcacer-BN Porofor-DNO/N	三协化成 永和化成工业 National Polichemical Du Pont ICI Bayer
		Celogen-RA	Uniroyal Chemical
三肼硝基咪唑		Genitron-HIT	Fison

不大使用。

也有用氟碳化合物和三氯甲烷等物质。

在配合化学发泡剂时，使用转鼓混合器最为有效，配合率低时可用母料。作为发泡剂分散的矿物油可使用少量(0.1%)液状聚异丁烯。

在使用气体状以及液体状发泡剂的场合下，使用图4所示的供给系统是方便的。这个系统是把压缩机及泵、贮藏器连接到气体贮槽及液体气化器上，通过调节器及流量计把气体供给圆筒的系统。气体压力，例如在联碳化物公司的结构泡沫场合下，需要200公斤/厘米<sup>2</sup>左右。而在戊烷及氟碳化合物的场合下，气体压力为100~150公斤/厘米<sup>2</sup>。

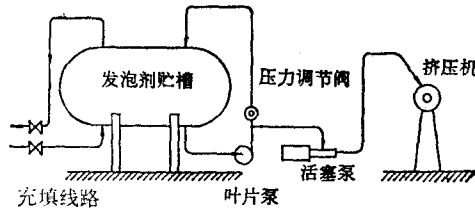


图4 气体状、液体状发泡剂的注入系统

和发泡剂并用的助剂，由于具有下列的目的，因此要适当地选择使用。

- ① 调节发泡剂的使用温度；
- ② 调整外观；
- ③ 调整树脂的流动性；
- ④ 防止模型的腐蚀；
- ⑤ 防止因发泡剂分解残渣的染色。

一般化学发泡剂没有必要用助剂，但当使用戊烷等时，可作为成核剂的碳酸氢钠和柠檬酸。

化学发泡剂的添加量是有限度的(图5)，如果太少，则不能获得充分的发泡倍数，表面状态也不完全(图6)。反之，假如太多，发泡倍数不仅不增加，而且由于残留发泡剂而变色，还会产生气孔粗大，表面粗糙现象。

图7比较了各种发泡剂的经济性。根据此图，在结构泡沫使用重量约0.5~1%氮气

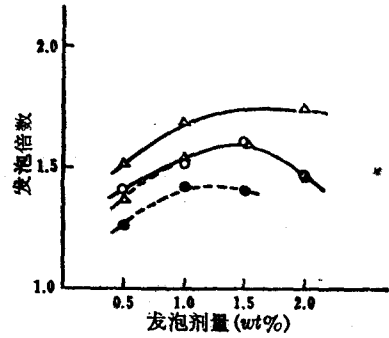


图5 发泡剂和发泡倍数的关系 (高冲击聚苯乙烯)

- △ 高冲击强度聚苯乙烯；
- 聚丙烯，熔融指数=30；
- 注射速度0.2秒；
- - - 注射速度1.0秒；
- 成形品厚度5毫米

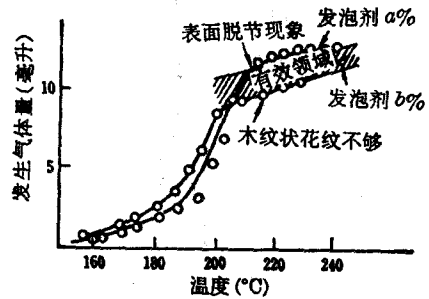


图6 表面状态和气体发生量(聚苯乙烯)

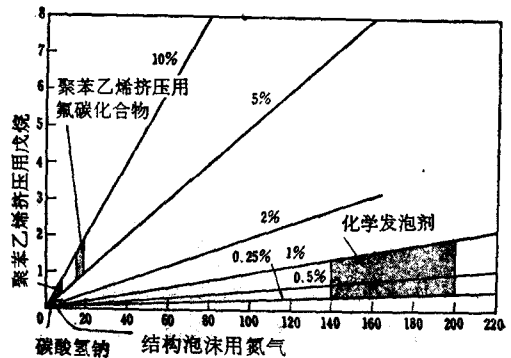


图7 发泡剂的成本

时，每1公斤树脂为0.8~1.6日元，但化学发泡剂需要0.5%，为每公斤5.6日元。因此，假若其他条件相同，则最好使用氮气。

# 注射成型

## 1. 低发泡注射成型的原理

把含有分解性或挥发性发泡剂的热塑性塑料;或者加有后分解性的热塑性树脂,加入注射成型机的料斗中,在加热料筒内加热,在发泡剂的分解温度以上塑化混合。也有在料筒中途吹入气体代替分解性发泡剂,在料筒内并不发泡,借背压强制地抑制发泡力。把如此塑化的材料急速地注射入模型内,利用熔融树脂所具有的膨胀力,使充满模穴的末端并发泡。

低发泡注射成型最重要之点是使膨胀力完全释放出来。为此,采用了各种方法。

## 2. 注射成型机

低发泡注射成型时,可使用柱塞式、螺杆式以及贮料筒式等各种注射成型机,但是根据广田等人的实验,一般认为一线式螺杆注射成型机的成型品与柱塞式注射成型机的成型品相比,泡的大小较细,而且均匀一致,内部空洞小,因此凹陷也少。为了抑制在料筒内发泡,螺杆的长径比  $L/D$  大是有效的。

不论何种型式的注射成型机,共同的特点是:注射量要充分大;注射速率要大;模型安装台要充分大。

低发泡成型,除以外观质量为主以外,从其主要目的是从大型成型制品出发,注射单元需要足够大的容量。

注射速率:注射速率影响发泡倍数;注射速率大,则发泡倍数高。图8表示采用注射量为230克的松田制作所制SI-100型注射成型机成型高密度聚乙烯场合下注射速率对发泡倍数的影响。

根据这个实验,厚度在5毫米时,注射速率的影响最大,但当厚度为3毫米时,即使提高注射速率,发泡倍数并不提高。再者,厚度达10毫米时,在某种程度的注射速率时,发

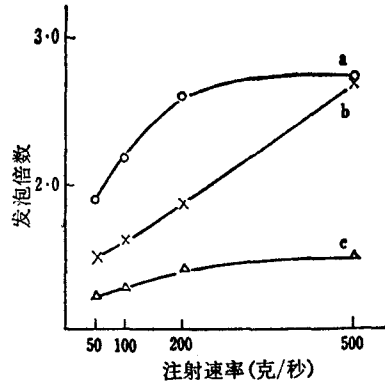


图8 注射速率和发泡倍数

- a. 成型品壁厚 10 毫米; b. 成型品壁厚 5 毫米;
- c. 成型品壁厚 3 毫米 (模型温度 40°C)

泡倍数达一定限度,注射速率即使高于这个限度,其影响也很少。也就是说,厚度小和极厚的场合下,在通用机械的注射速率范围内虽能得到期望的发泡倍数,但在一般场合下,需要用注射速率大的注射单元。广田认为,增加注射速率、减少模型内材料温度的降低,随着剪切速度的增加而表现粘度的下降、铸口部分发生摩擦热等,对提高发泡倍数是有作用的。

从成型品的流动方向来看,注射速率大,则发泡倍数的分布均匀一致。图9、图10是按厚度分别表示高密度聚乙烯的注射速率和发泡倍数分布的关系。

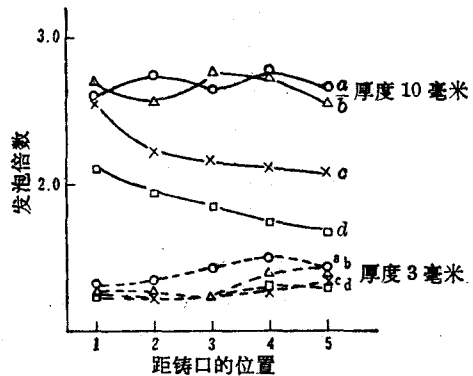


图9 注射速率和发泡倍数的分布 (高密度聚乙烯)

- a. 注射速率 500 克/秒; b. 注射速率 200 克/秒;
- c. 注射速率 100 克/秒; d. 注射速率 50 克/秒

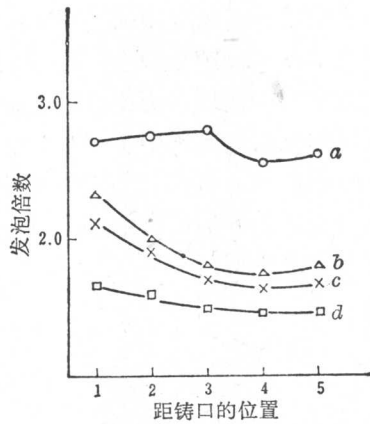


图 10 注射速率和发泡倍数的分布  
(高密度聚乙烯)

- a. 注射速率 500 克/秒; b. 注射速率 200 克/秒;  
c. 注射速率 100 克/秒; d. 注射速率 50 克/秒  
模型温度 (40°C)

Cochran 等人认为, 注射速率大, 则表皮的厚度变薄, 表面的花纹细, 同时发泡细而均匀一致。另一方面, 为了控制木纹状花纹, 则有必要防止熔接部分和铸口部分的未发泡状态, 尽可能降低注射速度, 采用较低的注射压力。

因此, 在成型表面花纹要求高、密致的木纹状制品时, 虽然采用通用机械比较合适, 但是, 在成型发泡倍数高的大型成型品时, 那么使用注射速率高的专用机械是有利的。

喷嘴 在加热料筒内塑化的树脂, 常呈将要发泡的状态, 为了防止发泡, 需要施加背压, 因此喷嘴必须设有阀门。装有阀门的喷嘴有滑头式、针阀启闭式、开关式等。图 11 是通常使用的针阀启闭式喷嘴, 图 12 是开关

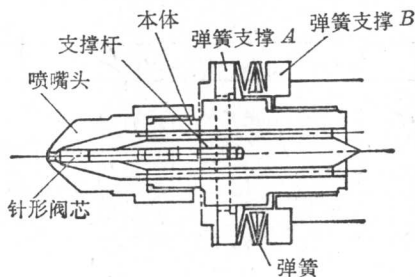


图 11 针阀启闭式喷嘴

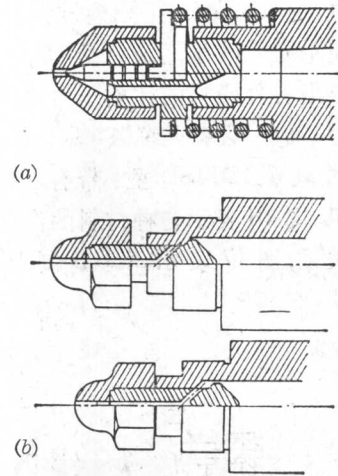


图 12 开关式喷嘴

式喷嘴: (a)是弹簧启闭的, (b)是借树脂的压力关闭, 借喷嘴移动力开启的方式。此外, 还有用油压形式的喷嘴。

对于大型成型品, 由于模型多数采用多点铸口, 因此, 为了尽可能缩短分流道, 最好采用多头喷嘴(图 13、14)。另外, 还有在铸口处装有阀门、作为代替阀门式喷嘴用的所谓阀门喷嘴(图 15)。

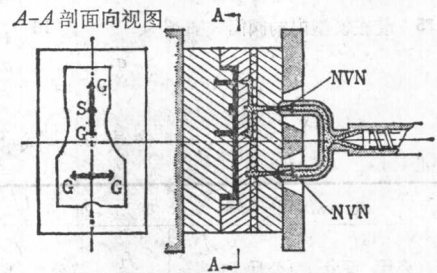


图 13 大型成型品的多头喷嘴

S: 主流道; G: 铸口; NVN: 针形阀式阀门喷嘴

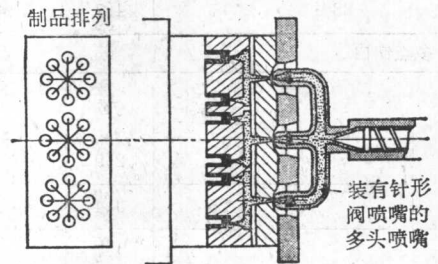


图 14 小型成型品取几个产品时用的多头喷嘴

**锁模力** Lettner 把成型过程中注射单元和锁模单元的油压记录在示波记录仪上, 由此求出各种塑料的注射压力。表 6 表示这些压力。成型设备是联邦德国 Krauss-Maffei 厂的 KM-1200SL 型、带有贮料器的注射成型机, 图 16 表示各种材料的注射压力和厚度的关系, 图 17 表示 ABS 制品厚度和厚度的关系, 图 17 表示 ABS 制品厚度和厚度的关系

和注射压力的关系。表 6 中的  $f_1$  是用中心铸口成型 1, 200×1, 600 毫米方板时非发泡成型和发泡成型的注射压力比值,  $f_2$  是几个铸口情况下的比值。此表中  $f_1$  和  $f_2$  的值为 1.5~6, 但是厚的、流程长度短的模式约为 10。也就是说, 低发泡成型情况下的锁模力只要普通非发泡成型的 1/6~1/10 就可以了。

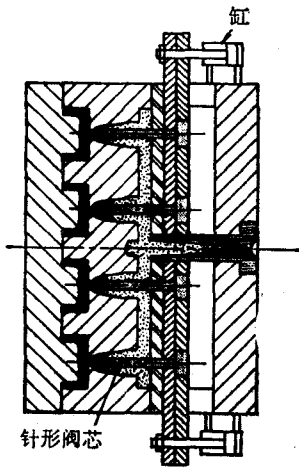


图 15 装在模型内的阀门式喷嘴

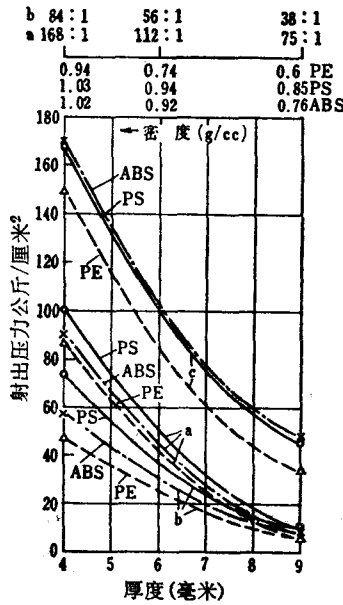


图 16 厚度和压力的关系

a. 中心主流道铸口; b. 多点铸口;  
c. 中心主流道铸口非发泡成形

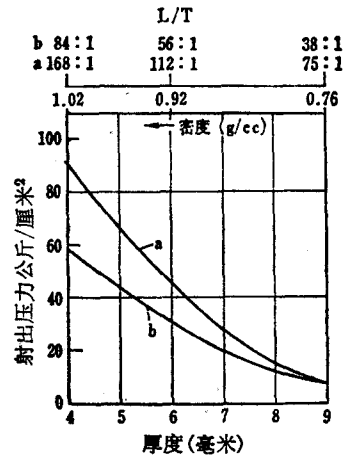


图 17 厚度与压力的关系 (ABS 树脂)

a. 中心铸口; b. 多点铸口

表 6 实体体和发泡体的注射压力比较

中心铸口			A B S				聚 苯 乙 烯		
厚度 (毫米)	N (公斤/厘米²)	S (公斤/厘米²)	N (公斤/厘米²)	S (公斤/厘米²)	$f_1$	N (公斤/厘米²)	S (公斤/厘米²)	$f_2$	
4	150	87	168	90	1.9	167	100	1.7	
6	85	42	104	45	2.3	100	50	2	
9	33	7	46	8	5.8	45	10	4.5	

多点铸口			A B S				聚 苯 乙 烯		
厚度 (毫米)	N (公斤/厘米²)	$f_2$	N (公斤/厘米²)	S (公斤/厘米²)	$f_2$	N (公斤/厘米²)	S (公斤/厘米²)	$f_2$	
4	51	2.9	57	2.9	2.9	73	2.3	2.3	
6	25	3.4	31	3.3	3.3	37	2.7	2.7	
9	7	4.7	8	5.8	5.8	10	4.5	4.5	

注:  $N$ =实体体时的压力;  $S$ =发泡体时的压力;  $f_1, f_2 = \frac{N}{S}$

山根用锁模力为 400 吨、注射容量为 1,500 毫升的通用注射成型机成型 400×250 毫米的方板,在变更厚度时,求出不产生溢边的最低锁模力。铸口是中心直接主流道铸口。表 7 是实验结果,根据此结果再概算应用于大型成型品的锁模力(表 8)。

表 7 厚度与锁模力的关系

厚度 (毫米)	最低锁模力 (吨)	模型内平均压力 (公斤/厘米 <sup>2</sup> )
3	300	300
5	200	200
10	100	100
15	60	60
20	40	40

表 8 厚度、锁模力、投影面积等的关系

锁模力 (吨)	厚度 (毫米)	最大投影面积 (厘米 <sup>2</sup> )	最大容积 (毫升)	最大发泡重量 (克)
200	3	670	200	180
	5	1,000	500	420
	10	2,000	2,000	1,400
	15	3,300	5,000	3,000
	20	5,000	10,000	5,250
600	3	2,000	600	540
	5	3,000	1,500	1,300
	10	6,000	6,000	4,200
	15	10,000	15,000	9,000
	20	15,000	30,000	16,000

从实验用模型不设置排气孔和以发生溢边为标准的观点来看,表 7 所示的锁模力似乎是过高的。当兼顾 Lettner 的报告时,反正锁模力只为非发泡成型的几分之一,因此在成型大型制品之际,希望采用模型安装台大的,锁模力低的专用机器。

低发泡成型品和非发泡成型品相比通常是壁厚、导热率低,因此冷却时间长,花费更多的周期时间。图 18 表示厚度和冷却时间的关系。采用图 19 所示的旋转式以及图 20 那样的滑动式注射成型机,就能有效地进行低发泡成型。Schlueter 计算了拥有这样几

个锁模装置的注射成型机的成型成本,并讨论了它的经济性。

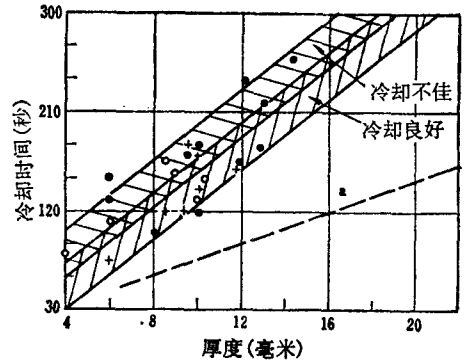


图 18 厚度和冷却时间的关系

α 是使用冷却模型的情况; ● 聚苯乙烯  
+ ABS; ○ 聚丙烯

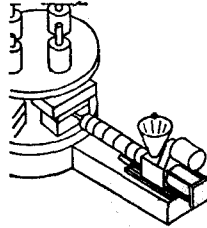


图 19 旋转式注射成型机

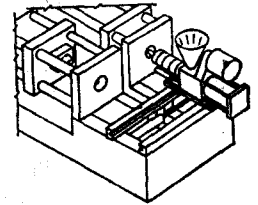


图 20 滑动式注射成型机

### 3. 模型

**材料** 低发泡注射成型时,熔融的树脂以 1/100 秒左右的很短时间注射入模型,借本身的膨胀力充满模穴内部,所以如前所述,遭受的压力极低,因此,模型使用的材料、强度方面没有多大问题,主要采用铝和亚铝合金等容易加工的材料。

Glanvill 提出了表 9 所示的低发泡成型用的代表性的模型材料。这些材料的主要特征列举如下:

① 软钢: 机械性能优良,具有平均的热性能,容易机械加工,价格便宜。但由于有腐蚀、锈蚀等缺点,故在长期使用时,需要镀铬。

② 镀铬(13%)钢: 机械性能良好,热性能不佳。耐腐蚀性虽好,但易锈蚀,故要镀铬。机械加工比软钢容易,但价格高。



表9 低发泡注射成型模型材料的比较

材料	比重 克/毫升	比热 千焦耳/公斤 $^{\circ}$ C	导热度 瓦/米 $^{\circ}$ C K	热扩散系数 米 <sup>2</sup> /小时 $\alpha$	拉伸弹性模量 $10^6$ E	抗张强度 F	比冷却时间 X	比冷却时间 Y
铜	8.89	0.394	376.5	0.388	1.172	21.64	1.0	1.0
软钢	7.85	0.477	51.1	0.049	1.962	41.75	2.2	6.0
Ni Cr 钢	7.6	0.503	17.6	0.017	1.962	123.70	0.7	17.2
铍铜	8.09	0.419	121.2	0.129	1.24	108.30	0.12	3.15
铝合金	6.7	0.419	104.5	0.184	0.828	26.26	1.4	3.0
铝合金	2.7	0.918	205.0	0.298	0.711	18.54	1.8	2.0
环氧树脂	1.2	1.340	1.673	—	0.138~0.414	7.73	—	—

(注) X: 和铜具有相同强度的厚度情况下的冷却时间比。

Y: 和铜具有相同变形量的厚度情况下的冷却时间比。

③ 铍铜: 热性能、耐腐蚀性、机械性能优良, 容易机械加工, 低发泡成型时要镀铬, 价格高, 因此使用在必须提高冷却效率的部分。

④ 铝合金: 机械性能差, 热性能、耐腐蚀性好, 难锈蚀。容易机械加工铸造。虽耐腐蚀性比铝合金差, 但是, 价格在模型材料中最为便宜。

⑤ 铅合金: 机械性能比铝合金略好, 热性能、耐腐蚀、耐锈性、机械加工性优良。耐磨性虽不佳, 但在低发泡成型时已足够。比重比铝合金大, 特别是铸造价格较高。

⑥ 环氧树脂: 是用铝粉作填充的环氧树脂, 耐蚀、耐锈性好, 但机械特性和热性能不良。普通垫以钢材使用, 价格非常便宜, 使用于原型及极小量的生产。

Lettner 举出了低发泡成型用模型的材料和结构的 2、3 个例子。即试验用模是用木型和木框制造磁制的简易模型, 可成型约 5 次左右。在几百到几千的小批量生产时, 将铝粉混入环氧树脂比较好, 在此场合下, 可用木型和木框制作模型。模穴的表面用同样的材料加工。注型时最好埋入铜的冷却管。图 21 是用铝板制成的模型结构例子。图 22 是

将铝板焊接在钢板型板上的例子, 图 23 表示芯型的冷却。这样的铝模可以成型 50,000 次。

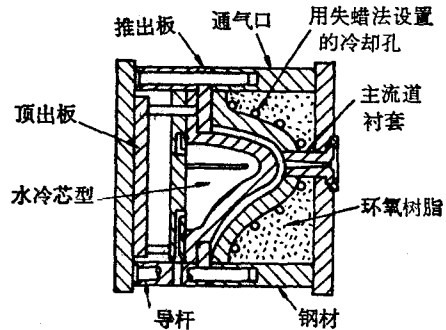


图 21 和环氧树脂组合铸造的模型例子

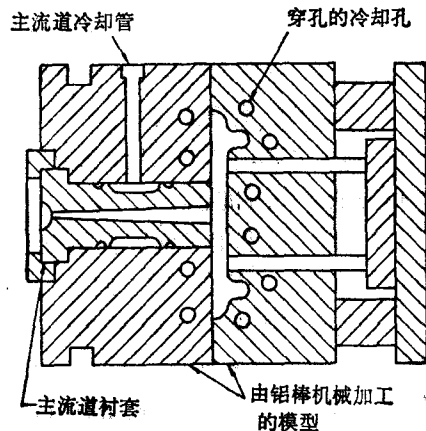


图 22 由铝棒制成的模型例子