

液体橡胶的流变行为和注射成型模具流道系统的设计

俞正元

(长沙电缆附件有限公司, 湖南 长沙 410014)

摘要: 介绍了液体橡胶的流变行为和注射成型模具流道系统的设计。液体橡胶是粘弹性流变液体, 其在较大截面流道中的低速流动是泊肃叶型剪切流动; 在窄缝形流道中的高速流动是拉伸流动; 在突变流道处的3种流动状态是膨胀、扭曲和喷射。液体橡胶注射成型模具流道系统由包括主流道、分流道、浇口等的浇道系统和包括排气口、排气集料穴、排气过渡槽、主排气通道等的排气系统组成。浇口及排气口的位置、形状和尺寸主要根据液体橡胶的流变行为和生产工艺参数确定, 浇口的截面尺寸一般比塑料注射成型模具浇口小, 但台阶长度大; 主流道及分流道的位置、形状和截面尺寸主要根据产品尺寸和生产工艺参数调节范围确定。

关键词: 液体橡胶; 流变行为; 注射成型模具; 流道系统

中图分类号: TQ330.1⁺8; TQ330.4⁺1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-890X(2000)07-0420-12

液体橡胶由于流动性好, 可以用浇注和注射成型工艺制备出形状复杂、尺寸精度高和性能好的橡胶制品, 从70年代起就在美国、法国和德国等国家广泛应用。我国虽然从80年代初期就开始了液体橡胶的应用研究, 但就目前我国绝大多数液体橡胶及其加工设备还依赖进口, 产品加工工艺还没有形成理论系统, 尤其是产品模具设计仍然停留在参照塑料制品模具设计理论的状况来说, 我国液体橡胶的应用研究还很落后。本课题从建立液体橡胶注射成型模具设计的基础理论需要出发, 探讨了液体橡胶的流变行为和注射成型模具流道系统的设计。

1 液体橡胶的流变行为

要正确设计液体橡胶的注射成型模具流道系统, 必须准确掌握液体橡胶的流变行为。

液体橡胶是一种特殊的高分子化合物, 到目前为止还不能对其属性做出确切的定义。从物性上看, 液体橡胶是一种在室温下具有流动性的聚合物, 经过适当的化学处理, 可形成三维网状结构, 从而具有与普通硫化胶相近的性能。

从加工工艺上看, 液体橡胶是一种可用泵输送并能直接注入模型的预聚物。目前, 可用泵输送的液体橡胶粘度已达到 $1\,000\text{ Pa}\cdot\text{s}$ 。随着橡胶机械的发展, 可用泵输送的液体橡胶粘度将越来越大。

液体橡胶受外力作用时, 不但表现出粘性, 还表现出弹性和塑性, 即其既具有流动性又具有形变行为。由于这种流动性和形变行为强烈地依赖于液体橡胶的分子结构和外界条件(环境温度和作用力等), 因此已不能用普通意义的“流动性”或“流动性质”来概括。目前, 液体橡胶的这种流动性和形变行为被称为流变行为或流变性。

1.1 在较大截面流道中

对液体橡胶注射成型模具而言, 截面面积大于 $1/3$ 喷嘴孔截面面积的流道称为较大截面流道, 液体橡胶在其中的流速相对较低; 同时, 在不同形状的较大截面流道中液体橡胶的流变行为不同。

1.1.1 在直形流道中

粘度较大的液体橡胶在外力作用下以较低的流速在较大截面流道中流动时, 由于流道壁面的粘附作用及橡胶分子的无序运动和内聚力, 其流动受到牵制, 且流动截面上各点的流速

不同, 这种状态的流动属泊肃叶型剪切流动。在圆管形直流道中时, 进行泊肃叶型剪切流动的液体橡胶在圆管纵截面上的流速分布呈锥形抛物线形, 如图 1 所示。其中, 圆管中心流速最高, 管壁处流速为零。为说明液体橡胶的剪切流动规律, 可以用图 2 所示的装置来做一简单试验, 即在圆筒形容器中先后放入粘度相同的白色液体硅橡胶 A 和绿色液体硅橡胶 B, 然后通过活塞对液体橡胶施加压力, 让其缓慢流动。从试验中可以看到, 圆柱体下端流出的是绿色粘稠物, 并且其前端呈圆锥形。将圆柱体中的

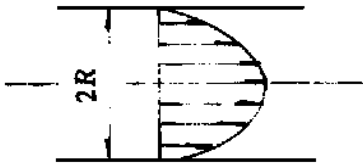


图 1 圆管形直流道中液体橡胶的流速分布
 R 为流道半径

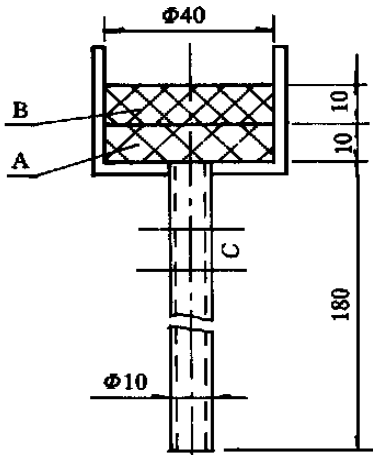


图 2 剪切流动试验装置

流体硫化后取 C 段纵向剖开发现, 硫化胶的外层为白色, 中间部分为绿色, 如图 3 所示。这说明白色液体硅橡胶先期粘附在管壁上不流动。因此可以说, 靠近流道壁表面的液体橡胶具有“流动爬壁性”或者“流动粘壁性”, 其流速低于中心部分的液体橡胶。

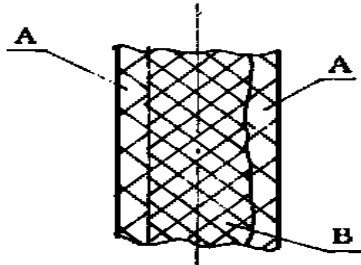


图 3 硫化胶纵截面图

1.1.2 在流道分支处

在注射成型模具中, 由于液体橡胶是通过流道到达不同位置的, 因此液体橡胶的流动不可避免地要出现分流流动。根据分支处的位置不同, 液体橡胶的分流道分为干-支型和支-支型两大类, 如图 4 所示。

1.1.2.1 在干-支型分流道分支处

干-支型分流道是从主流道中分支出的截面积相对较小的支流道。液体橡胶在干-支型分流道分支处的流速分布如图 5 所示。由于液体橡胶流动时对流道壁面有“爬壁性”, 因此在流道壁转向时其流动方向也随之改变。又由于剪切流动液体橡胶在流动方向改变时能量有所降低及分流道截面面积减小时其流动阻力增大, 因此如果没有其它作用力, 仅在流道阻力作用下, 分支处液体橡胶的流动会越来越慢, 甚至停止。但实际生产中这种情况一般不会发生。

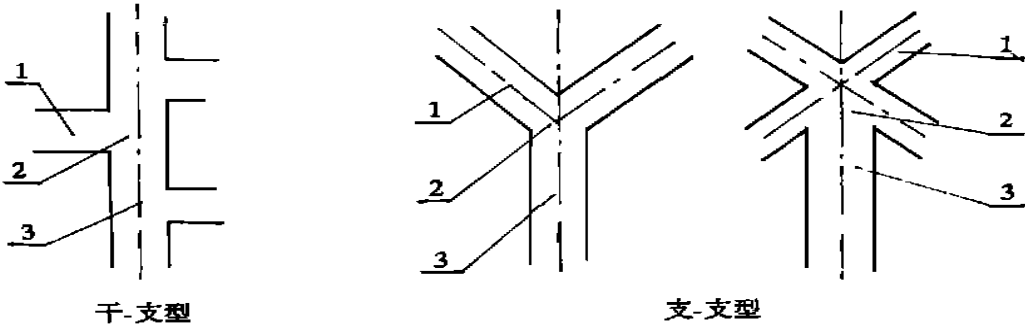


图 4 注射成型的流道示意图

1—分流道; 2—分支处; 3—主流道

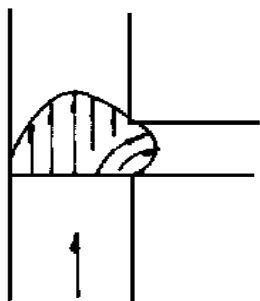


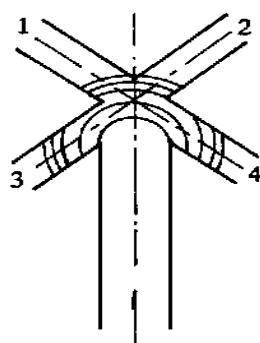
图5 干-支型分流道分支处液体橡胶的流速分布

实际情况是,在主流道完全充满、注射速度不为零、注射压力不断增大并转化为液体橡胶的弹性静压力以及静压力增大到一定值时,各分流道中的液体橡胶即从流动阻力最小的分支处开始流动。当部分液体橡胶开始流动后,分支处液体橡胶的静压力就会下降,若压力补偿不足,液体橡胶的流动又会停止;若压力增大的幅度仅能维持一条或少数几条分流道液体橡胶的流动,那么其它分流道的液体橡胶就不会流动。只有压力增大的幅度大于所有分流道分流后压力下降的幅度,各分流道才会相继分流。因此,干-支型分流道是不平衡分流道即非平衡式分流道。

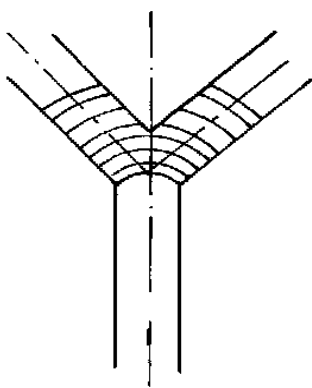
1.1.2.2 在支-支型分流道分支处

支-支型分流道是从主流道末端同时分出的几条支流道。在支-支型分流道的分支处,流道截面面积的突然增大不仅使液体橡胶的内应力减小,而且使其流动行为发生变化。结果是,在弹性形变恢复效应作用下,液体橡胶的流动变为从主流道出口向四周均匀漫散(常称为漫流),如图6所示。

在图6(a)中,因分流道3和4的分支处离主流道出口最近,故液体橡胶最先漫入。当液体橡胶漫入分流道后,因流道壁的吸附作用,液体橡胶的漫流会最终停止下来。当进入各分流道的液体橡胶都停止漫流后,在注射压力作用下,主流道出口处的液体橡胶剪切应力最先增大,然后按到主流道出口处距离由小到大的顺序,各分支处的液体橡胶剪切应力依次增大。也就是说,如果各分流道中液体橡胶的流动阻力相同,分支处距主流道出口较近的分流道3和4中的液体橡胶先开始流动;随注射压力的



(a)非平衡式



(b)平衡式

增大,分支处距主流道出口较远的分流道1和2中的液体橡胶也相继流动。要说明的是,在结构相同和分支处距主流道出口距离相等的分流道中液体橡胶的分流情况相同。

根据分支状况,即分支处的分布状况,支-支型分流道分为平衡式和非平衡式两种。

1.2 在突变流道中

1.2.1 较大截面流道与窄缝形流道连接处

液体橡胶注入模具时,多是从较大截面流道流入窄缝形流道。当液体橡胶从如图7所示的模具分流道流入浇口时,由于流道的突然变小,液体橡胶的流动阻力增大。如果推动液体橡胶流动的压力不变,流动就会停止。在实际生产中,一般是采用保持或增大注射压力的方法来推动液体橡胶流动。但在注射压力增大的情况下,液体橡胶分子会在剪切应力作用下发生取向和伸长现象;当注射压力增大到一定值时,液体橡胶的流动就转为拉伸流动。液体橡胶进行拉伸流动时会出现“分级流动效应”,也

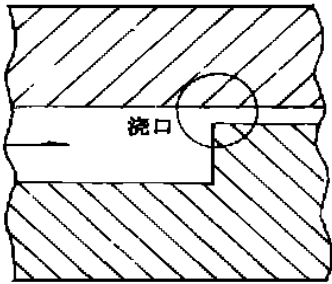


图 7 流道突变处的结构示意图

就是液体橡胶与流道壁的粘附强度减小, 液体橡胶在流道壁上发生滑移, 即液体橡胶在流道壁上的流速不再为零。同时, 在较高的剪切应力和切变速率下, 液体橡胶的粘度和流动阻力减小。在实际生产中, 对于浇口数量较多的注射成型模具, 用液体橡胶的注射压力曲线可以清楚地说明各浇口处的压力变化情况, 如图 8 所示。

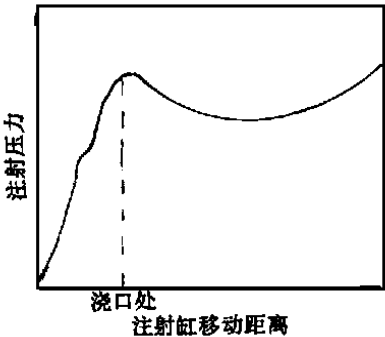


图 8 液体橡胶的注射压力曲线

液体橡胶从较大截面流道流入窄缝形流道时, 流动阻力与液体橡胶粘度和窄缝形流道长度成正比, 与窄缝形流道宽度和深度成反比。实际生产中, 常常采用加大流道深度的方法来减小胶料流动阻力。

1. 2. 2 在窄缝形流道与模腔连接处

在注射成型模具中, 液体橡胶从窄缝形流道流入模腔时(如图 9 所示), 其流动状态将从拉伸流动转为剪切流动。由于液体橡胶具有粘弹性, 其流经窄缝时受到的大部分拉伸力将转化为分子链的可逆性收缩形变; 同时其流入模腔时空间的突然增大又使其分子极大地恢复形变, 因此液体橡胶流出窄缝后的截面尺寸比窄缝尺寸大, 如图10所示, 这种效应称为膨

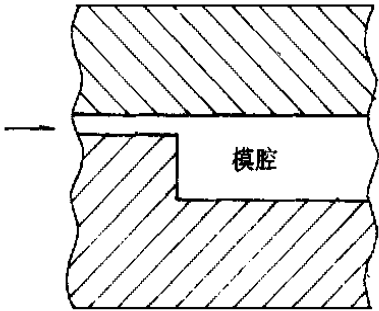


图 9 窄缝形流道与模腔连接的结构示意图

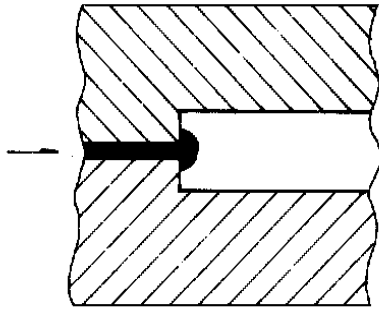


图 10 液体橡胶的膨胀效应

胀效应。在压力相同的情况下, 橡胶分子在各个方向的膨胀率是相同的。膨胀效应还受到时间和空间的限制, 只有在时间足够长和空间足够大的情况下, 液体橡胶的膨胀效应才能充分地表现出来。

液体橡胶流出窄缝形流道的流速超过一定限度时, 会造成前段流出的液体橡胶还未充分膨胀, 后段流出的液体橡胶却已开始膨胀的问题, 从而导致前后段流出的液体橡胶相互挤压和弯曲变形即扭曲现象, 如图 11 所示。如果生产中有扭曲现象发生, 液体橡胶就有可能包容气体而使产品出现气泡问题。如果液体橡胶的

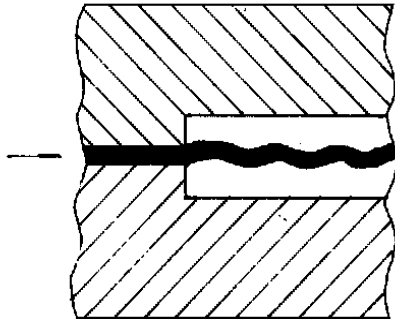


图 11 液体橡胶的扭曲变形现象

流速再提高,其膨胀效应没有足够的时间完成,还会发生喷射现象,如图12所示。由于流速高的液体橡胶流经窄缝时存在“爬壁”性,且

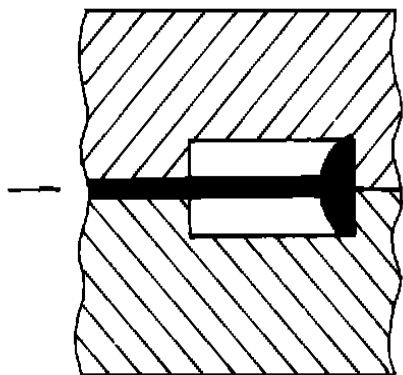
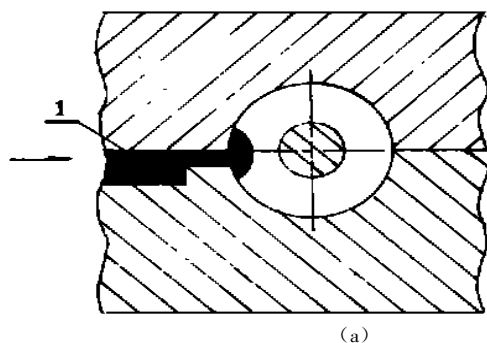
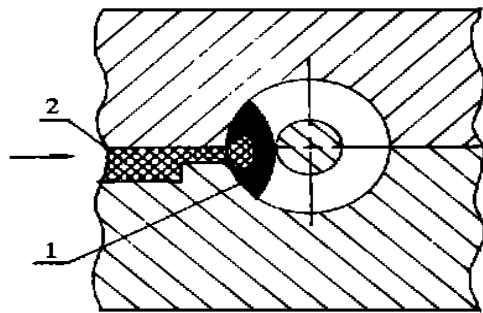


图12 液体橡胶的喷射现象



(a)



(b)

图13 液体橡胶的注射工艺控制示意图

1—前期进入的液体橡胶; 2—后期进入的液体橡胶

液体橡胶的注射成型与固体橡胶和塑料不同。对固体橡胶和塑料的注射成型而言,流体是在模腔中膨胀并充满模具的,重力对其流动的影响几乎可以忽略不计;对液体橡胶的注射成型而言,除特殊的薄壁制品模具外,流体进入模腔时因空间的剧增,其压力几乎降到零,因此液体橡胶是在膨胀效应和重力作用下流动并充满模具的。液体橡胶的膨胀效应对其各方向流动的影响是相同的。液体橡胶的粘度、流速及流道尺寸和入口处的几何形状等是影响液体橡胶膨胀效应的重要因素。重力对液体橡胶流动的作用取决于液体橡胶的粘度,粘度越大的液体橡胶流动越困难。液体橡胶在模腔中实际的填充状况取决于其单位时间的膨胀量和重力的综合作用。图14为同一液体橡胶在不同工艺条件下的填充状况比较,图15为粘度不同的液

其分子间的摩擦增多会导致其温升加剧,因此喷射现象经常伴随着液体橡胶的焦烧和模腔中空气难以排出等问题。

液体橡胶的膨胀效应是决定其注射工艺的主要因素。采用流道系统合理的注射成型模具和合适的注射成型工艺,完全可以避免液体橡胶进入模腔时产生的喷射和扭曲现象。也就是说,在注射初期,液体橡胶流经浇口进入模腔时的流速应较低,以让其充分膨胀,如图13所示;在注射后期,液体橡胶的流速应较高,以提高生产效率。要说明的是,后期提高液体橡胶的流速不会导致产品出现气泡问题。另外,只通过流道指向来引导液体橡胶达到某一指定模腔部位是不可能的。

体橡胶在相同工艺条件下的填充状况比较。

从图14可以看出,注射速度低即单位时间注射量小,液体橡胶的膨胀效应不明显,其流动主要表现为重力作用;注射速度高即单位时间注射量大,液体橡胶的膨胀效应明显,其流动几乎不受重力作用。从图15可以看出,通过改变工艺,可以使粘度不同的液体橡胶达到相同的注射效果。实践证明,通过加大注射成型模具的浇口尺寸和提高液体橡胶的注射速度,可以用粘度为 $100 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 的液体橡胶替代粘度为 $300 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ 的液体橡胶制备同一产品。

2 液体橡胶与塑料的注射成型差异

虽然液体橡胶和塑料的注射成型都是在压力作用下让液体(熔体)通过一定流道充满模腔的,但它们的差异较大。液体橡胶充满模腔后

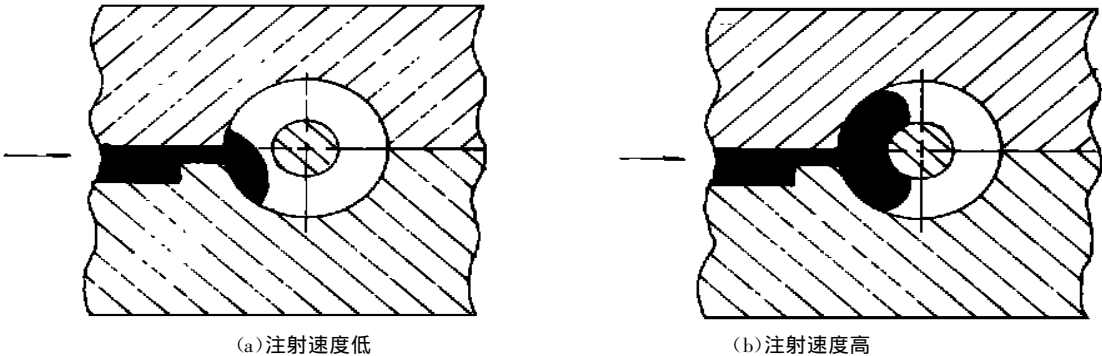


图 14 同一液体橡胶在不同工艺条件下的填充状况比较

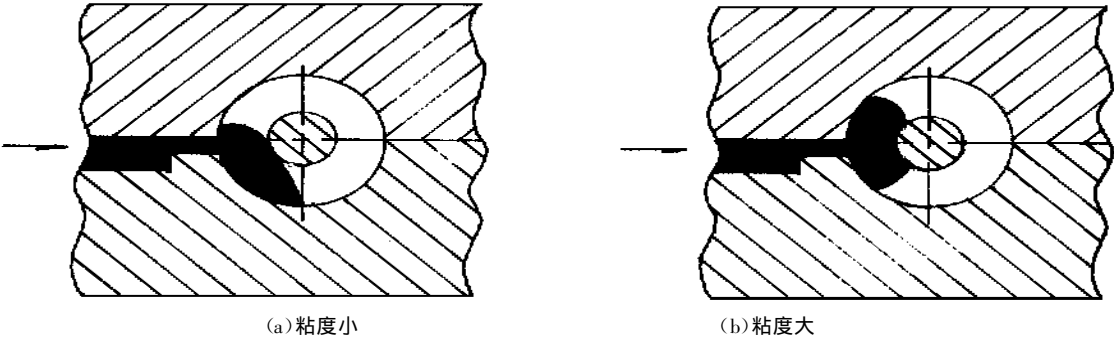


图 15 粘度不同的液体橡胶在相同工艺条件下的填充状况比较

在一定压力和温度下的硫化成型是一个受热过程, 模温一般高于 100 ℃。塑料熔体充满模腔后在一定压力下的结晶定型是一个冷却过程, 模温一般低于 100 ℃。

在塑料注射成型模具的设计中, 主要考虑浇道系统能否让流体顺利充满模腔及浇道系统与制品尺寸稳定性和内应力及缩孔和凹陷等质量问题的关系。

在液体橡胶注射成型模具设计中, 主要考虑浇道系统能否让液体橡胶快速充满模腔、制品硫化中是否出现焦烧问题和浇道系统与排气系统能否形成顺畅的流道系统。在橡胶配方和模具型腔设计适当的前提下, 模具的流道布局对制品尺寸和物理性能的影响不大。因此, 液体橡胶注射成型模具流道系统的设计应以能顺畅排出模腔中气体为指导思想。

由于液体橡胶的流动性一般比塑料熔体好, 注射成型时易出现气泡问题, 因此液体橡胶的注射成型模具流道系统一般都设有抽真空的

排气系统。在设计排气系统时应注意避免液体橡胶进入真空通道。

3 液体橡胶注射成型模具的流道系统设计

流道系统是指模具中除模腔外液体橡胶能流动的通道, 其一般由包括主流道、分流道、浇口等的浇道系统和包括排气口、排气集料穴、排气过渡槽、主排气通道等的排气系统组成, 如图 16 所示。

要设计合理的流道系统, 除必须了解液体橡胶的工艺性能, 如粘度、硫化特性和流变行为等外, 还必须了解注射设备的工艺参数, 如最大注射压力(或最大注射速度)、活塞截面尺寸和喷嘴孔直径等。

目前, 由于没有准确计算流道系统尺寸的方法, 因此只能定性地探讨流道系统的设计。

3.1 主流道

主流道又称主浇道, 是注射机喷嘴到分流道的一段流道, 起着引导液体橡胶进入分流道

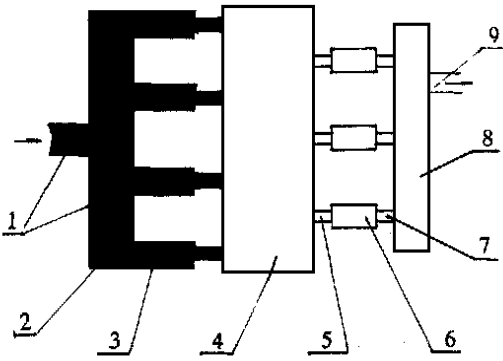


图 16 液体橡胶注射成型模具流道系统的结构

1—主流道 2—分流道 3—浇口 4—模腔 5—排气口 6—排气集料穴 7—排气过渡槽 8—主排气通道 9—真空通道

的主渠道作用。主流道是浇道系统中截面面积最大的流道。

注射成型模具主流道的设计应以保证硫化制品方便从模具中取出为前提。主流道的长度由模腔位置、分流道位置和长度决定。由于硫化后主流道和分流道内的余料为废料，因此主流道与各分流道的容积之和应尽量小。

3.1.1 截面形状

对比表面积（流道表面积与体积的比）的大小而言，主流道截面采用圆形截面最佳；从加工制造的方便性而言，主流道截面采用梯形截面最佳。但在分析流道系统时，主流道截面多选用圆形截面。

3.1.2 截面尺寸

与固体橡胶的熔体相比，液体橡胶的流动性好和压力损耗较小。由于压力损耗不是主流道设计考虑的主要问题，因此在此不对其作进一步探讨。在设计主流道截面尺寸时，根据 1.1 节阐述的在较大截面流道中流道壁上的液体橡胶流速为零的理论可以得出，如果流道壁受热，粘附在其上的液体橡胶就会不断硫化，从而造成液体橡胶的有效流动截面面积不断减小，这就是所谓的时间效应。由于多数液体橡胶在室温下能硫化，且硫化速度随着温度的升高而加快，因此液体橡胶的硫化特性是主流道截面尺寸设计重点考虑的因素。另外，液体橡胶的注射速度和注射量也是主流道截面尺寸设计的重要影响因素。

一般来说，在液体橡胶硫化速度慢和注射量小的情况下，主流道的截面尺寸应较小；在液体橡胶硫化速度快和注射量大的情况下，主流道的截面尺寸应较大。但是，主流道的最大截面直径不得超过产品的最大厚度，最小截面面积不得小于喷嘴孔截面面积。一般来说，主流道的截面面积约等于在预定模具温度条件下和 6~8 倍的注射时间内主流道内完全硫化的液体橡胶截面面积与喷嘴孔截面面积之和。

模具制造时实际加工出的主流道截面面积应比设计的略小，这有利于再加工时截面尺寸的修改。

由于注射喷嘴处液体橡胶的压力最大，因此若将主流道设计在分型面上，就易造成分型面出现泄漏问题。要解决这个问题，主流道可设计成图 17 所示的结构。其中，喷嘴孔直径 d 比主流道全设计在分型面上增大 2 mm。

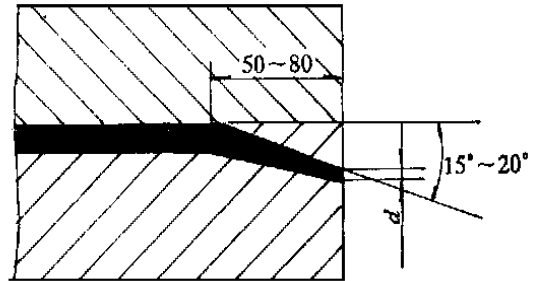


图 17 分型面上的主流道结构

由于液体橡胶在注射成型模具中的温度变化过程是一个受热升温过程，因此其注射成型模具的主流道和分流道都不用设计“冷料穴（井）”。

3.2 分流道

分流道又称分浇道，是主流道与浇口之间的流道，起着引导液体橡胶到达各个浇口处和分配流量的作用。

为了便于加工，分流道的截面形状一般与主流道相同，多为梯形。由于分流道液体橡胶的流速比主流道低，流量比主流道小，因此其截面尺寸相应地比主流道小。实际设计中，分流道深度一般为主流道深度的 $1/3 \sim 1/2$ ；长度由主流道与浇口的距离确定；壁面粗糙度小于 $Ra 0.8 \mu m$ 。

3.2.1 在多模腔模具中

(1)对称分布的分流道

从 1.1.2 节中液体橡胶在较大截面流道分支处的流变行为分析可知,通过改变对称分布的分流道的截面尺寸、长度及其与主流道的位置关系是完全可以改变液体橡胶流动状态的。在图 18 和 19 所示的对称分布的分流道系统结构图中,1,2,3 和 4 是 4 个完全相同的模腔,如果采用图 18 所示的分流道结构,液体橡胶并不是同时充满 4 个模腔的,而是先充满 1 和 2 两个模腔,后充满 3 和 4 两个模腔;如果采用图 19 所示的分流道结构,即通过改变分流道的长度或分流道与主流道的位置关系,则可以使 4 个模腔同时均匀地充满。

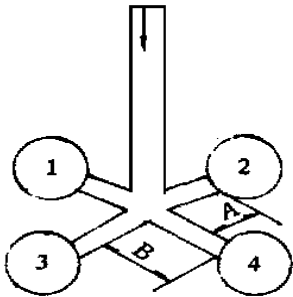


图 18 对称分布的分流道系统结构之一

$A = B$

(2)非对称分布的分流道

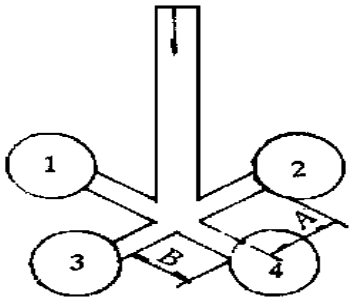
液体橡胶在多模腔模具非对称分布的分流道中的流量分配不仅受分流道截面尺寸和长度及浇口形状、尺寸和数量的影响,而且受注射工艺的限制,如图 20 所示。因此仅通过改变分流道的截面尺寸和长度及分流道与主流道的位置关系来控制液体橡胶的流量分配是很困难的。为此,一般在分流道内安装流量调节阀即通过调节分流道的有效流通截面来控制流量分配,如图 21 所示。调节阀的宽度多为分流道平均截面宽度的 2 倍。

3.2.2 在单模腔模具中

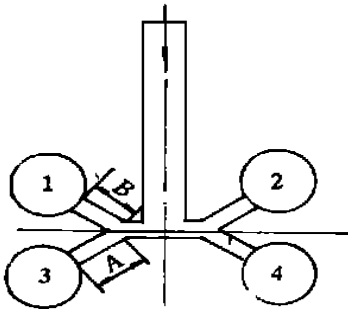
液体橡胶在单模腔模具分流道中的流量分配直接由浇口尺寸控制。

3.3 浇口

浇口是液体橡胶进入模腔的最后通道,是



(a) $A > B$



(b) $A = B$

图 19 对称分布的分流道系统结构之二



(a) 注射速度低 (b) 注射速度高

图 20 注射速度对分流道内液体橡胶流动的影响

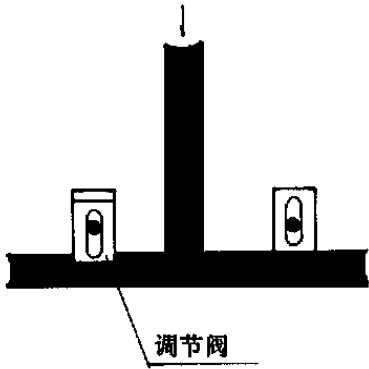


图 21 分流道内调节阀的安装结构示意图

流道设计的重点和难点。液体橡胶流经浇口进入模腔的流变行为关系到液体橡胶能否充满模腔、模腔中的气体能否顺利排出及产品质量优

劣等问题。浇口设计不当会导致模具流道设计的失败。

要设计合理的浇口,除要掌握液体橡胶的粘度、硫化特性、流变行为及硫化胶的物理性能外,还要了解产品的结构、形状、表面质量要求及注射工艺参数。

3.3.1 分类

按所在位置,浇口分为隧道式和分型面式两大类。隧道式浇口的截面尺寸与分型面式浇口设计方法一致。

(1)隧道式浇口

设置在模具实体中的浇口称为隧道式浇口,又称潜伏式浇口,其结构如图22所示。由于产品从隧道式浇口模具中取出时必须与分流道分离,因此隧道式浇口的设计必须考虑硫化胶的拉伸强度。如果硫化胶的拉伸强度太大,产品与分流道的分离会很困难;如果硫化胶拉伸强度太小,产品的脆性过大,浇口及分流道中的余胶易破碎,模具就难以清理干净。另外,隧道式浇口的修锉很不方便。因此,液体橡胶的注射成型模具一般不采用隧道式浇口。

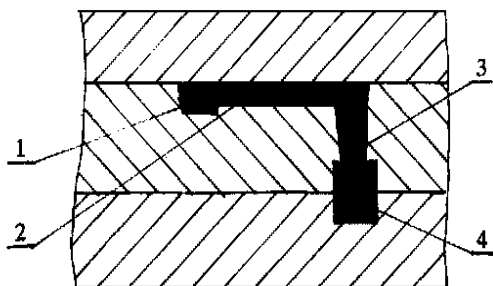


图22 隧道式浇口的结构示意图

1—主流道 2—分流道; 3—隧道式浇口; 4—模腔

(2)分型面式浇口

设置在模具分型面上的浇口称为分型面式浇口,又称分模面式浇口。分型面式浇口模具的产品取出、分流道清理和浇口的修锉都很方便,并易于实现生产的自动化。通常情况下,液体橡胶的注射成型模具多采用分型面式浇口。

3.3.2 设计时应注意的问题

由于浇口中的“分级流动效应”会导致浇口对应的产品部位出现“色斑”及切除浇口和排气口余胶的产品部位撕裂强度最小现象,因此对

于产品而言,浇口的设计应注意以下两个问题:

(1)浇口不能设置在性能要求较高的制品表面对应的模具位置;

(2)浇口和排气口不能设置在后续工序中制品受力较大部位对应的模具位置。

3.3.3 截面形状及尺寸

从1.2节对液体橡胶在突变流道中流动状态的分析可知,液体橡胶在模腔中的填充行为取决于液体橡胶从浇口进入模腔时的速度或单位时间内的流量。在一定生产工艺参数下,液体橡胶从浇口进入模腔的流变行为取决于浇口的截面尺寸。

为加工方便,隧道式浇口的截面形状多设计成圆形,分型面式浇口的截面形状多设计成矩形窄缝。

决定浇口尺寸的主要因素有:

(1)液体橡胶的粘度、比热容及导热系数

液体橡胶的粘度和导热系数大、流动性差及比热容小时,浇口的尺寸应较大;液体橡胶的粘度和导热系数小、流动性好及比热容大时,浇口的尺寸应较小。这是因为浇口尺寸较小时,液体橡胶在浇口中的流速较快,与浇口壁发生的摩擦较剧烈,若液体橡胶导热系数大、比热容小,就会造成液体橡胶流经浇口时温升过高及出现焦烧现象。合理的浇口尺寸是液体橡胶通过浇口后得到一定温升且其各部位温度均匀一致的前提条件。

(2)注射量

在相同的生产工艺参数下,液体橡胶的注射量小,即产品小,浇口尺寸应较小,这有利于提高液体橡胶的温升和缩短生产周期;液体橡胶注射量大,即产品大,浇口尺寸应较大,这有利于缩短注射时间和产品均匀硫化。

(3)产品形状

产品形状决定液体橡胶在模腔中的填充行为。对于形状较复杂的产品,其注射成型模具必须设置多个浇口来调整液体橡胶的流入状态或流量,以控制液体橡胶在模腔中填充行为并有利于气体的排出。在图23中,浇口e的尺寸应大于浇口f,并且在W处应设置排气口而不是浇口,否则,G段中的气体就无法排出。

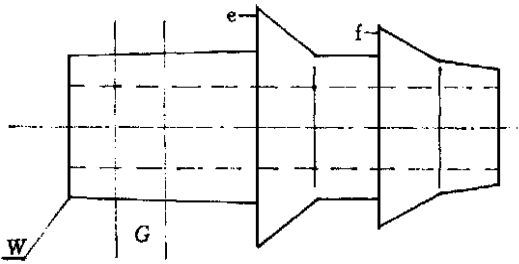


图 23 多个浇口组成结构示意图

(4)液体橡胶的膨胀效应

在图 24 中,要想使气体从排气口排出,就必须考虑液体橡胶在充模过程中受到重力作用和膨胀效应。液体橡胶从浇口流入模腔的流速不能太低。在对生产工艺稳定性要求较高时,浇口的尺寸控制尤为重要。

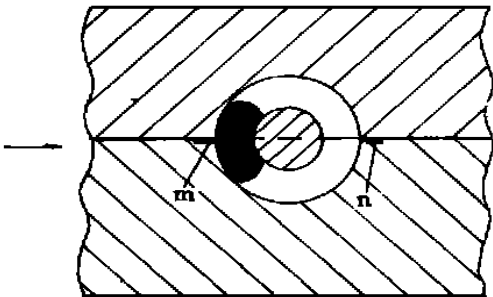


图 24 浇口与排气口组成结构示意图

m—浇口; n—排气口

(5)橡胶的硫化

在一定温度和压力下,橡胶制品的硫化是从外到内的逐步硫化。随着硫化程度的加深,制品内压也逐步增大;同时,制品越厚,内压越大。在制品完全硫化前,由于其先硫化的外壁物理性能较差,因此在内外压差的作用下,浇口对应的应力较大的制品部位易开裂,且浇口截面面积越大,该部位就越易开裂。

通过上述分析可以得出,在一定的温度和注射压力等工艺条件下,不同的液体橡胶对应不同的浇口尺寸限度。可以说,浇口尺寸是整个流道中的关键尺寸。浇口尺寸的经验计算式为:

$$S_n = S_0 \cdot \frac{v'}{v_{\max}} \cdot \frac{\eta_a}{1\,000} \cdot \frac{Q_n}{Q_0} \cdot K$$

式中 S_n ——第 n 个浇口截面面积;

- S_0 ——喷嘴孔截面面积;
- v' ——液体橡胶的预定注射速度;
- $v_{\max}$ ——液体橡胶的最大注射速度;
- Q_n ——第 n 个浇口分配的流量;
- Q_0 ——总注射量(总流量);
- η_a ——液体橡胶粘度;
- K ——状态因数(1~10)。

其中, η_a 一般不大于 1 000 Pa $^{\circ}$ s; K 通常取 5, 当 $K=1$ 时,液体橡胶进入模腔时易发生喷射; $K=10$ 时,液体橡胶进入模腔后的流变行为受重力作用的影响。

对于圆形浇口,其半径 r 应为:

$$r = \left(\frac{S_n}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}$$

对于矩形浇口,其宽度 W 通常取 3~6 mm,深度 h 为 S_n/W 。

对于浇口较多的模具,设计浇口尺寸时还应考虑液体橡胶流经浇口时的动态平衡。液体橡胶通过浇口时,其单位时间的流量与压力呈非线性关系。通过 1.2.1 节分析可知,液体橡胶在浇口处的压力小于起始流动阻力时,其流动会停止。液体橡胶在矩形浇口处的起始流动阻力与矩形浇口长度和宽度成正比,在圆形浇口处的起始流动阻力与圆形浇口半径成正比,矩形浇口深度对液体橡胶流动的影响比宽度更大。

浇口的台阶长度一般取 3~5 mm,粗糙度小于 Ra 0.16 μ m。

液体橡胶注射成型模具的浇口尺寸一般比塑料注射成型模具小,而台阶长度比塑料注射成型模具大,其目的是使液体橡胶通过浇口时得到适合的温升。

为避免开模过程中浇口对应的产品表面部位损坏,一般在距模腔 1~1.5 mm 的浇口台阶上开一撕边矩形流胶槽(1 mm $\times$ 1 mm),如图 25 所示。

3.4 排气口

在液体橡胶注射模具中,如果排气口和浇口设计不合理,模腔排气不畅,即使采用抽真空装置,也不可能将气体彻底排尽。

排气口是气体从模腔中排出通道的端点。

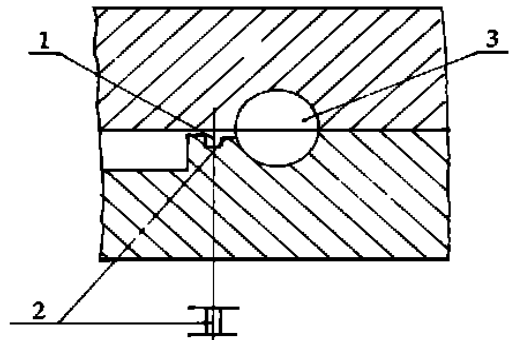


图 25 撕边槽的设置

1—浇口; 2—撕边槽; 3—模腔

与浇口一样, 排气口也分为有隧道式和分型面式两种, 如图 26 所示。隧道式排气口常称为排气孔。排气口的位置和数量一般在设计浇口位置时确定。排气口设计的原则是: 排气口应设置在模腔中液体橡胶最后填充的地方。当然, 排气口位置的确定还应兼顾产品的生产工艺和物理性能要求, 例如与浇口设计一样, 排气口不能设计在后续工序中制品受力较大部位对应的模腔处。要设计如图 27 所示的液体硅橡胶制品生产用的注射成型模具, 并要求制品成型后内径膨胀 300%, 模腔的排气口应设置在制品 D 区域对应的模具位置。但如果排气口设置

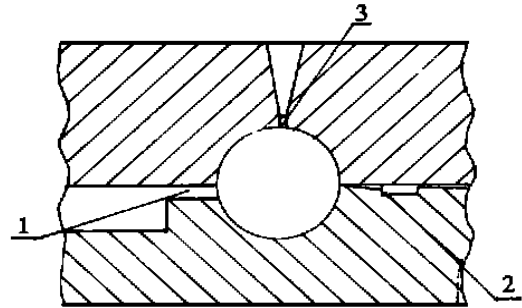


图 26 排气口的结构

1—浇口; 2—分型面排气口; 3—隧道式排气口

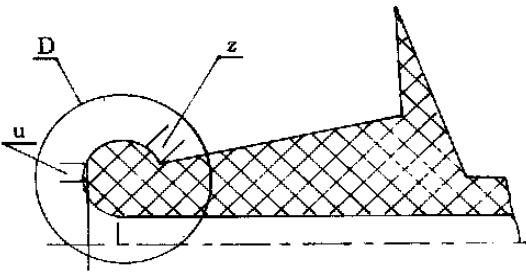


图 27 排气口的设置

在制品受力较大的 u 部位对应的模腔处, 那么制品内孔扩张时, 其 u 部位的表面容易开裂。显然, 在制品 z 部位对应的模腔处设置排气口合理。

由于隧道式排气口内的余胶难以清除干净, 因此应尽量避免设计隧道式排气口。

为加工方便, 隧道式排气口多设计成小圆孔, 直径为 0.5 ~ 1.0 mm, 台阶长度为 2 ~ 3 mm; 分型面式排气口多设计成窄缝, 宽度为 3 ~ 5 mm, 深度为 0.03 ~ 0.05 mm, 长度为 3 ~ 5 mm。

3.5 排气集料穴

当液体橡胶充满模腔后, 在压力的作用下, 排气口一般会溢出少量的余胶。排气口的尺寸和位置不同, 溢胶量不同。在注射量偏大的情况下, 排气口溢出的余胶较多。由于一套模具的排气主通道一般只有一条, 因此如果不设置排气集料穴, 一些浇口溢出的余胶就有可能堵塞其它排气口甚至整个主排气通道, 并导致余胶进入真空管道。如图 28 所示, 若排气口 3 溢胶量过多, 就会堵塞排气口 4。

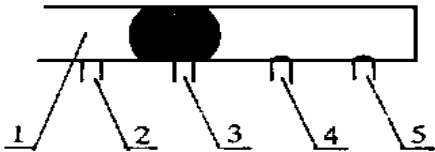


图 28 多个排气口组成结构

1—主排气道; 2, 3, 4, 5—排气口

虽然通常情况下对排气集料穴的截面尺寸要求并不严格, 但对其容积却有一定的要求。排气集料器容积的推荐计算式为:

$$V = \nu U \cdot \frac{3}{2N}$$

式中 V ——排气集料穴容积;
 ν ——总溢胶量因数 (0.005 ~ 0.02);
 U ——产品体积;
 N ——集料穴个数。

其中, ν 值一般取 0.005; 只有在注射设备计量误差较大时, ν 值才取 0.02。

3.6 排气过渡槽

排气过渡槽为排气集料穴与主排气通道的

连接通道, 截面多为矩形窄缝, 深度为 0.5 ~ 0.8 mm, 长度为 10 ~ 20 mm, 宽度与排气口宽度相同。排气过渡槽的作用是阻止排气集料穴中的溢胶进入主排气通道。

3.7 主排气通道

主排气通道的作用是使各排气口排出的气体汇集在一起直接排出或通过抽真空系统排出模具。主排气通道的截面面积小于 4 mm² 时, 其长度与截面面积之比应不小于 20, 以避免抽真空时出现气体阻尼现象。

4 结论

- (1)液体橡胶是可用泵来输送的粘弹性流变液体。
- (2)在较大截面流道中, 液体橡胶的低速流动为泊肃叶型剪切流动, 流道壁上的液体橡胶流速为零; 在窄缝形流道中, 液体橡胶的高速流动为拉伸流动, 伴有“分级流动效应”出现。

(3)液体橡胶从窄缝形流道进入模腔中的 3 种基本状态是膨胀、扭曲和喷射。

(4)液体橡胶注射成型模具流道系统的设计要点是: ① 确定生产工艺和产品质量要求, 了解液体橡胶的粘度、硫化特性、流速、导热系数、热容量及硫化胶的拉伸强度或撕裂强度, 掌握注射设备的注射速度、最大注射压力和活塞直径等参数; ② 根据胶料的流变行为和生产工艺参数, 设计浇口的位置、形状、尺寸, 并确定排气口的位置; ③ 根据产品尺寸及生产工艺参数调节范围, 设计主流道的形状、截面尺寸及确定分流道的位置、截面尺寸; ④ 主流道截面的最大直径不得大于产品的最大厚度, 主流道最小截面面积不小于喷嘴截面面积; ⑤ 液体橡胶注射成型模具的主流道、分流道不需设计“冷料穴(井)”, 且其浇口的截面尺寸一般比塑料注射成型模具的浇口小, 而台阶长度大。

收稿日期: 2000-01-27

Siegling 公司购得在华合资
胶带公司控股权

中图分类号: TQ336.2 文献标识码: D

美国《橡胶和塑料新闻》2000 年 4 月 3 日 39 页报道:

轻型和中型胶带制造商 Siegling 公司购买了它在中国沈阳 Forbo-Siegling 合资公司的全部股权。Siegling 公司计划在未来 3 ~ 4 年内向沈阳这家胶带公司投资 800 万美元。3 月初它购买了沈阳胶带总厂持有的 20 % 股份, 从而获得了该合资公司 100 % 的控股权。这家在中国的合资公司成立于 1997 年, 生产的胶带品种与 Siegling 公司相同, 包括各种以聚酯纤维为带芯, 以聚氯乙烯、聚氨酯或硅橡胶为覆盖层的室内运输机械/加工机械用胶带。沈阳胶带总厂专门从事矿山和港口等室外输送用重型胶带的生产。Siegling 公司认为, 随着中国加工业的发展和 GNP 的增长, 对其生产的胶带的需求肯定将会增长。

(涂学忠摘译)

2001 年 NR 价格将翻番

中图分类号: TQ332 文献标识码: D

英国《欧洲橡胶杂志》2000 年 182 卷 3 期 14 页报道:

经济学家情报局(EIU)预测, 随着生胶价格的上涨, 2000 年工业制品价格将强劲反弹。由于亚洲经济持续反弹, 世界经济增长越来越强劲, 预示着工业制品增长的好兆头。尽管目前 NR 市场供应过剩比预期的严重, 但 EIU 仍预测到 2000 年下半年需求将出现强劲反弹。这是一段时间以来由于市场疲软减少了胶树种植已显现影响的结果。EIU 预测, 从长远观点看, 提高价格将刺激 NR 增产, 从而使价格趋稳(见表 1)。

表 1 EIU 预测的生胶价格

项 目	1998 年	1999 年	2000 年	2001 年
价格/(英镑·t ⁻¹)	475.0	439.0	538.8	788.8
变化率/%	-27.6	-7.6	+22.7	+46.4

(涂学忠摘译)