

聚氯乙烯通过矩形口模挤出时 离模膨胀的研究

郁文娟

(机械工程系)

摘要 研究了 PVC 材料通过矩形口模挤出时,口模的几何参数和剪切速率对离模膨胀的影响,并从理论上分析了其特征规律。

主题词 聚氯乙烯;挤出;膨胀/离模膨胀

中图分类号 TQ320.663

0 前 言

离模膨胀描述的是这样一种现象:当聚合物熔体从口模中挤出时在没有外部拉伸的情况下,挤出物的截面积会大于口模出口处的截面积。这一现象最早为 Barus 所发现,因此又称为 Barus 效应,离模膨胀的程度以膨胀比表示,定义为挤出物截面积与口模截面积之比^[1,2]。

由于聚合物熔体离模膨胀的研究对于聚合物材料的加工,模具的设计具有非常重要的意义,曾有许多研究者致力于离模膨胀的研究。对这一现象的本质目前比较一致的看法是,离模膨胀是聚合物粘弹性流体所表现出来的特有的弹性应力松弛现象,但至今尚未有一个普遍接受的理论。

用毛细管流变仪研究熔体的流变性是目前普遍采用的一种方法。本研究选用平直矩形口模,以 PVC 为挤塑材料,分析口模的几何参数以及剪切速率对离模膨胀的影响。

1 试验方法

选用 PVC 材料,在长径比 21:1 的单螺杆挤出机上,配用口模成型段长度 L ,宽度 W ,高度 H ,入口角 2α 的平直矩形截面口模,变化口模的几何参数,设定几种不同的螺杆转速(由此获得不同的剪切速率),在加工温度 $179\pm 1\text{C}$ 的工艺条件下,对挤出物的离模膨胀现象进行研究。

收稿日期: 1995-05-22

2 结果与讨论

试验显示,口模几何参数和剪切速率的变化对熔体的离模膨胀有不同程度的影响。

2.1 口模成型段长度的影响

一般情况下,流体在口模成型段基本可分为二个流动区域:不稳定流动为特征的入口区域和稳定的剪切流动区域。熔体进入口模入口区域,流道截面缩小,流动呈收束流动,流体在流动方向上产生速度梯度,对高分子链产生拉伸力而引起拉伸弹性形变。由于聚合物的结构特征,熔体能储存应变能,且在应力除去后,应变的弹性成分能按照具有可变系数的Maxwell体的基本定则而回复^[3]。这样,口模成型段就为熔体释放弹性能提供了一个区域。然而弹性回复不是瞬时可以完成的,原因在于应力解除后,大分子弯曲和延伸的恢复需要克服体系的粘性阻滞。这样,弹性回复在很大程度上就取决于口模成型段的长度。更确切地说,熔体弹性形变回复的程度取决于熔体在口模成型段中停留的时间。如果弹性形变在口模成型段有足够的松弛时间,口模出口处膨胀就少;反之则部分残余弹性形变在口模出口处回复,口模出口处膨胀就多。

图1为实验中口模膨胀比随口模成型段长度(以长高比 L/H 表示)增加而变化的情况。

图1表明:

- 1) 离模膨胀随成型段长度增加而减小,说明入口处弹性形变在口模成型段中有一个逐渐松弛的过程;
- 2) 同样的口模长度,剪切速率高时,膨胀比就大,说明因剪切速率高,相应缩短了熔体弹性能在口模中的松弛时间(当然还有其他原因)。

上述现象要说明的本质也可用图2表示^[4]。图2表明口模入口处的弹性储能随口模成型段长度的增加而逐渐衰减。这一过程说明,如果成型段有足够的长度,弹性储能将最后完全消除。

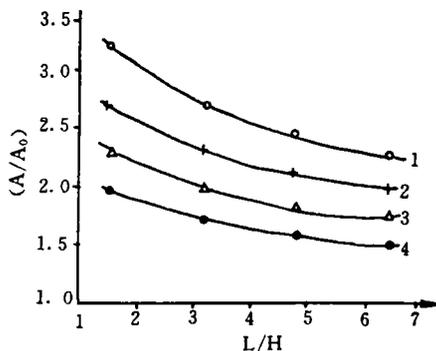


图1 膨胀比(A/A_0)随口模成型段长度(以 L/H 表示)变化曲线

对应的剪切速率 r (S^{-1}):(1)24;(2)20;(3)16;(4)8

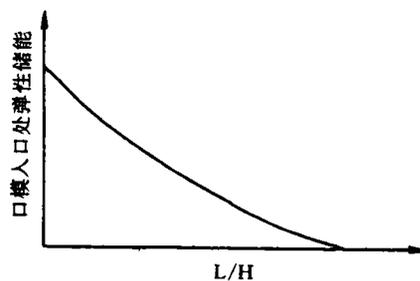


图2 口模入口处弹性储能随 L/H 增大而衰减

熔体进入稳定流动区域的稳定剪切流动导致三维应力状态而产生法向应力^[5]。由于切应力、法向应力差也会使分子链构象发生变化,导致弹性形变,从而在口模出口处回复引起

离模膨胀。从图 1 看,曲线有随 L/H 增大膨胀比下降渐趋于平缓的态势。研究表明,随着口模成型段长度增长,膨胀比将趋于一个定值,与入口效应无关,而主要是由稳定剪切流动时的切应力、法向应力差引起的弹性形变回复所致^[6]

2.2 矩形口模截面的高度方向和宽度方向的离模膨胀

熔体在与料流方向垂直的截面上各点的速度是不等的。一般说来,流道中心处熔体流速最快,分子链被拉伸得最多;沿管壁处熔体流速最慢,拉伸得最小。由此判定,熔体离模膨胀的程度与其在流道中的流动速度有关,并且在口模的不同方向,膨胀的量将是不同的。如果是正方形截面的口模,在直角处流速最慢,因而膨胀量也最小,但是对于几何形状不对称,由二维流动组成的矩形截面口模,除了直角处流速变化外,在截面的高度和宽度方向流速也有变化,因此高度方向和宽度方向的膨胀量不一致。对于宽高比 10:1 的矩形截面口模来说,其在高度方向的膨胀量能占到膨胀总量的 90%~95%^[7]。

图 3、图 4 分别为不同剪切速率的宽度和高度方向的膨胀百分率。可以观察到,在恒定的剪切速率下,高度方向的膨胀占有更多的优势,表明实验结果与理论的分析以及文献报道基本上是吻合的。

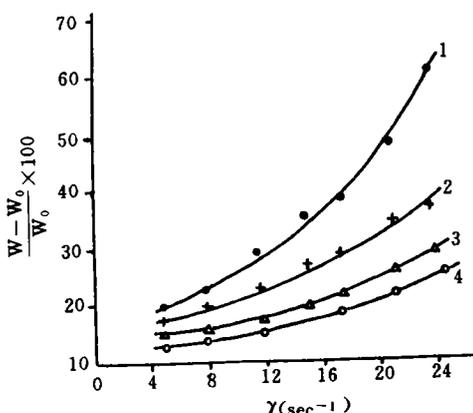


图 3 不同剪切速率时宽度方向的膨胀率
对应的 L/H : (1)1.6; (2)3.2; (3)4.8; (4)6.4

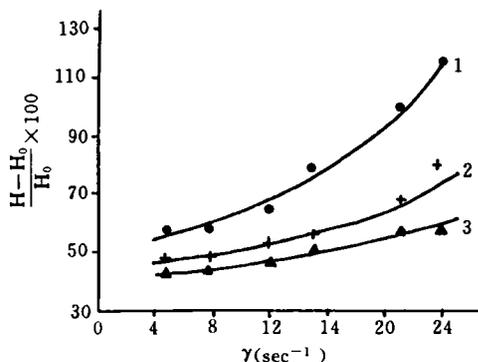


图 4 不同剪切速率时高度方向的膨胀率
对应的 L/H : (1)1.6; (2)3.2; (3)4.8

图 5 为剪切力场在矩形口模中的分布情况。 AB, CD 两轴线交于 O 点。该处的速度最大,而在管壁处渐减至零(假设管壁无滑移), $dv/d\xi$ 为剪切速率。图 5 表明,对于一个非对称几何形状的口模来说,不同方向将经受不同程度的剪切力,从而导致膨胀程度的不同^[4]。

2.3 口模入口角度对离模膨胀的影响

选用入口角度(2α)分别为 $40^\circ, 60^\circ, 120^\circ$ 的矩形截面口模,在同一剪切速率下观察离模膨胀的情况,试验结果如图 6、图 7 所示。从图中可看出,入口角度在 $40^\circ \sim 60^\circ$ 时,离模膨胀随入口角度的增加而增大,当入口角度超过 60° 时,膨胀值开始下降。这很可能与入口处复杂的

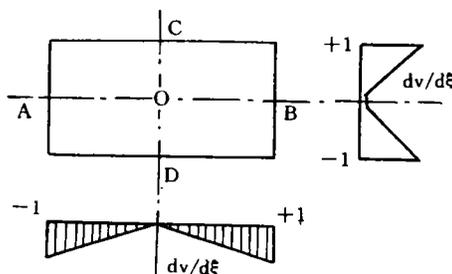


图 5 剪切力场在矩形口模中的分布情况

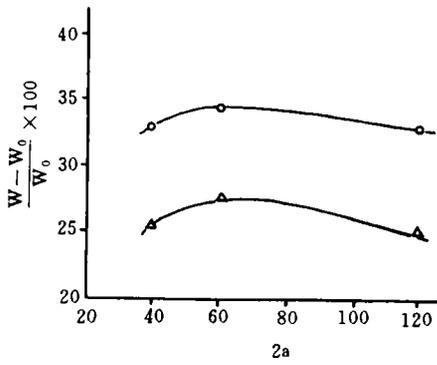


图6 口模宽度方向膨胀率随入口角度 2a 变化的曲线

对应的剪切速率: $\dot{\gamma}$ (S⁻¹); (1)20; (2)10

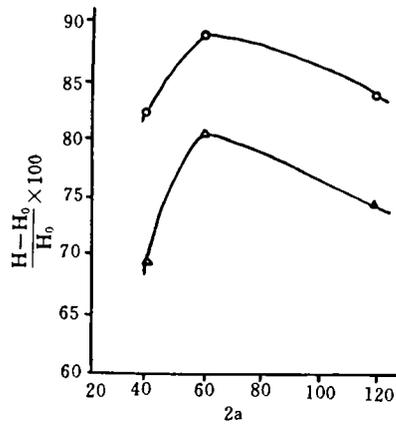


图7 口模高度方向膨胀率随入口角度 2a 变化的曲线

对应的剪切速率: $\dot{\gamma}$ (S⁻¹); (1)20; (2)10

法向应力的变化有关, 另外可回复的弹性形变也是原因之一^[4]。

一般认为, 从挤出机筒到模头由入口角引成的收敛段中, 如果入口锥角小, 则拉伸流动成分少, 剪切流动成分多, 锥角大时, 则情况相反(见图8)^[8,9]。但是, 入口角度过小, 熔料受到的剪切作用增强, 又会在一定程度上使挤出物的弹性回复增强; 而入口锥角过大, 增加拉伸流动成分, 又往往产生强烈的弹性效应, 从而导致过分的离模膨胀。当然具体变化在特定条件下还依赖于熔料的性质。对PVC而言, 过大的入口角度会分离出一个死角区, 从而可能导致熔料的分解。因此, 文献[3]提出了熔体进入收敛区时允许的入口半角的计算公式

$$a = \tan^{-1} \sqrt{2h/\lambda}$$

式中 h 为剪切粘度; λ 为拉伸粘度。低应力时, $\lambda = 3h$, 入口半角约为 40°。

至此可以认为, 实验观察到的最后的离模膨胀, 至少是两种相互作用共同影响的结果: 膨胀增大是因为熔体入口区域加速度作用伴随出口处法向应力的增加; 口模入口角度对可回复的弹性应变发生了影响。

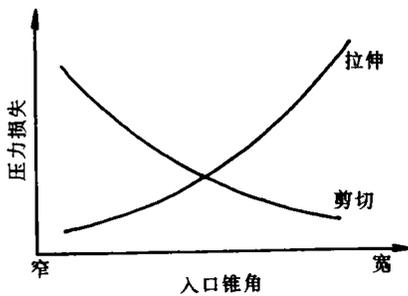


图8 入口角引起的两种流动成分的变化及相应的压降损失

拉伸对应弹性压降, 剪切对应粘性压降

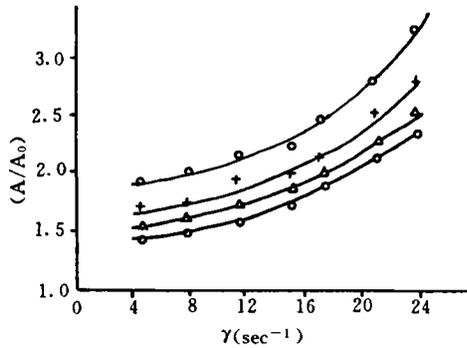


图9 口模膨胀比 (A/A₀) 随剪切变化的曲线

对应的 L/H : (1)1.6; (2)3.2; (3)4.8; (4)6.1

2.4 剪切速率对离模膨胀的影响

如图9所示。

3 结 论

由于试验方法限制,口模挤出物的内部应力未必能完全松弛,但并不妨碍得出以下结论:

- 1) 离模膨胀随口模成型段长度的增加而减小。
- 2) 矩形截面的口模高度方向的膨胀率大于宽度方向的膨胀率。
- 3) 离模膨胀在口模入口角度 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 时趋于增加,超过 60° 时则趋于下降。
- 4) 离模膨胀随剪切速率的增加而增加。

参 考 文 献

- 1 米德尔曼 S(美),赵得禄等译. 聚合物加工基础. 科学出版社,1984
- 2 纳斯 L I(美). 聚氯乙烯大全. 第二卷. 化学工业出版社,1985
- 3 奥戈凯威斯 R M(英),何平笙等译. 热塑性塑料的性能和设计. 科学出版社,1986
- 4 Rakesh Kumar and Keith O' Brien, *Advances in Polymer Technology*, 1987,4(3):4
- 5 杨力工. 中国塑料工程学会第三届技术年会文集. 1985
- 6 金日光. 高聚物流变学及其在加工中的应用. 化学工业出版社,1986
- 7 Brown. *Annual Technical Conference*. 1979,37
- 8 伦克 R S(英),宋家祺等译. 聚物流变学. 国防工业出版社,1983
- 9 高分子学会(日),吴培熙等译. 塑料加工原理及实用技术. 轻工业出版社,1991

Study on the Die Swell of PVC Extruded Through Rectangular Die

Yu Wenjuan

(Dept. of Mach. Eng.)

Abstract The effects of geometrical parameters of die and shear rates on the die swell of PVC extruded through rectangular die were discussed, and the special rules were also analysed theoretically.

Subject-words Polyvinyl chloride: Extrusion: Expansions / Die swell