

气膜润滑剪切机头及其在短纤维增强胶管中的应用

钱百年 童玉清 汪传生 瞿雄伟

(北京化工大学 100029)

摘要 气膜润滑是挤出时在胶料和口型壁之间形成一层很薄的空气膜,不仅可以降低流动阻力,提高挤出量,同时也可降低挤出膨胀。在短纤维增强胶管挤出中可以通过内芯旋转使短纤维沿周向取向以提高爆破强度,但也因内芯旋转使挤出物扭转造成挤出不稳定。利用气膜润滑技术设计制造的气膜润滑剪切机头,成功地解决了由于内芯旋转而产生的挤出扭转造成的挤出不稳定现象。通过流场分析计算,从理论上预测了利用气膜润滑消除物料旋转的可行性。介绍了用气膜润滑剪切机头制造短纤维增强胶管的实验结果。

关键词 气膜润滑,剪切机头,短纤维增强,胶管

1 气膜润滑机头

Ryzard Brzowski 等^[1]于 1987 年创造性地提出一种降低机头阻力的方法,即将空气吹送到胶料和口型壁之间,在胶料和口型壁之间形成一层很薄的空气膜(如图 1 所示),口型壁和胶料之间的空气膜能使胶料的流动由剪切流动变为塞流(如图 2 所示)。此时胶料如同一个圆柱形固体在很小甚至没有摩擦阻力的情况下沿口型流动。他们还对圆形断面口型的气膜润滑机头进行了实验研

究,证明了这种新型机头能大大降低流动阻力,增加挤出产量,同时能降低挤出膨胀。

黄立^[2]对圆形和环形断面口型的空气润滑机头(分单面气膜润滑和双面气膜润滑)进行了实验研究,证明了气膜润滑可明显降低胶料流动阻力,提高产量,降低挤出膨胀。在气膜压力适宜(0.25~0.3 MPa)和多孔性材料表面光滑的条件下,能保证挤出制品有良好的外观。

气膜润滑机头不但能大大降低机头阻力,增加挤出产量,而且还改变了聚合物熔体的流动特性,使聚合物熔体的流动由剪切流动变为塞流。从公式 $f_{11} - f_{22} = j_1 \dot{\gamma}^2$ 可知,当剪切速率 $\dot{\gamma}$ 趋于零时,法向应力差 $f_{11} - f_{22}$ 也趋于零。由于挤出膨胀是由法向应力差引起的,因此利用气膜润滑机头可以大大降低挤出膨胀,便于控制挤出制品的尺寸,这一点对于挤出薄壁制品更有实用意义。

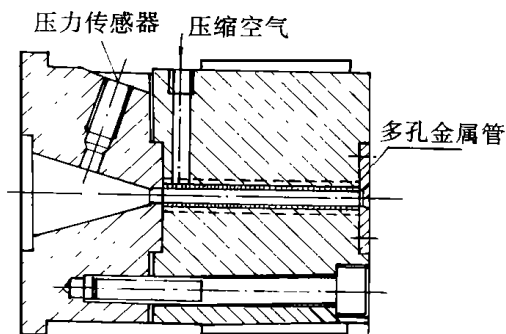


图 1 气膜润滑剪切机头

2 气膜润滑剪切机头在短纤维增强胶管中的应用

在本文中,我们将气膜润滑这种新的思想应用于短纤维增强胶管。在短纤维增强胶管生产中,我们希望短纤维尽可能地沿着圆

作者简介 钱百年,男,29岁。北京化工大学材料科学与工程学院高分子材料专业在读博士生。主要从事橡胶和塑料成型加工、橡塑共混工艺及其设备的开发应用工作。

周方向取向,这样可以大幅度提高胶管的爆破压力。但在传统的管机头中,短纤维在轴向剪切流场的作用下,大多沿轴向取向,不能起到增强胶管的作用。Donald^[3]提出内芯或外芯旋转(或同时旋转)的短纤维增强管机头,通过内芯或外芯的旋转而产生一个沿圆周方

向的剪切流场,短纤维在该圆周方向的剪切流场作用下,部分沿周向取向,增加了胶管的爆破压力。但由于芯棒的旋转,使挤出的制品产生扭转,挤出过程不稳定。为了解决这一难题,我们研制了有气膜润滑段的短纤维剪切取向机头,如图 3所示

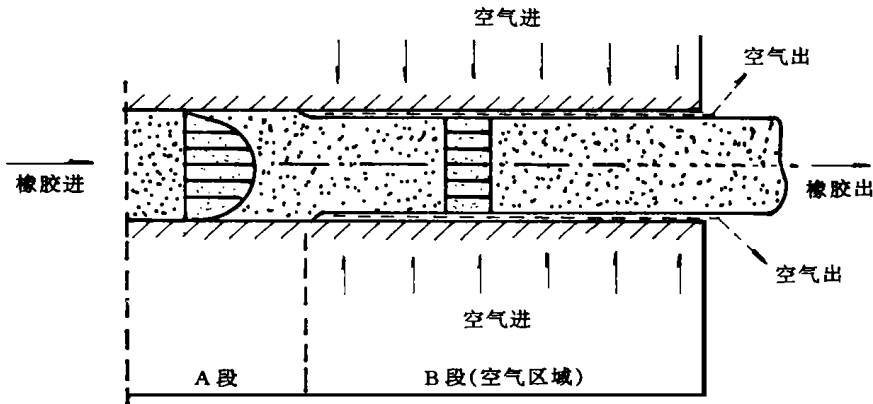


图 2 气膜润滑剪切机头中熔体流动的速度分布

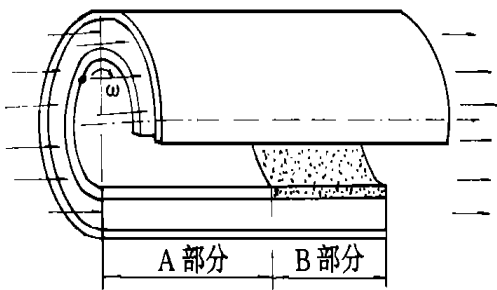


图 3 气膜润滑剪切机头

其结构分成两部分,第一部分(图中 A 部分)由一般金属材料制成,通过旋转的内芯使纤维在圆周方向剪切流场的作用下沿周向取向,第二部分为定型段(图中 B 部分),是由微孔金属管制成的芯棒,在该微孔金属管腔内通入压缩空气,使微孔管外壁与胶料之间形成一层空气膜。物料在气膜段失去旋转的动力,在流体摩擦的作用下,由旋转芯棒产生的物料旋转被消除,从而得到稳定的挤出制品。

本文通过对气膜润滑段的流动分析,计

算出消除物料出口旋转所需的最小气膜润滑段长度。在理论上预测了利用气膜润滑消除物料出口扭转的可行性,并用自行设计的气膜润滑剪切机头进行了实验验证。

3 流场分析

在气膜润滑段,由于内芯的旋转,物料在环形流道中作螺旋流动。我们所关心的是消除旋转所需的最小气膜润滑段长度,因此我们对气膜润滑段的周向速度分布更感兴趣,为简化计算,作如下假设:

- (1)忽略物料与空气膜之间的摩擦;
- (2)忽略气膜厚度;
- (3)忽略重力和惯性力的影响;
- (4)流体为等温、不可压缩的牛顿流体。

当假定气膜润滑段的流体为牛顿流体时,流体沿圆周方向的流动不受其它方向影响,可以独立求解,从而使计算大大简化。

在圆周方向(θ 方向)的动量方程可写成:

$$\frac{\partial P}{\partial \theta} = - \left(\frac{\partial v_{\theta}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_{\theta}}{\partial r} - \frac{v_{\theta}}{r^2} + \frac{\partial^2 v_{\theta}}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

式中 P —— 流体压力;
—— 流体粘度;
 r —— 径向坐标;
 θ —— 周向坐标;
 z —— 轴向坐标;
 v_{θ} —— 流体 θ 方向的速度。

由于流动是周向对称的,因此在 θ 方向(周向)有: $\frac{\partial P}{\partial \theta} = 0$,式 (1) 变为

$$\frac{\partial v_{\theta}}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v_{\theta}}{\partial r} - \frac{v_{\theta}}{r^2} + \frac{\partial^2 v_{\theta}}{\partial z^2} = 0 \quad (2)$$

设气膜润滑段的起点为原点,边界条件为:
 $z = 0$ 时,根据牛顿流体假设, v_{θ} 为线性分布,即

$$v_{\theta} = \frac{R_o - r}{R_o - R_i} R_i k \quad (3-1)$$

$z = \infty$ 时, $v_{\theta} = 0 \quad (3-2)$

$r = R_o$ 时, $v_{\theta} = 0 \quad (3-3)$

$r = R_i$ 时, $f_{\theta} = f_r = 0 \quad (3-4)$

式中 R_i 和 R_o 分别为流道内、外壁半径; f_{θ} 和 f_r 为剪切应力。

又 $f_{\theta} = f_r = - \left[r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{v_{\theta}}{r} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial v_r}{\partial \theta} \right]$
 $= - \left[r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{v_{\theta}}{r} \right) \right] \quad (4)$

所以边界条件 (3-4) 变为:

$r = R_i$ 时, $\frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{v_{\theta}}{r} \right) = 0 \quad (3-4')$

边界条件封闭,控制方程可用数值方法求解

对于我们设计的气膜润滑剪切机头, $R_i = 9\text{mm}$, $R_o = 13\text{mm}$,在四种芯棒转速 $N = 31, 43, 60, 82\text{r/min}$ 下,管内壁 $r = R_i = 9\text{mm}$ 处物料周向速度的变化规律计算结果如图 4 所示。从计算结果可以看出,由于在物料与旋转的内芯之间形成一层很薄的空气膜,物料失去了旋转动力,在很小的长度范围内(几个毫米),由内芯旋转造成的物料周向扭动就被消除。这从理论上证明了通过气膜润滑消除

物料旋转是可行的。
从计算结果中我们还得到一个有趣的结论:气膜润滑段周向速度分布与物料的粘度及挤出产量都无关,而仅取决于流道的几何参数 R_i, R_o 以及芯棒的旋转速度 k 。这一结论对机头的设计十分有利。当然这一结论是基于计算中所作的假设得到的。对于非牛顿流体,产量的变化将引起剪切速率的变化,因此粘度也随之改变,从而影响了周向速度的分布。

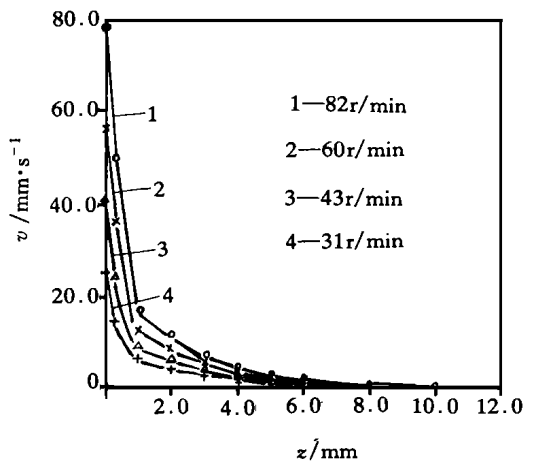


图 4 管内壁处物料周向速度变化规律

4 实验研究
气膜润滑剪切机头制造短纤维增强胶管的技术关键是利用气膜消除物料的出口旋转,从而得到稳定的挤出制品。

4.1 实验概述
实验中的尼龙短纤维直径 $54\mu\text{m}$,切断的纤维长度为 $4\sim 6\text{mm}$,其长径比为 $70\sim 110$ 。为了保证短纤维在聚合物基体中的分散和粘合性能,在混炼之前需对短纤维进行预处理。
实验中所用的胶料为 CR 胶管胶料,纤维填充量为 15 份(重量份)。预处理后的短纤维和橡胶在开炼机上进行预混,使短纤维在橡胶中分散均匀。
实验中多孔材料采用不锈钢粉末冶金过

滤管件,它是以金属粉末为原材料,通过烧结制成的。这种多孔金属套内的压缩空气(气源压力 3~6 MPa)能使套外壁和胶料之间形成一层起润滑作用的气膜。

挤出实验是在 $\Phi 65\text{mm}$ 挤出机上进行的。实验所用机头为带气膜润滑段的剪切机头,芯棒由单独的传动装置驱动。压缩空气通过芯轴中心导入气膜段内孔。

4.2 实验结果

实验表明,气膜润滑技术的引入能明显地达到减小摩擦的目的,提高挤出产量。

实验证明了引入气膜润滑技术后,能明显地消除物料的出口扭转。在多孔材料有效长度 10mm 以下时基本上能够消除 4种芯棒转速下物料的旋转,这与我们的理论预测值大致相符。当不通入压缩空气或多孔材料被严重堵塞时,出口物料则产生严重的扭转。

5 结语

传统的管机头中纤维大多沿轴向取向,不能起到增大胶管爆破压力的作用。通过芯棒的旋转改变了机头内物料的流动状态,从而改变了纤维的取向,使纤维的周向取向程度比传统机头显著提高,增大了胶管的爆破压力。但芯棒的旋转使出口物料产生扭转,挤出制品不稳定。在旋转的内芯棒和物料之间通入一层很薄的空气层后,可以成功地消除物料出口的扭转。同时,气膜润滑技术的引入,能明显地降低机头阻力,提高挤出产量,物料挤出膨胀程度也降低。

参考文献

- 1 Ryzañd Bet al. Air-lubricated die for extrusion of rubber compounds. *Rubber Chem. Technol.*, 1987; 60: 945~956
- 2 黄立. 橡胶挤出机气膜润滑口型中胶料流动行为的研究. 北京化工大学, 1992
- 3 Donald. Extrusion of plastic pipe. *USP* 3 279 501, 1966

收稿日期 1996-12-12

Air-lubricated Shear Die and Its Application to Short Fibre-reinforced Rubber Hose

Qian Bainian, Tong Yuqing, Wang Chuansheng and Qu Xiongwei

(Beijing University of Chemical Technology 100029)

Abstract A thin air film formed between rubber and die wall during extrusion of rubber can not only reduce the flow resistance and increase the output but also reduce the die swell. By means of the air-lubricated shear die, the short fibre orientation in hoop direction can be achieved by rotating a mandrel in short fibre reinforced rubber hose extrusion to increase the burst strength of the hose without unstable extrusion due to the extrudate torsion by rotating mandrel. The feasibility of using air lubrication to eliminate the extrudate rotation is theoretically predicted through the analysis of flow field. The test results of short fibre-reinforced rubber hose produced with the air-lubricated shear die is described.

Keywords air lubrication, shear die, short fibre-reinforced, rubber hose

更 正

本刊 1997年第 1期第 22页(右栏)第 11行“加工助剂 Z-210”应为“加工助剂”。