

http://pmse.scu.edu.cn

壁厚对双层复合微管共挤出胀大及界面位置的影响

刘强^{1,2}, 邓小珍^{1,2}, 肖兵^{1,2}, 纪海波^{1,2}, 祝志芳^{1,2}

(1. 江西水利电力大学 精密驱动与装备江西省重点实验室, 江西 南昌 330099; 2. 江西水利电力大学 机械工程学院, 江西 南昌 330099)

摘要:复合微管是由2种或2种以上材料复合而成的中空导管,具有尺寸微小、多功能集成等特点,在医疗、光纤套管、智能机器人等领域具有极其广泛的应用。文中建立了聚合物双层复合微管共挤流动数值模型,采用有限元方法进行了稳定求解。通过分析不同壁厚时熔体速度、压力、剪切速率等物理场量的分布,研究了壁厚对复合微管挤出胀大和界面位置的影响及其机制。结果表明,传统挤出成型时,壁厚由0.20 mm增至0.50 mm,复合微管挤出胀大率、压力降和剪切速率减小,但层间界面波动增大,复合微管挤出胀大率从55.3%降至45.9%,界面迁移量从0.01 mm增至0.03 mm,增加壁厚对微管质量的提升具有局限性;气体辅助挤出成型时,不同壁厚的复合微管在挤出过程中均较为稳定,没有明显差异,气体辅助技术有助于改善不同壁厚复合微管成型过程的稳定性,提升产品质量。

关键词:双层复合微管;壁厚;挤出胀大;界面;气体辅助挤出

中图分类号: TB33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7555(2026)03-0141-08

近年来,随着聚合物挤出成型技术的不断发展,挤出制品的应用越来越广泛,而复合微管因其结构简单、性能优异,在医疗、光纤套管、智能机器人等与人类社会密切相关领域展现出广阔的应用前景^[1-3]。传统挤出成型即无气体辅助挤出成型时,复合微管因尺寸微小和聚合物熔体本身固有的黏弹物性,其在流道中的流动情况非常复杂,熔体挤出呈现剪切流动,离模后易产生胀大变形、层间界面偏移、熔体胀破等问题,制品质量较难控制^[4-6]。气体辅助挤出成型(简称气辅挤出)可有效改善流道中熔体的流动状态,使熔体挤出呈柱塞状,显著提升制品质量^[7,8],其成型机理如图1所示。

目前,诸多学者对气辅挤出展开了广泛研究,旨在探究气体辅助挤出成型影响因素及其机理。Deng等^[9,10]研究了熔体流率对圆形棒材和双层复合管气体辅助微共挤成型的影响,发现气辅挤出能使聚合物熔体速度分布更加均匀,呈柱塞状挤出,避免膨

胀和变形问题,但无法消除因两层熔体流率差引起的层间界面迁移问题。Jiang等^[11]提出了一种基于“气-液”两相流动模型的方法,模拟研究了气辅层厚度对片材成型的影响,结果表明,气辅挤出时,不仅要适当控制上下气辅层的厚度,还要合理控制熔体入口流率、气体压力和温度等因素,才能获得质量最优的制品。Liu等^[12]通过调节气压大小,形成了单腔微管内外双侧气辅稳定挤出,结果表明,内外双侧气辅可以精确控制单腔微管管径和壁厚,实现微管精密挤出成型。Luo等^[13]研究设计了一种新型双侧微管气体辅助挤出模具,其心轴有1个独立气道,通过强制抽气的方法来调节微管内腔的气体流量和压力,试验和数值研究结果均表明,该方法能有效消除微管膨胀问题,且不会引发其他问题。Ren等^[14]的研究表明,单外侧气辅方式会使微管表面产生凸块缺陷,单内侧气辅挤出方式会使微管直径显著膨胀直至断裂,而内外双侧气辅挤出方式则可获得较好

doi: 10.16865/j.cnki.1000-7555.2026.0047

收稿日期: 2025-04-07

基金项目: 江西省自然科学基金重点项目(20224ACB202004); 江西省自然科学基金面上项目(20252BAC240139)

通讯联系人: 邓小珍, 主要从事聚合物加工成型技术研究, E-mail: Pearl617@163.com

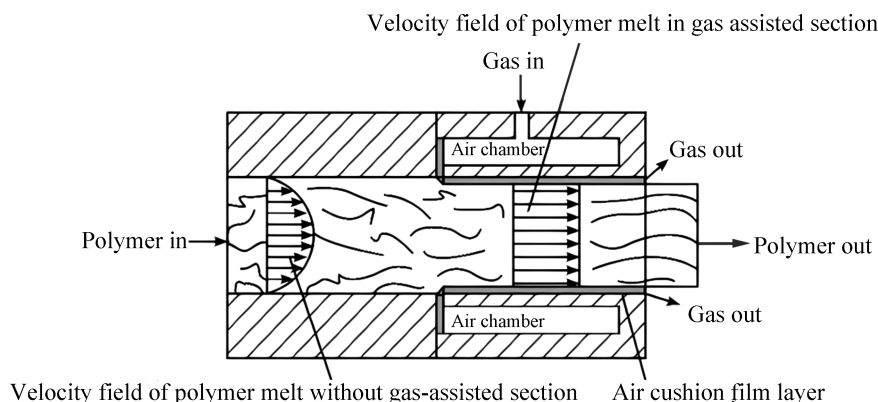


Fig. 1 Mechanism diagram of gas-assisted extrusion process

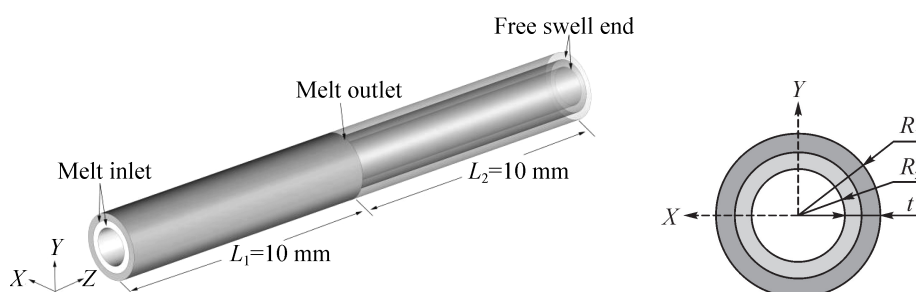


Fig. 2 Geometry of double-layer microtubes: (a) geometric structure of double-layer composite microtubes; (b) sectional dimensions of double-layer composite microtubes

的成型效果。肖兵等^[15]研究了材料物性参数对聚合物双层微管共挤胀大的影响,结果表明,传统微共挤中,挤出胀大率受物性参数影响较大,而气辅微共挤中,复合微管始终无明显胀大和变形现象,且与材料物性参数无关。由此可知,气体辅助技术对聚合物挤出成型有重要影响,且现有关于聚合物微管挤出的研究大多集中于单层微管气辅挤出成型,双层微管的成型机理还有待深入研究。

为此,本文以双层复合微管共挤出为对象,通过分析熔体速度、剪切应力和第一法向应力差等的分布,研究微管壁厚对挤出胀大和层间界面的影响及机理,研究结果可为复合微管的实际生产提供理论依据。

1 数值模型

1.1 几何结构与有限元网格

Fig.2 为复合微管几何结构及截面尺寸,沿熔体挤出方向(Z 方向)分为口模内定型段即气体辅助段($L_1 = 10 \text{ mm}$)和口模外自由胀大段($L_2 = 10 \text{ mm}$),微管外径(R_1)固定为 0.70 mm ,内径(R_2)分别取 0.20

mm , 0.30 mm , 0.40 mm 和 0.50 mm ,微管总壁厚(t)对应 R_2 分别取 0.50 mm , 0.40 mm , 0.30 mm 和 0.20 mm ,2层壁厚相等,即单层壁厚分别为 0.25 mm , 0.20 mm , 0.15 mm 和 0.10 mm 。鉴于复合微管的轴对称性,为节省计算资源,取 $1/4$ 模型计算。熔体入口、出口、层间界面及内外表面流场变化较大,网格划分时进行加密处理(如 Fig.3 所示),以提高计算精度,模型采用六面体结构化网格划分,网格总数为 6000 。

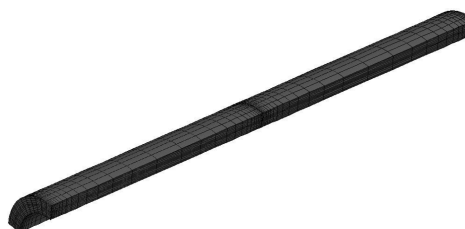


Fig. 3 Finite element meshes of double-layer microtubes

1.2 控制方程与本构方程

基于熔体在微流道中的流动行为,可将其视为不可压缩等温非牛顿黏弹流体,忽略惯性力、重力及

口模与熔体、熔体与熔体间的相对滑移。控制方程可简化为

连续性方程:

$$\square \cdot v_k = 0 \quad (1)$$

动量方程:

$$-p_k + \square \cdot \tau_k = 0 \quad (2)$$

式中: \square ——哈密顿算子; v ——速度矢量, m/s; $k = I, II$ ——分别代表物性不同的2种聚合物熔体; p ——熔体的静压力, Pa; τ ——偏应力张量, Pa。

选用 Phan-Thien-Tanner (PTT) 微分黏弹本构方程描述熔体在微流道中的流动行为和流道外的挤出胀大行为, 其表达式为

$$\exp \left[\frac{\varepsilon \lambda}{(1-\eta_r) \eta_0} \text{tr}(\tau_1) \right] \tau_1 + \lambda \left[\left(1 - \frac{\xi}{2} \right) \square \dot{\tau}_1 + \frac{\xi}{2} \dot{\Delta} \tau_1 \right] = 2(1-\eta_r) \eta_0 D_1 \quad (3)$$

$$\square \dot{\tau}_1 = \frac{D\tau_1}{Dt} - \tau_1 \cdot \square v - \square v^T \cdot \tau_1 \quad (4)$$

$$\dot{\Delta} \tau_1 = \frac{D\tau_1}{Dt} + \tau_1 \cdot \square v^T + \square v \cdot \tau_1 \quad (5)$$

式中: ε ——与熔体拉伸特性有关的材料参数; λ ——松弛时间, s; η_r ——黏度比, $\eta_r = \eta_1 / \eta_0$ (η_1 ——熔体零剪切黏度中的黏性分量; η_0 ——熔体零剪切黏度), Pa·s; ξ ——与熔体剪切黏度有关的材料参数; $\square \dot{\tau}_1$ ——偏应力张量 τ_1 的上随体导数; $\dot{\Delta} \tau_1$ ——偏应力张量 τ_1 的下随体导数; D_1 ——形变速率张量, $D_1 = (\square v^T + \square v) / 2$ 。

1.3 材料参数及边界条件

导管内、外层材料分别选用聚苯乙烯 (PS) 和聚丙烯 (PP), 其 PTT 本构参数如 Tab.1 所示, 为减小内、外层熔体流速差对微管共挤出成型的影响, 设2层熔体单位面积入口流率比为 1:1, 如 Tab.2 所示。

边界条件如下。

(1) 流体入口: 假设熔体在口模入口处为完全发展流, 即满足 $\partial v_z / \partial z = 0, v_x = v_y = 0$ (v_x, v_y 和 v_z 分别为熔体在 x, y 和 z 方向的速度)。

(2) 壁面: 假设熔体与壁面间无滑移, 即满足 $v_n = 0$ 和 $v_s = 0$ (v_n 和 v_s 分别为法向速度和切向速度)。

(3) 层间界面: 忽略熔体与熔体间的相对滑移和表面张力, 且界面两侧处于应力平衡, 流体不穿透界面, 即满足 $f_{nI} = f_{nII}, f_{sI} = f_{sII}, v_{sI} = v_{sII}$ 和 $v_n = 0$ 。 (I 和 II 分别表示不同熔体, f_n 和 f_s 分别为法向应力与切向应力)

(4) 自由胀大表面: 熔体离开口模后, 表面没有外部压力和张力, 满足 $f_n = 0, f_s = 0$ 。

(5) 对称面: 对称平面无切向应力与法向速度, 满足 $f_s = 0, v_n = 0$ 。

(6) 自由胀大末端: 熔体末端未施加任何牵引力, 满足 $f_n = 0, f_s = 0$ 。

2 结果与讨论

2.1 挤出胀大

聚合物在挤出成型过程中的挤出胀大现象通常

Tab. 1 Material property parameters

	$\eta_0 / (\text{Pa} \cdot \text{s})$	λ / s	ε	ξ	η_r
Outer layer melt	4688	0.15	0.18	0.30	0.12
Inner layer melt	2700	0.20	0.23	0.18	0.12

Tab. 2 Melt inlet flow rate

Internet traffic / ($\text{mm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Wall thickness / mm			
	0.20	0.30	0.40	0.50
Outer layer	0.0100	0.0147	0.0188	0.0225
Inner layer	0.0086	0.0111	0.0125	0.0127
Velocity ratio	1 : 1	1 : 1	1 : 1	1 : 1

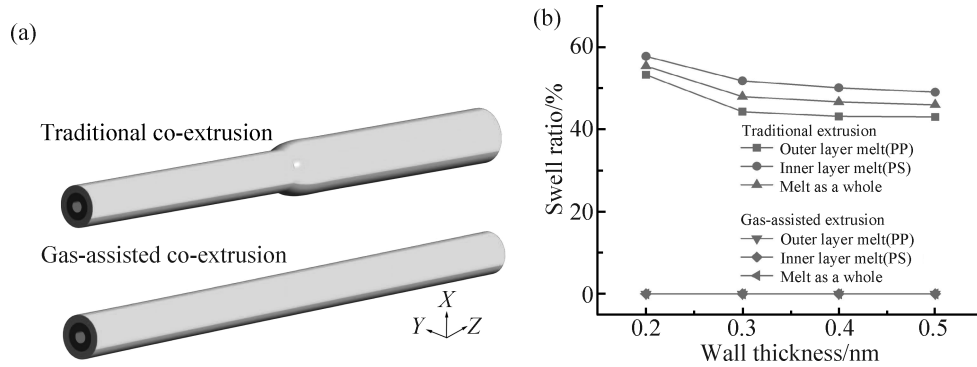


Fig. 4 Effect of microtubes wall thicknesses on extrusion swelling rate: (a) extrusion swelling cloud diagram; (b) extrusion swelling rate

用挤出胀大率表示,其表达式为

$$B = \frac{S - S_0}{S_0} \quad (6)$$

式中: B ——挤出胀大率,%; S ——自由胀大末端面积, mm^2 ; S_0 ——口模横截面面积, mm^2 。

Fig.4 为复合微管的挤出胀大图。由 Fig.4 可知,微管壁厚对传统共挤成型挤出胀大率影响较大,内、外层和整体熔体均存在明显的挤出胀大,但随着熔体壁厚的增加呈下降趋势,其中壁厚为 0.20 mm, 0.30 mm, 0.40 mm 和 0.50 mm 时,微管整体胀大率分别为 55.3%, 47.9%, 46.6% 和 45.9%。在气辅微共挤过程中,熔体各层及整体的挤出胀大率始终趋于 0, 不受微管壁厚的影响,挤出胀大基本消除,即在复合微管共挤成型过程中,气体辅助技术能够有效消除挤出胀大现象,精确控制产品外形及各层尺寸。

2.2 熔体层间界面

Fig.5 为复合微管共挤过程中的层间界面位置。由 Fig.5 可知,传统共挤成型时,层间界面位置在两熔体汇合区域($Z=0\sim 3\text{ mm}$)由外层熔体向内层熔体偏移,且随着壁厚由 0.20 mm 依次增大至 0.50 mm, 界面偏移量分别为 0.009 mm, 0.013 mm, 0.020 mm 和 0.030 mm, 呈现增大的趋势,在定型区域($Z=3\sim 9\text{ mm}$)相对稳定,但在熔体出口附近($Z=9\sim 12\text{ mm}$)呈现由内层熔体向外层熔体的大幅偏移,随着壁厚增大,界面偏移量分别为 0.210 mm, 0.163 mm, 0.147 mm 和 0.133 mm, 呈现减小的趋势,之后界面再次趋于稳定。气辅共挤成型时,熔体层间界面仍存在偏移,但偏移量均在 0.0002 mm 左右,远小于传统共挤,且整个流动过程稳定,这有利于改善复合微管界面稳定性,提高两熔体的黏合质量,进而提升制品

性能。

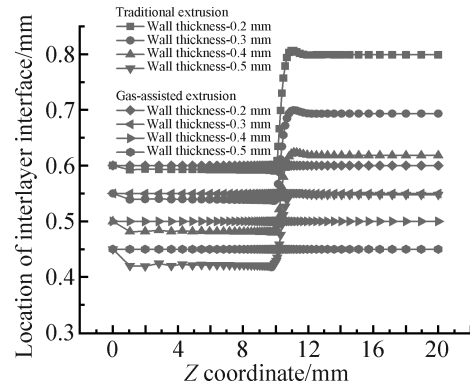


Fig. 5 Effect of microtubes wall thicknesses on interlayer interface

为探究双层复合微管共挤成型机理及壁厚对挤出胀大和层间界面位置迁移的影响机制,对微共挤过程中的熔体速度、压力、剪切速率和第一法向应力差等物理场量进行分析。

2.3 速度场分析

因熔体的径向(X 方向, Y 方向)速度分布在其内、外层和层间界面的表现基本一致,又因研究模型的轴对称性,熔体的 Y 方向速度和 X 方向速度一致,故本文选用 X 方向速度分布进行分析,如 Fig.6 所示。对于轴向(Z 方向)速度,在口模内表现基本一致,熔体离开口模后其整体速度也趋于一致,又因模型的轴对称性,沿 Y 方向的 Z 方向速度分布同 X 方向,故选择熔体汇合处($Z=0\text{ mm}$)沿 X 方向的 Z 方向速度分布进行分析,如 Fig.7 所示。

由 Fig.6 可知,在传统共挤成型时,熔体径向速度从口模入口至 6 mm 处呈现波动,波动程度随着壁厚增大而增大,之后趋于稳定,至口模出口附近,熔

体径向速度发生正向突变(突变程度随壁厚的增大而减小),随后迅速降至0。口模外的径向速度属二次流动,界面上的二次流动将使熔体产生界面偏移和胀大现象,这与 Fig.4 描述的挤出胀大和 Fig.5 描述的层间界面迁移结果相吻合。在气辅共挤成型时,口模内外熔体的径向速度极小,在零值附近略有波动,说明气辅共挤时熔体层间界面表现得更加稳定。

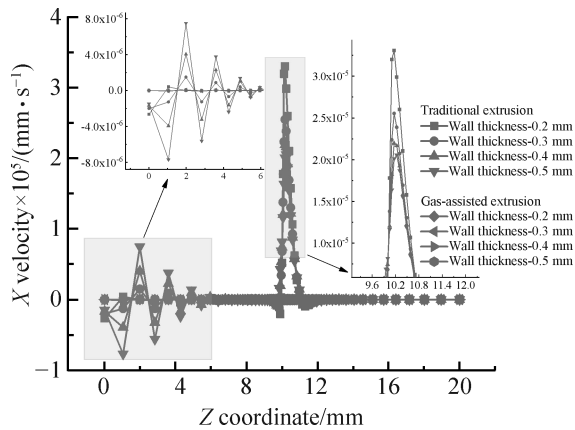


Fig. 6 Radial velocity distribution on the interlayer interface along Z-axis direction

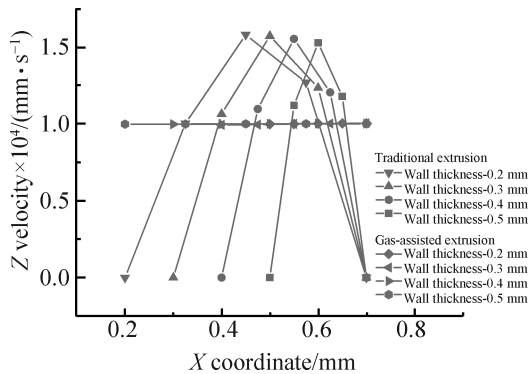


Fig. 7 Axial velocity distribution at the melts convergence point along X-axis direction

由 Fig.7 可知,传统共挤成型时,口模壁面与芯棒表面的熔体 Z 方向速度最小,接近零值,层间界面处 Z 方向速度最大,呈梯度分布,主要原因是熔体具有较高的黏性,熔体流动需克服与口模壁面和芯棒表面间较大的摩擦力,层间界面处所受影响较小,故流动速度较大。复合微管熔体 Z 方向的速度重排将使挤出物发生扭转变形。气辅共挤成型时,由于气体在流道内形成了稳定的气垫膜层,隔绝了熔体与

口模壁面和芯棒表面的直接接触,熔体在流道内呈完全滑移流动状态,因而 Z 方向速度所受影响很小,速度保持基本不变,呈柱塞状流动,可有效改善复合微管的扭转变形,确保产品质量稳定。

2.4 压力场分析

因熔体内、外层表面和界面的压力分布类似,本文仅呈现层间界面的压力分布,如 Fig.8 所示。由 Fig.8 可知,传统共挤时,熔体入口处压力最大,之后呈线性降至出口处的零值,随着微管壁厚增大,熔体入口压力值分别为 9.98×10^5 Pa, 4.76×10^5 Pa, 2.80×10^5 Pa 和 1.85×10^5 Pa,压力降低,下降趋势更为平缓,整个挤出过程中消耗的能量减少。壁厚增大压力减小的主要原因是,微管外径保持不变,要使熔体的壁厚增加,需减小微管内径,内径减小,微管内表面面积减小,熔体整体与芯棒表面的接触面积减小,熔体与芯棒表面间的摩擦力随之减小,因此,挤出过程中所需挤出力减小。气辅共挤时,气垫层的润滑作用消除了熔体与口模和芯棒表面接触产生的摩擦力,微管壁厚增减对口模压降无明显影响,始终接近零值。由此可知,传统共挤比气辅共挤消耗的能量更多,即气辅挤出可有效降低复合微管挤出成型的能量消耗,节约制造成本。

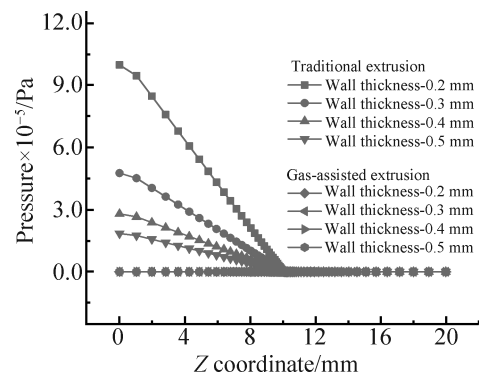


Fig. 8 Pressure distribution on interlayer interface

2.5 剪切速率和第一法向应力差分析

Fig.9 为复合微管外表面、内表面和层间界面的剪切速率分布。由 Fig.9 可知,传统共挤时,口模内 ($Z=0 \sim 10$ mm) 存在较大的剪切速率,且在熔体入口和出口处发生骤变,剪切速率值和骤变程度随着壁厚的增大而减小,这将导致熔体发生挤出胀大变形,但变形程度随着壁厚的增大而减小。气辅共挤时,

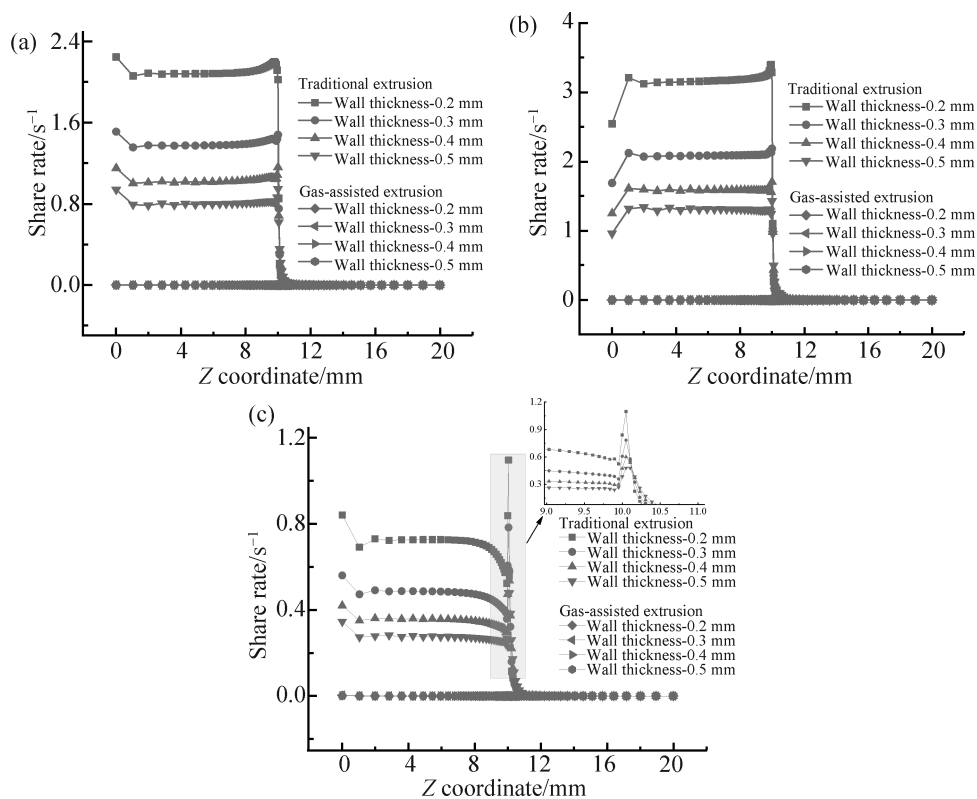


Fig. 9 Distribution of microtubule shear rate: (a) outer surface; (b) inner surface; (c) interlayer interface

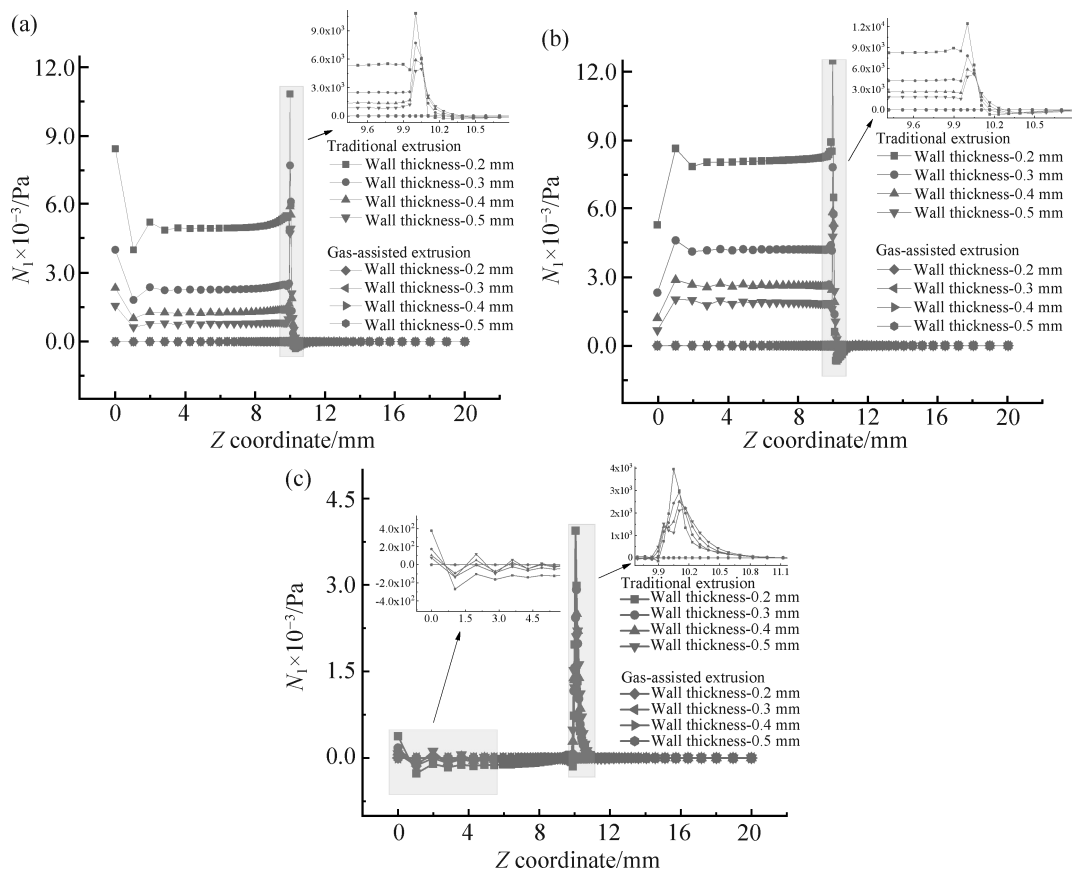


Fig. 10 Distribution of the first normal stress difference in microtubes: (a) outer surface; (b) inner surface; (c) interlayer interface

不同壁厚的熔体剪切速率都非常小,且挤出过程中均稳定的维持这一较小状态。说明气体辅助技术可有效降低剪切速率,并且与复合微管壁厚无关,即可有效提高复合微管挤出形状精度,且不受管壁厚变化的影响。

Fig.10 为复合微管外表面、内表面和层间界面上的第一法向应力差(N_1)分布。由 Fig.10 可知,传统共挤时,口模内存在较大的第一法向应力差,且熔体入口与出口处存在骤变,最大值和骤变程度均随着壁厚的增大而减小。气辅共挤时,熔体的第一法向应力差始终接近零值。气辅共挤能有效消除第一法向应力差,减小第一法向应力差引起的挤出胀大和层间界面分布迁移,且不受微管壁厚变化的影响。

传统共挤时,熔体因受到口模壁面摩擦力与黏性阻力的影响,导致其 Z 方向速度在 X 方向上由熔体内、外壁面位置向层间界面位置逐渐增大,呈现梯度分布(如 Fig.7 所示),因此,熔体在口模内存在剪切应力与第一法向应力差,当 Z 方向速度不变时,随着壁厚增大,黏附力减小,故梯度差随之减小,剪切速率和第一法向应力差均随壁厚增大而减小;气辅共挤时,熔体不与壁面直接接触,在入口处压力趋于 0,熔体所受阻力趋于零值,速度梯度消除,故剪切速率与第一法向应力差均趋于零值。

3 结论

(1)传统共挤时,熔体在挤出过程中呈剪切流动,内部存在剪切应力及第一法向应力差,挤出后出现显著的胀大变形与界面迁移,不同壁厚下均分别达到了 45% 和 0.1 mm 以上,随壁厚增加,内壁面黏附力减小,剪切应力及第一法向应力差也随之减小,故胀大变形与界面迁移量随之减小,说明壁厚增加有利于提升微管挤出的稳定性。

(2)气辅共挤时,气垫层的润滑作用,消除了口模与熔体间黏附力的影响,熔体呈现柱塞状挤出,因此,熔体内部的剪切应力及第一法向应力差趋近于 0,挤出胀大消除,界面迁移减小,且在壁厚增大的情况下仍保持稳定,说明气辅挤出能够提高复合微管挤出的稳定性,提升成型质量。

(3)复合微管共挤成型时,由于内外熔体物性存在差异,导致熔体在汇合处存在界面偏移,微管各层

厚度无法得到保证,气体辅助技术可改善微管层厚均匀性,但无法消除因两熔体物性差异带来的层厚不均匀,该问题值得进一步研究。

参考文献:

- [1] 胡伟康,刘焕宇,何优. 医用 TPU 薄壁微管的挤出工艺参数优化[J]. 塑料工业, 2024, 52(11): 78-84.
Hu W K, Liu H L, He Y. Optimization of extrusion process parameters for medical TPU thin-walled microtubes[J]. China Plastics Industry, 2024, 52(11): 78-84.
- [2] 甄竹云,王煜雯,龙云端,等. 多层共挤复合膜的研究进展[J]. 高分子通报, 2022(10): 33-40.
Zhen Z Y, Wang Y W, Long Y R, et al. The research progress of multi-layer co-extrusion films[J]. Polymer Bulletin, 2022 (10): 33-40.
- [3] Jiang S Y, Yu Y M, Wang S T, et al. Research on gas-assisted extrusion of elastic material round-tube for flexible robot body[J]. ACS Omega, 2024, 9: 25996-26003.
- [4] Liu K, Wang M J, Li H X, et al. Effect of characteristic scale on the extrudate swelling behavior of polypropylene melt in a micro-extrusion process[J]. Polymer Engineering & Science, 2021, 61: 1864-1881.
- [5] 刘磊,王鑫杨,李经纬,等. 3层共挤模具交汇夹角对单层厚度及离模胀大的调控机制[J]. 高分子材料科学与工程, 2023, 39(12): 71-79.
Liu L, Wang X Y, Li J W, et al. Regulation mechanism of intersection angle of three-layer co-extrusion die on single layer thickness and die swell[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2023, 39(12): 71-79.
- [6] 张广冬,王林峰,宋树权. 三层共挤成型界面偏移和挤出胀大的影响因素[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(12): 86-91.
Zhang G D, Wang L F, Song S Q. Influencing factors of interface offset and die swell in three-layer co-extrusion[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(12): 86-91.
- [7] 任重,黄兴元,柳和生. 塑料微管气辅挤出成型实验与机理分析[J]. 材料导报, 2020, 34(20): 20193-20198.
Ren Z, Huang X Y, Liu H S. Experiment and mechanism analysis of gas-assisted extrusion forming for plastic micro-tube[J]. Materials Reports, 2020, 34(20): 20193-20198.
- [8] Ren Z, Huang X Y, Xiong Z H. Experimental and numerical studies for the gas-assisted extrusion forming of polypropylene micro-tube[J]. International Journal of Material Forming, 2020, 13: 235-256.
- [9] Deng X Z, Xiao B, Ren Z, et al. Effects of gas-assisted technology on polymer micro coextrusion[J]. Journal of Polymer Engineering, 2022, 42: 986-994.

- [10] Deng X Z, Ji H B, Liu B, *et al.* Influence of the flow rate on the die swell for polymer micro co-extrusion process[J]. *e-Polymers*, 2025, 25: 20240107.
- [11] Jiang S Y, Liu H S, Huang X Y, *et al.* Numerical and experimental studies on the effect of thickness difference between up and down gas layers on sheet polymer gas-assisted extrusion forming[J]. *Polymer Engineering & Science*, 2020, 60: 2470-2486.
- [12] Liu T K, Huang X Y, Ren Z, *et al.* Analysis of superimposed influence of double layer gas flow on gas-assisted extrusion of plastic micro-tube[J]. *International Polymer Processing*, 2020, 35: 158-168.
- [13] Luo C, Huang X Y, Liu T K, *et al.* Research on inner gas inflation improvements in double-layer gas-assisted extrusion of micro-tubes[J]. *Polymers*, 2020, 12: 899-899.
- [14] Ren Z, Deng X Z, Ji H B. Influences and failure analysis of the interaction between melt and gas on the double-layer gas-assisted extrusion forming of polymer micro-catheters[J]. *Polymers*, 2025, 17: 504.
- [15] 肖兵, 刘彪, 陈天荣, 等. 材料物性参数对双层微管气体辅助共挤出胀大的影响[J]. *中国塑料*, 2024, 38(11): 87-92.
- Xiao B, Liu B, Chen T R, *et al.* Effect of material physical parameters on gas-assisted coextrusion swelling for double-layer microtubule[J]. *China Plastics*, 2024, 38(11): 87-92.

Influence of Wall Thickness on the Co-extrusion Swelling and Interface Position of the Double-Layer Composite Microtubes

Qiang Liu^{1,2}, Xiaozhen Deng^{1,2}, Bing Xiao^{1,2}, Haibo Ji^{1,2}, Zhifang Zhu^{1,2}

(1. *Jianxi Provincial Key Laboratory of Precision Drive and Equipment,*

Jiangxi University of Water Resources and Electric Power, Nanchang 330099, China;

2. *School of Mechanical Engineering, Jiangxi University of Water Resources and Electric Power, Nanchang 330099, China)*

ABSTRACT: Composite microtubes are hollow conduits composed of two or more materials, characterized by their small size and multifunctional integration. They have a wide range of applications in medical, fiber optic tubing, intelligent robots, and other fields. The numerical model was established for the coextrusion flow of polymer double-layer composite microtubes and finite element method was applied for stable solution. By analyzing the distribution of physical field quantities such as melt velocity, pressure, and shear rate at different wall thicknesses, the influence and mechanism of wall thickness on extrusion swelling and interface position of composite microtubes were studied. The research results show that in traditional extrusion process, when the wall thickness increases from 0.20 mm to 0.50 mm, the extrusion swelling rate, pressure drop, and shear rate of composite microtubes decrease, but the interlayer interface fluctuation increases. The extrusion swelling rate decreases from 55.3% to 45.9%, and the interface migration increases from 0.01 mm to 0.03 mm. Therefore, increasing the wall thickness has limitations on improving microtube quality. In gas-assisted extrusion process, the composite microtubes with different wall thicknesses exhibit relatively stable performance, with no significant differences. This means that the gas-assisted technology enhances the stability of extrusion process for composite microtubes with different wall thicknesses and improves product quality.

Keywords: double-layer composite microtubes; wall thickness; extrusion swelling; interface; gas-assisted extrusion process