

http://pmse.scu.edu.cn

短玻纤质量分数对短玻纤增强聚丙烯的气体驱动浮芯辅助共注塑管件的影响

詹锦如¹, 匡唐清², 柳和生², 杨帆³

(1. 华东交通大学 材料科学与工程学院, 江西 南昌 330013; 2. 华东交通大学 机电与车辆工程学院, 江西 南昌 330013;

3. 华东交通大学 基础实验与工程实践中心, 江西 南昌 330013)

摘要:通过实验探究了短玻纤(SGF)质量分数对气体驱动浮芯辅助共注塑工艺(Gas-powered projectile-assisted co-injection molding, G-PACIM)成型管件的玻纤取向、残余壁厚及耐压性能的影响。结果表明,玻纤在外层近界面层和中间层取向较好,外层近模壁层取向最差,随着玻纤质量分数增加,同一位置的玻纤取向逐渐变差;外层材料为10%,20%和30%SGF/聚丙烯(PP)的G-PACIM管件壁厚沿穿透方向变化规律一致,总壁厚与内层壁厚沿穿透方向减小,外层壁厚增大,40%SGF/PP的G-PACIM管件总壁厚沿穿透方向无明显变化趋势,内层壁厚减小,外层壁厚增大;随玻纤质量分数的增加,管件的总壁厚和外层壁厚呈先增大后减小再增大的趋势,内层壁厚呈减小的趋势。管件的耐压性能随玻纤质量分数增加呈持续增大的趋势,但增幅有所不同。

关键词:气体驱动浮芯辅助注塑成型;短玻纤增强聚丙烯;玻纤质量分数;玻纤取向;壁厚;耐压性

中图分类号:TQ327.1

文献标识码:A

文章编号:1000-7555(2026)01-0050-09

随着现代工业对高性能、高效率制造技术的需求日益增长,注塑成型技术在塑料制品生产中的地位愈发重要。20世纪70年代至21世纪初,流体辅助成型技术(Fluid-assisted injection molding, FAIM)得到迅速发展,由最初的共注塑成型技术(Co-injection-molding, CIM)发展到气体辅助注塑成型技术(Gas-assisted injection molding, GAIM)^[1],及水辅助注塑成型技术(Water-Assisted Injection Molding, WAIM)。CIM具有其他成型工艺无法比拟的优势,可用于生产耐磨、耐热、耐腐蚀、高强度的多功能制品,同时降低成本。GAIM能够有效减少残余应力和翘曲,但成型大直径管件时易出现壁厚不均、内表面不光滑及气泡问题^[2]。

流体驱动浮芯辅助注塑(Fluid-powered projectile-assisted injection molding, F-PAIM)工艺相

较于FAIM工艺可使制品壁厚可控性增强,壁厚更薄且均匀^[3,4],该工艺最早是在一项专利中提出的^[5],直到2006年,宝马公司才成功将此技术应用于其3系列车型的冷却管道^[6]。现阶段主要有德国亚琛大学塑料加工研究所^[7,8]、周华课题组^[9]及笔者课题组从事该技术的相关研究^[10]。根据流体介质的不同分为气体驱动浮芯辅助注塑(Gas-powered projectile-assisted injection molding, G-PAIM)^[8]和水驱动浮芯辅助注塑(Water-powered projectile-assisted injection molding, W-PAIM)^[11],G-PAIM具有F-PAIM的优点,同时又具有更好的材料适用性,W-PAIM可成型壁厚均匀、内壁光滑的中空制件,但材料适用性不广^[12-15]。

短玻纤增强聚丙烯(Short glass fiber reinforced polypropylene, SGF/PP)是一种通过以PP树脂为基

doi: 10.16865/j.cnki.1000-7555.2025.0231

收稿日期: 2024-12-11

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(52273033, 52163006); 江西省自然科学基金重点项目(20232ACB204004); 江西省重点研发计划“揭榜挂帅”项目(20223BBE51012)

通讯联系人: 匡唐清, 主要从事聚合物成型工艺研究, E-mail: tkuang@ecjtu.edu.cn

体,短玻璃纤维为增强材料的复合材料^[16],具有良好的耐磨性、抗蠕变性、抗疲劳性、耐腐蚀性及电绝缘性,且质轻、刚性/比强度高^[17]。但是 SGF/PP 复合材料制品(尤其是薄壁注塑制品)表面经常出现“浮纤”(即 GF 外露现象),严重影响制品的外观质量及其使用性能^[18]。故通过结合 G-PAIM 及 CIM 工艺,使其既具有 CIM 工艺可综合不同材料性能、降低成本、提升制品性能等优点^[19],又具有 G-PAIM 工艺材料适用性强、残余壁厚均匀等优点,提出气体驱动浮芯辅助共注塑工艺(Gas-powered projectile-assisted co-injection molding, G-PACIM)解决“浮纤”问题并提高产品质量。

G-PACIM 工艺能满足高性能、快速制造的要求,可实现复杂高性能塑料件的一次成型,在汽车工业、轨道交通、航空航天、体育运动器材、家电家居等行业有着广泛的应用前景,目前尚未见该工艺的研究报道。本文通过实验探究了短玻纤质量分数对 G-PACIM 工艺成型管件壁厚、耐压性能、玻纤取向的影响,并揭露了其影响机理。

1 实验部分

1.1 主要原料

内层材料:中国石油化工股份有限公司生产的聚丙烯,牌号为 PPH-T03。

外层材料:短玻纤增强聚丙烯(SGF/PP),根据玻纤质量分数分为4种规格:10%玻纤质量分数的

SGF/PP(牌号 GP2100,韩国 LG 化学有限公司)、20%玻纤质量分数的 SGF/PP(牌号 GH42,韩国三星道达尔公司)、30%玻纤质量分数的 SGF/PP(牌号 GH43,韩国三星道达尔公司)及 40%玻纤质量分数的 SGF/PP(牌号 GH44,韩国三星道达尔公司)。

浮芯:外径为 11 mm,内径和直线段长度为 8 mm,如图 1 所示;材料为尼龙 6,牌号 B3GB1020,上海日晶公司。

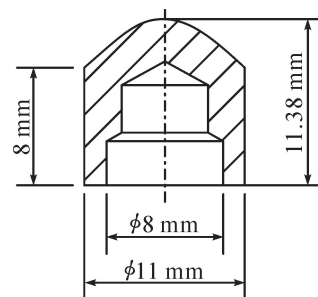


Fig. 1 Schematic diagram of the projectile

1.2 成型实验平台与检测设备

注塑机:MA1600M/380-E80 型;空气压缩机:V-0.6/8 型;模温机:BTM-09W 型;气辅注气设备:GPC-FX-1 型;注气组件:注气模块和喷嘴;扫描电子显微镜:SU8010 型,日本日立公司;耐压机:MTSH-06 型,天津美特斯公司。

1.3 实验方案

选取 G-PACIM 工艺,其工艺过程如图 2 所示。

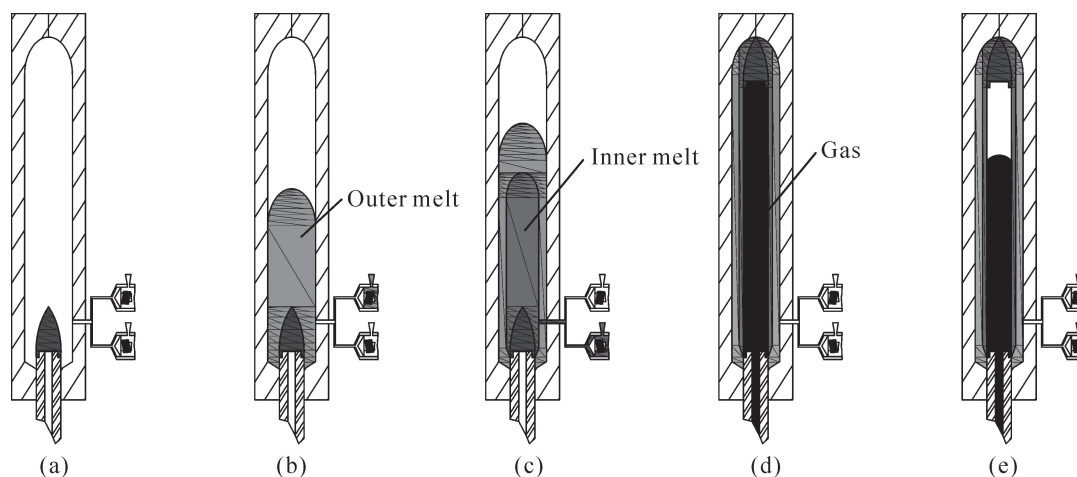


Fig. 2 Schematic diagram of G-PACIM process

(a)合模前,将固体浮芯放置在喷嘴处;(b)合模后,往模具型腔内注入一定量的外层熔体,浮芯被外层熔体包覆;(c)一段延迟后,继续往型腔内注入一定量的内层熔体,内层熔体在外层熔体中穿透,形成包覆结构;(d)高压气体经过流体喷嘴注入型腔,驱动固体浮芯在内层熔体中穿透,完成充填;后续的高压气体对壁面熔体进行冷却与保压;(e)卸压排气,开模取件,完成一个成型周期。

Tab. 1 Process parameters used in the experiments

Processing paraments	Value
Outer melt temperature/ °C	250
Inner melt temperature/ °C	180
Inner melt injection pressure/ MPa	7
Inner melt injection delay time/s	1
Gas injection delay time/s	3.5
Gas injection pressure/MPa	6
Mold temperature/°C	80
Holding time/s	10

基于已搭建 G-PACIM 实验平台,采用 PP 为内层材料,玻纤质量分数为 10%,20%,30% 和 40% 的 SGF/PP 为外层材料,制备系列 G-PACIM 直管,成型方法采用溢流法,工艺参数如 Tab.1 所示。

1.4 测试与表征

1.4.1 管件残余壁厚测量:残余壁厚是指 G-PACIM 工艺过程中气体驱动浮芯推动内层熔体,进而带动外层熔体穿透后形成的中空圆管件内外直径差的 1/2。

为了避免实验偶然性,每组不同玻纤质量分数管件各选取 3 根进行测量。测量方法如 Fig.3 所示,沿管件流动方向,每间隔 50 mm 取 1 个等分点,分别为 P1,P2,P3 和 P4,并沿等分点分别截取 1 个截面,各个截面内沿管件径向方向测量 4 个位置壁厚 A1,A2,A3 和 A4,每个等距截面的壁厚平均值作为该组管件在该位置的壁厚值,每个位置 P1,P2,P3 和 P4 的壁厚平均值作为该根管件的壁厚平均值,为方便区分内外层并进行测量,成型前在内层熔体中加入红色色母。

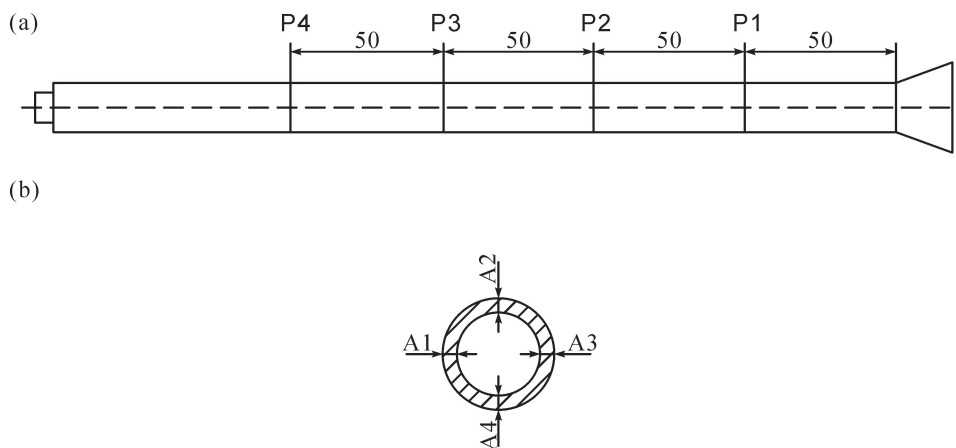


Fig. 3 Wall thickness measurement method: (a) section position; (b) measurement position

1.4.2 扫描电镜试样制备与表征:在管件 P2 位置处截取 5 mm 长的圆环,沿圆环直径方向切 1 个小口,将其放置于装有液氮的器皿中冷却 20 min,取出后沿切口方向脆断,为了方便观测,在拍摄前将圆环放置于高锰酸钾溶液中进行刻蚀,高锰酸钾溶液由高锰酸钠、85% 浓硝酸、98% 浓硫酸及蒸馏水配置,将制件在室温放置刻蚀溶液中 3 h。在此过程中,用玻璃棒搅拌 1~2 min,使样品完全刻蚀。刻蚀后的样品用

蒸馏水清洗 1~2 min,再放入双氧水中浸泡 5~10 min,随后放入丙酮溶液中洗涤 5~10 min,最后取出用蒸馏水冲洗 1~2 min,样品再静置干燥处理^[20]。

在刻蚀样品断面处切出 1 小块,断面朝上并放置在贴有导电胶的载物台上,将载物台放置于喷金仪中进行喷金处理,其制备方法如 Fig.4 所示,样品制作完成后放入显微镜中,观测方法如 Fig.5 所示。(扫描电压为 10.0 kV)

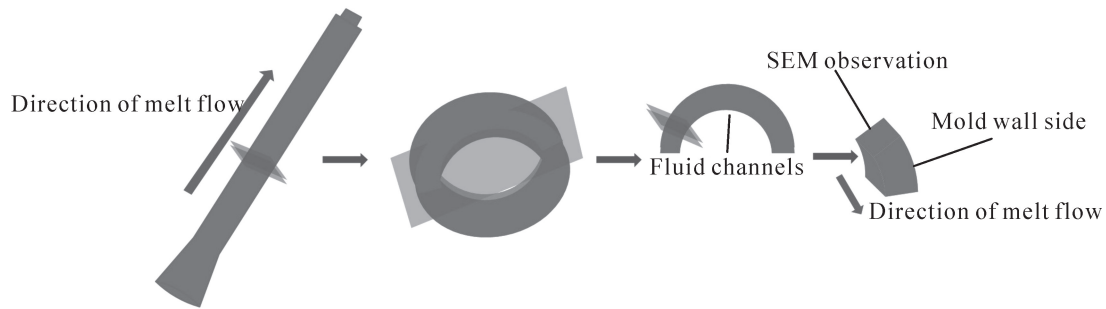


Fig. 4 Preparation of SEM sample

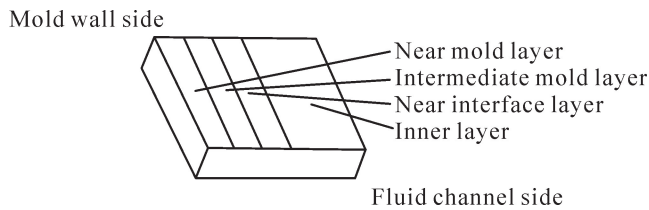


Fig. 5 SEM observation sample

1.4.3 耐压性能测试:在每组 G-PACIM 管件中分别选取 3 根用于耐压性能测试,沿流动方向在每根管件相同位置截取 150 mm 作为实验样品,将样品放入 20 °C 水箱中,静置 65 min,待样品温度到达 20 °C 时,将样品取出,样品一侧先接入密封插头,再向样品中注满水,再将另一侧接入密封插头使管件完全密封,最后与注压水管连接并放入水箱中,启动机器向管件内部加压,待管件破裂时,记录数据。

2 结果与讨论

2.1 玻纤质量分数对 G-PACIM 管件玻纤取向的影响

Fig.6 为 10% SGF/PP 的 G-PACIM 管件外层壁厚层 SEM,外层分为外层近模壁层、外层中间层及外

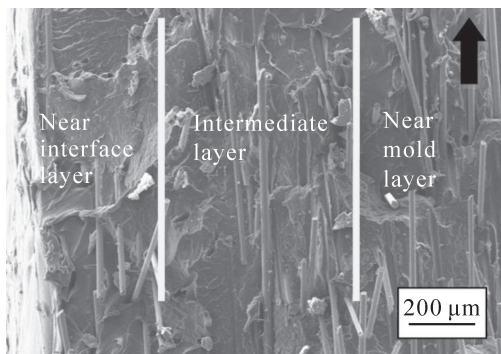


Fig. 6 SEM image of G-PACIM sample with outer layer of 10% SGF/PP

层近界面层。由图可见,外层近界面层及外层中间层的玻纤数量较多,而近模壁层玻纤数量较少。整个壁厚层中,大部分玻纤取向与流动方向一致(图中箭头为熔体流动方向),少部分玻纤取向与流动方向呈锐角分布,随着从近界面层到近模壁层的位置变化,玻纤取向与流动方向的角度逐渐增大,即取向逐渐变差。

Fig.7 为 20% SGF/PP 的 G-PACIM 管件外层壁厚层 SEM。从图中可以看出,玻纤在外层壁厚层中分布不均匀,相较于 10% 的 SGF/PP 样品,玻纤数量有所提升,近界面层玻纤数量最多。从图中可以看出,近界面层玻纤取向最好,玻纤大多数沿流动方向高度取向,中间层玻纤大部分沿流动方向取向,少部分与流动方向呈锐角分布且角度很大,近模壁层少数玻纤与流动方向呈锐角分布。

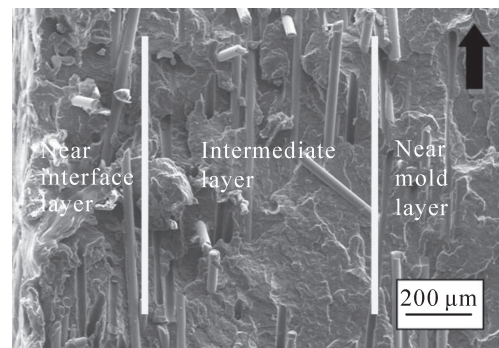


Fig. 7 SEM image of G-PACIM sample with outer layer of 20% SGF/PP

Fig.8 为 30% SGF/PP 的 G-PACIM 管件外层壁厚层 SEM。由图可见,整个壁厚层玻纤数量增多,玻纤主要分布在外层近界面层,玻纤数量分布由近界面层到近模壁层逐渐减少。由图可见,近界面层玻纤取向最好,玻纤绝大部分沿着流动方向分布,近模

壁层玻纤部分与流动方向呈锐角分布,部分与流动方向呈垂直分布。

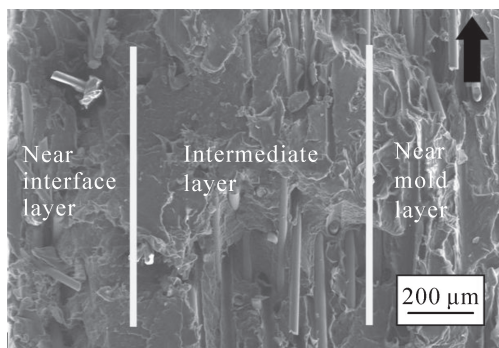


Fig. 8 SEM image of G-PACIM sample with outer layer of 30% SGF/PP

Fig.9 为 40% SGF/PP 的 G-PACIM 管件外层壁厚 SEM。由图可以看出,40%SGF/PP 样品整个壁厚层玻纤数量相较于 10%~30% 的样品明显增多,且近界面层玻纤数量最多,由近界面层至近模壁层玻纤数量逐渐减少。由图可以看出,近模壁层玻纤沿流动方向高度取向,中间层玻纤与流动方向呈锐角分布,近界面层玻纤大部分与流动方向呈垂直分布。

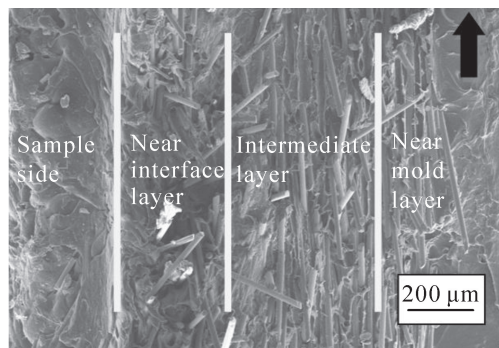


Fig. 9 SEM image of G-PACIM sample with outer layer of 40% SGF/PP

综上所述,G-PACIM 工艺管件中外层壁厚玻纤取向可分为 3 层,分别为外层近模壁层,外层中间层及外层近界面层。外层近界面层玻纤数量最多,外层近模壁层玻纤数量最少。在玻纤质量分数相同时,外层近界面层及中间层玻纤取向较好,外层近模壁层玻纤取向较差,随着玻纤质量分数增加,同一位置的玻纤取向逐渐变差。

外层熔体注射时以喷泉流形式注入,近模壁层熔体先接触模壁,模壁的冷却作用使熔体温度降低,熔体黏度增大,接近模壁的熔体先形成凝固层,部分

玻纤因凝固层定型无法获得更好地取向。中间层熔体受到模壁冷却作用较弱,仅与近模壁层熔体进行了部分热交换,此时熔体黏度较低,玻纤运动性好,在穿透过程中玻纤易于获得较好地取向。外层近界面层熔体不仅未受到模壁的冷却作用,而且在内层熔体穿透外层熔体与外层熔体进行了热交换,导致外层近界面层熔体相对于中间层温度更高,黏度更低,近界面层熔体与浮芯及内层熔体更加接近,受到更强的剪切作用,因而获得更好地玻纤取向。所以近界面层玻纤取向最好,近模壁层玻纤取向最差。

玻纤在熔融状态的基体材料中相互接触和交错,形成机械嵌合,纤维之间的物理接触和嵌入会限制其相对运动。机械嵌合使玻纤在受到气体流动和浮芯运动引导时,难以自由移动和重新排列,导致取向不均匀,尤其在高浓度玻纤区域,这种影响更加明显。在注塑过程中,玻纤可能由于流动条件、浓度差异等原因聚集成团或束。这种现象在高纤维含量区域更为常见,纤维聚集形成局部高纤维浓度区,导致应力集中,阻碍纤维的均匀取向,同时,聚集的纤维团块会影响树脂的流动,进一步干扰纤维的取向。

当玻纤质量分数低时,玻纤数量少,密度低,玻纤的聚集及机械嵌合少,随着玻纤数量增加,玻纤之间的干扰作用增加,不利于获得更好取向。且在浮芯的穿透过程中,玻纤受剪切作用的影响,玻纤断裂严重,玻纤数量增加也使玻纤断裂增多,其断裂的玻纤分布在熔体中阻碍玻纤运动,使其无法获得更好地取向。因此,随着玻纤质量分数增加,其取向度降低。

2.2 玻纤质量分数对 G-PACIM 管件壁厚的影响

外层材料玻纤质量分数分别为 10%,20%,30% 和 40%SGF/PP 的 G-PACIM 管件沿穿透方向在 P1, P2,P3 和 P4 位置的残余壁厚结果如 Fig.10 所示,由图可以看出,G-PACIM 管件的外层壁厚沿穿透方向逐渐增大,内层壁厚沿穿透方向逐渐减小,出现该现象的原因是随着穿透进行,末端熔体堆积量逐渐减少,穿透阻力下降,而气体给予浮芯的穿透压力不变,导致内层壁厚减小,但又因为模壁的强冷却作用,与其接触的外层熔体黏度迅速下降,导致外层壁厚沿穿透方向有增大的趋势。玻纤质量分数为 10%,20% 和 30% SGF/PP 的 G-PACIM 管件的总壁

厚沿穿透方向逐渐减小趋势逐渐减小, 40% G-PACIM 管件的总壁厚沿穿透方向变化不大。是因为玻纤质量分数由 10% 增大到 30%, 玻纤在熔体内分布仍较均匀, 浮芯穿透阻力较小, 总壁厚沿着穿透

方向减小; 但玻纤质量分数增大, 浮芯穿透阻力增大, 因此, 壁厚减小趋势逐渐减小, 当玻纤质量分数增大到 40%, 减小趋势趋于 0, 甚至 P1, P2 段壁厚有所增大。

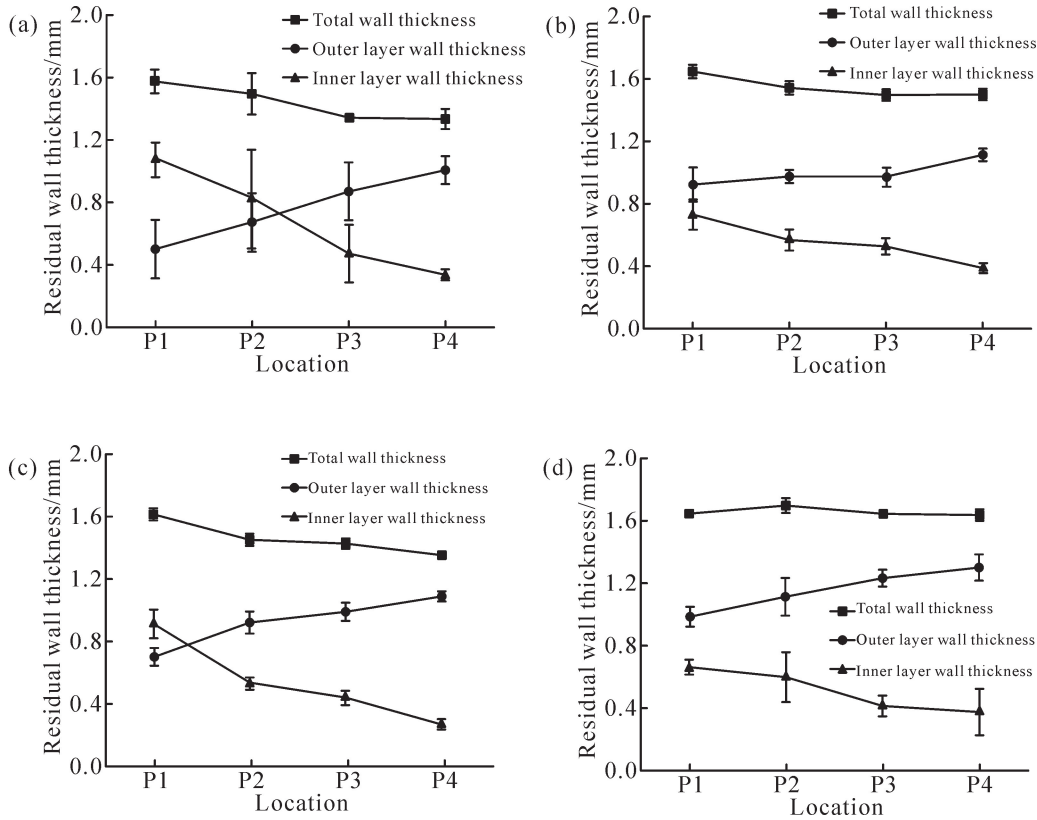


Fig. 10 Residual wall thickness of G-PACIM pipes with different mass fraction of glass fiber along the penetration direction: (a) 10% SGF/PP; (b) 20% SGF/PP; (c) 30% SGF/PP; (d) 40% SGF/PP

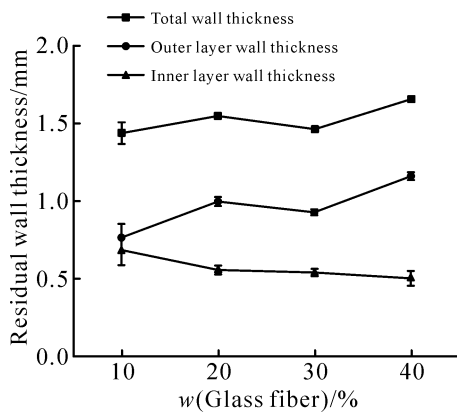


Fig. 11 Wall thickness of pipe fittings with different mass fraction of glass fiber

Fig.11 为 4 种不同玻纤质量分数管件的整体残余壁厚, 随着玻纤质量分数增加, 总壁厚与外层壁厚都呈现先增大后减小再增大的趋势, 而内层壁厚呈缓慢减小的趋势, 变化幅度为 0.1 mm。

分析其原因, 一方面玻纤质量分数增加, 熔体黏度增大, 穿透过程阻力增大; 另一方面, 玻纤质量分数增加, 玻纤沿流动方向取向较差, 且在熔体内分布更加密集, 使得沿流动方向同一截面的剪切作用增强。在浮芯穿透过程中, 玻纤之间相互作用, 使得浮芯带动更多的外层熔体向前, 导致残余壁厚减小。在玻纤质量分数由 10% 增大到 20% 时, 熔体黏度增大使得内层熔体穿透外层熔体阻力增大, 此时玻纤之间的相互作用的影响小于熔体黏度增大所带来的影响, 因此, 管件总壁厚和外层壁厚均呈现增大趋

势,内层壁厚呈减小的趋势。玻纤质量分数由 20% 增大到 30% 时,管件沿流动方向取向变差,玻纤在管件中密度增加,内层熔体在穿透外层熔体及浮芯穿透熔体时能带动更多的外层熔体向前,玻纤之间干扰作用的影响大于外层熔体黏度增大对管件残余壁厚的影响,因此,外层壁厚及总壁厚呈减小的趋势,内层壁厚变化不大。当玻纤质量分数为 40% 时,由于玻纤质量分数与玻纤密度增大,玻纤之间干扰程度增大,玻纤断裂严重,导致内层熔体穿透外层熔体阻力增大,且玻纤之间的相互作用无法使得远离内层熔体的外层熔体向前,影响壁厚的主要因素是外层熔体黏度的增加,穿透阻力增加,从而使得外层熔体变厚,总壁厚变大,但内层熔体变化不大。

2.3 玻纤质量分数对 G-PACIM 管件耐压强度的影响

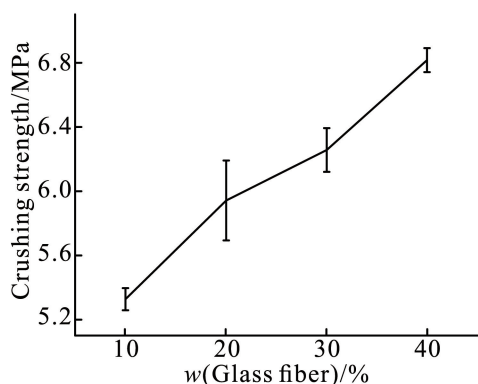


Fig. 12 Effect of short glass fiber mass fraction on pressure resistance of G-PACIM fittings

对短玻纤质量分数分别为 10%、20%、30% 和 40% SGF/PP 的 G-PACIM 管件试样进行耐压实验,通过仪器测量不同短玻纤质量分数样品的耐压强度,如 Fig.12 所示,随着玻纤质量分数增加,管件耐压强度升高,管件耐压性能逐渐升高。分析其原因,当玻纤质量分数由 10% 增加到 20% 时,材料黏度增大,浮芯穿透后形成较大的残余壁厚。壁厚增大提供了更大的承压截面,玻纤质量分数增多,玻纤在 PP 基体中所形成的网状结构能承受更大应力,因而,耐压性能显著提升。当玻纤质量分数由 20% 增加到 30% 时,壁厚减小,玻纤质量分数的增加补偿了壁厚减少带来的负面影响,增强的玻纤网络结构和改进的应力分布使材料的耐压性能继续提高,但是提高趋势减小。当玻纤质量分数由 30% 增加到 40% 时,

壁厚再次增大。此阶段,壁厚的增加和玻纤质量分数的提高共同作用,显著增强了材料的耐压性能。高质量分数玻纤提供了更高的强度和刚性,同时壁厚增加带来了更大的承压截面,使得材料在高压条件下表现出更高的稳定性和抗压能力。

3 结论

通过实验系统探究了玻纤质量分数对短玻纤增强聚丙烯(SGF/PP)气体驱动浮芯辅助注塑成型(G-PACIM)管件的影响,重点考察了玻纤质量分数对残余壁厚、玻纤取向和耐压性能的影响。得出以下结论。

(1) G-PACIM 管件外层近界面层和中间层玻纤取向较好,而外层近模壁层的取向最差,随玻纤质量分数增加,玻纤在同一位置的取向逐渐变差。玻纤质量分数及玻纤位置分布对取向存在明显影响。

(2) 外层材料为 10%、20% 和 30% SGF/PP 的 G-PACIM 管件壁厚沿穿透方向规律一致,总壁厚与内层壁厚沿穿透方向减小,外层壁厚增大,40% SGF/PP 的 G-PACIM 管件总壁厚沿穿透方向无明显变化趋势,内层壁厚减小,外层壁厚增大。随玻纤质量分数增加,管件总残余壁厚和外层壁厚呈现先增大后减小再增大的趋势,内层壁厚随玻纤质量分数的增加一直减小。

(3) G-PACIM 管件的耐压性能随玻纤质量分数的增加呈持续增大的趋势。

参考文献:

- [1] Li L, Peng Y, Wei W. Recent advances on fluid assisted injection molding technique[J]. Recent Patents on Mechanical Engineering, 2014, 7: 82-91.
- [2] Li T, Li J, Desplentere F, *et al.* Effect of gas on the polymer temperature in external gas-assisted injection molding[J]. Journal of Polymer Engineering, 2019, 39: 587-595.
- [3] 匡唐清, 冯强, 徐盼, 等. 流体驱动弹头辅助注塑技术的演变[J]. 中国塑料, 2018, 32(12): 132-137.
Kuang T Q, Feng Q, Xu P, *et al.* Evolution of fluid-projectile-assisted injection molding technology[J]. China Plastics, 2018, 32(12): 132-137.
- [4] Kuang T, Wang J, Liu H, *et al.* Effects of processing method and parameters on the wall thickness of gas-projectile-assisted injection molding pipes[J]. Polymers, 2023, 15: 1985.

- [5] Kuang T, Feng Q, Liu T, *et al.* Numerical simulation on the penetration behavior of the projectile during the water injection stage of water-projectile-assisted injection molding process[J]. *Advances in Polymer Technology*, 2020, 2020: 6861216.
- [6] Plasteurope. Projectile injection technology for improved moulding of hollow articles/high savings possible/SPE award[EB/OL]. (2006-08-18)[2024-12-24]. https://www.plasteurope.com/news/R_CHLING_t206079/.
- [7] Hopmann C, Wiesel C, Drach M, *et al.* Material selection for projectile injection technology in the elastomer injection moulding process[J]. *KGK Kautschuk Gummi Kunststoffe*, 2022, 75: 45-51.
- [8] Hopmann C, Recht U. Manufacturing of fibre-reinforced, elastomeric parts using the injection moulding process[C]// *Society of Plastics Engineering Technical Conference*. Connecticut: Society of Plastics Engineers, 2015: 1728-1732.
- [9] 丁加新, 陈英龙, 周华. 水辅助成型浮动芯注射对制品残余壁厚的影响[J]. *浙江大学学报(工学版)*, 2017, 51(5): 937-945.
Ding J X, Chen Y L, Zhou H. Effect on residual wall thickness of parts with floating core injection of water assisted injection molding[J]. *Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*, 2017, 51(5): 937-945.
- [10] 袁知焕. 气体驱动弹头辅助注塑的残余壁厚与玻纤取向的实验研究[D]. 南昌: 华东交通大学, 2022.
Yuan Z H. Experimental research on residual wall thickness and glass fiber orientation of gas projectile-assisted injection molding process[D]. Nanchang: East China Jiaotong University, 2022.
- [11] 匡唐清, 刘家豪, 朱瑶瑶, 等. 水驱动弹头辅助注塑弹头的穿透行为[J]. *高分子材料科学与工程*, 2024, 40(4): 93-103.
Kuang T Q, Liu J H, Zhu Y Y, *et al.* Projectile penetration behavior of water-projectile-assisted injection molding[J]. *Polymer Materials Science & Engineering*, 2024, 40(4): 93-103.
- [12] Behmenburg C, Hopmann C, Recht U. Manufacturing of elastomeric hollow bodies using the projectile injection technique[C]// *71st Annual Technical Conference of the Society of Plastics Engineers* 2013. Connecticut: Society of Plastics Engineers, 2013: 282-285.
- [13] Kuang T Q, Pan J Y, Feng Q, *et al.* Residual wall thickness of water-powered projectile-assisted injection molding pipes[J]. *Polymer Engineering & Science*, 2019, 59(2): 295-303.
- [14] 张增猛, 周华, 高院安, 等. 水辅助注射成型充模流动的仿真与分析[J]. *机械工程学报*, 2010, 46(8): 140-146.
Zhang Z M, Zhou H, Gao Y A, *et al.* Simulation and analysis on cavity filling process in water-assisted injection molding[J]. *Journal of Mechanical Engineering*, 2010, 46(8): 140-146.
- [15] Zhou H M. Computer modeling for injection molding: simulation, optimization, and control[M]. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2013.
- [16] 黄丽. 聚合物复合材料[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2012.
- [17] 谢正瑞. 玻纤增强聚丙烯材料耐高温冷却老化性能研究[J]. *上海塑料*, 2023, 51(3): 39-43.
Xie Z R. Study on high temperature coolant aging resistance of glass fiber reinforced polypropylene materials[J]. *Shanghai Plastics*, 2023, 51(3): 39-43.
- [18] 刘建萍, 康鹏, 高达利, 等. 玻纤增强聚丙烯复合材料表面“浮纤”的成因及其解决措施[J]. *塑料科技*, 2022, 50(5): 108-112.
Liu J P, Kang P, Gao D L, *et al.* Reasons and solutions of surface ‘floating fiber’ on glass fiber-reinforced polypropylene composites[J]. *Plastics Science and Technology*, 2022, 50(5): 108-112.
- [19] Mroskey J J. Introduction to co-injection molding[C]// *Proceedings of the 1999 Conference ‘Alternatives to Injection Molding*. Dearborn, MI: Society of Manufacturing Engineers, 1999: 1-5.
- [20] 匡唐清, 俸三喆, 朱瑶瑶, 等. 玻纤质量分数对长玻纤增强聚丙烯水驱动弹头辅助注塑管件的影响[J]. *高分子材料科学与工程*, 2024, 40(3): 87-97.
Kuang T Q, Feng S Z, Zhu Y Y, *et al.* Effect of glass fiber mass fraction on the water-projectile assisted injection molding pipes of long glass fiber reinforced polypropylene[J]. *Polymer Materials Science & Engineering*, 2024, 40(3): 87-97.

Effect of Glass Fiber Mass Fraction on Gas-Powered Projectile-Assisted Co-Injection Molded Fittings of Short Glass Fiber Reinforced Polypropylene

Jinru Zhan¹, Tangqing Kuang², Hesheng Liu², Fan Yang³

(1. School of Materials Science and Engineering, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China;

2. School of Electromechanical and Vehicle Engineering, East China Jiaotong University,

Nanchang 330013, China; 3. Center for Basic and Engineering Practice, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

ABSTRACT: The effects of short glass fiber (SGF) mass fraction on glass fiber orientation, residual wall thickness, and pressure resistance of pipe parts formed by gas-powered projectile-assisted co-injection molding (G-PACIM) were investigated through experiments. The results show that the fiber orientation is better in the outer near-interface layer and intermediate layer, while the orientation is the poorest in the outer layer near the mold wall. As the SGF mass fraction increases, the fiber orientation at the same location gradually worsens. For G-PACIM pipe parts with 10%, 20%, and 30% SGF/PP as the outer layer material, the wall thickness shows a consistent trend along the penetration direction, the total wall thickness and inner layer thickness decrease, while the outer layer thickness increases. For pipe parts with 40% SGF/PP as the outer layer, there is no obvious trend in the total wall thickness along the penetration direction; however, the inner layer thickness decreases and the outer layer thickness increases. As the SGF mass fraction increases, the total wall thickness and outer layer wall thickness first increase, then decrease, and finally increase again, whereas the inner layer wall thickness continuously decreases. The pressure resistance of the pipe parts increases continuously with the SGF mass fraction, though the rate of increase varies.

Keywords: gas-powered projectile-assisted co-injection molding; short glass fiber reinforced polypropylene; glass fiber mass fraction; glass fiber orientation; wall thickness; pressure resistance