

玻璃短纤维-热塑性聚氨酯复合材料的性能研究

贺建芸 张立群 程 源
(北京化工大学 100029)

摘要 研究了玻璃短纤维-热塑性聚氨酯复合材料中短纤维用量对应力-应变曲线、拉伸强度和撕裂强度的影响。试验结果表明,随着复合材料中短纤维用量的增大,复合材料的刚性明显提高、应力-应变曲线从典型的粘弹性曲线变为弹性特性曲线、拉伸强度增大(短纤维用量超过 11 份),横向撕裂强度远低于纵向撕裂强度。

关键词 玻璃短纤维,热塑性聚氨酯,复合材料,力学性能

热塑性聚氨酯弹性体具有较高的强度、弹性和扯断伸长率。若加入玻璃短纤维制成复合材料,就可将热塑性聚氨酯的高弹性与玻璃纤维的高刚性有机地结合起来,使复合材料不仅保持一定的弹性,而且显著提高模量,并可使复合材料制品具有高强度、高模量、耐高温、耐撕裂等特性。更重要的是,可采用传统的注射、挤出和压延等方法加工成型。

近几年来,国内外对短纤维-热塑性聚氨酯复合材料进行了许多研究,取得了较大的进展。如Sunil K N K^[1]研究了聚酯短纤维与热塑性聚氨酯复合材料的力学性能;Sunil K N K等^[2]探讨了芳纶短纤维与热塑性聚氨酯复合材料的流变和应力松弛特性;Steinberger R L等^[3]论述了玻璃短纤维与热塑性聚氨酯复合材料的特性。本文重点探讨玻璃短纤维用量和纤维取向对热塑性聚氨酯复合材料力学性能的影响。

1 实验

1.1 原材料

玻璃短纤维,单丝直径为 13.5~14 μm,其名义长度(实切长度)分别为 2 mm(2~2.5 mm),4 mm(4~4.5 mm),6 mm(6~6.5 mm)和 8 mm(8~8.5 mm),短纤维经过有机硅烷偶

联剂预处理,北京长城玻璃纤维厂产品。热塑性聚氨酯,聚酯型聚氨酯,邵尔 A 型硬度为 85~90 度,天津聚氨酯塑料制品厂产品。

- ### 1.2 基本配方
- 基本配方为:热塑性聚氨酯 100;硬脂酸 0.5;玻璃短纤维用量分别为 0,11,25,43 和 67 份。
- ### 1.3 加工工艺及性能测试

在 SK-160B 双辊炼塑机上塑炼、混炼,辊温为 180 ℃。

炼胶顺序为:热塑性聚氨酯塑炼 2 min,然后加入短纤维及硬脂酸,混炼 4~6 min,再将混炼均匀的混炼胶在炼塑机的冷辊上以一定的辊距(辊距为 0.5 mm)和一定的档板宽度一次出片,并叠合成厚度为 2 mm 的胶片,在 180 ℃下模压 6 min,并迅速冷压 3 min,沿压延方向及垂直于压延方向在胶片上冲切试样。

在 Instron 118 型电子拉力材料试验机上,对玻璃短纤维-热塑性聚氨酯复合材料的模量、拉伸强度和撕裂强度进行测试,拉伸速度为 200 mm·min⁻¹。应变采用光电跟踪仪进行测量。

2 结果与讨论

2.1 短纤维的长度分布

复合材料在进行混炼时,短纤维因受强烈的剪切、拉伸和扭曲等作用而断裂,其初始长度下降。

任取 6 g 混炼均匀的胶片,溶解在丙酮溶液中,分离出纤维,用显微镜读取 100 根短纤维

作者简介 贺建芸,女,36岁。副教授。1983年毕业于华中工学院(华中理工大学)机械二系。现北京化工大学在职博士。主要从事高分子材料加工机械的教学、科研及高分子材料加工工艺、粘合剂、修补胶的研究。获 2 项国家实用新型专利。已发表论文 10 余篇。

的长度,绘制纤维长度分布图。短纤维长度分别为 6 和 8 mm 的试样(短纤维用量均为 25 份)纤维长度分布分别见图 1 和 2。从图 1 可以看出,随着短纤维长度的增大,短纤维的分散性和平均长度与初始长度的差值均增大。这是由于短纤维长度越大,在混炼加工中所承受的拉应力和剪切应力也越大,而且纤维断裂后的长度也较大,因此仍会发生进一步的断裂,这些都使短纤维的长度分布在一个较宽的范围内。

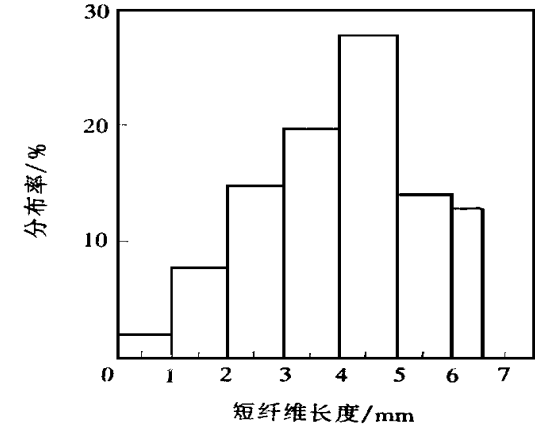


图 1 长度为 6 mm 的试样纤维长度分布图

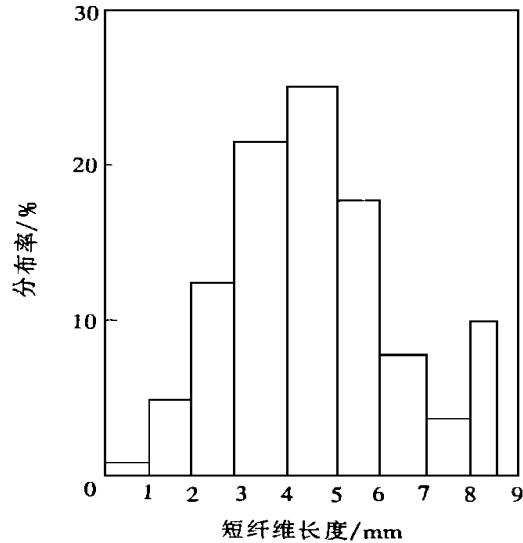


图 2 长度为 8 mm 的试样纤维长度分布图

2.2 复合材料的应力-应变性能

短纤维长度分别为 2 和 8 mm 的试样纵向应力-应变曲线分别见图 3 和 4。从图 3 和 4 可以看出,随着短纤维用量的增大,复合材料断裂应变减小。同一应变下应力迅速上升,复合材料刚性明显增加,应力-应变曲线从典型的粘弹性曲线逐渐变为弹性特性曲线。

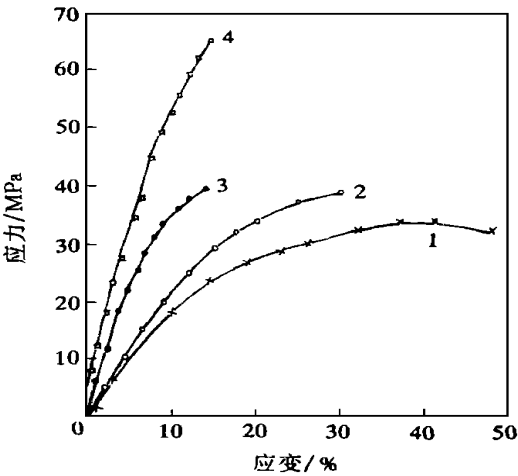


图 3 短纤维长度为 2 mm 的试样应力-应变曲线
1—短纤维用量为 11 份; 2—短纤维用量为 25 份; 3—短纤维用量为 43 份; 4—短纤维用量为 67 份

由于短纤维用量较小时,复合材料体系内发生如纤维脱胶、纤维断裂等局部破坏引起的应力下降不大,而且热塑性聚氨酯基质的强度较高,纤维又有一定的取向分布,因此复合材料体系应力仍能随应变上升,且可能在较长的一段应变区间内发生屈服,直到某一应变产生破坏,这样应力-应变曲线类似于抛物线形。

当短纤维用量较大时,纤维对基质变形的限制较大,要产生较小的应变,就需较大的应力。在一定的应变下,复合材料体系内应力已很大,一旦产生一定量的纤维断裂,纤维脱胶,裂纹迅速扩展,体系应力下降,断裂随之发生,应力-应变曲线接近直线。对图 3 和 4 进行对比可以看出,在应变相同的条件下,纤维长度较大的体系的应力要高于长度较小的体系。这是由于长度较大的短纤维对基质变形的制约较大的缘故。

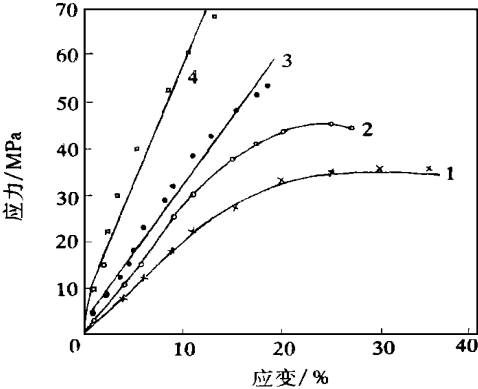


图 4 短纤维长度为 8 mm 的试样应力-应变曲线
注同图 3

2.3 短纤维用量对拉伸强度的影响

短纤维用量对复合材料拉伸强度的影响见图 5 和 6。从图 5 可以看出,当短纤维用量小于 11 份时,复合材料拉伸强度随短纤维用量增大而减小。此后,拉伸强度随短纤维用量增大而迅速增大,当短纤维用量分别为 25 份(长度为 6 和 8 mm 的短纤维)和 43 份(短纤维长度为 2 和 4 mm 的短纤维)时,复合材料的拉伸强度达到并超过未填充短纤维的热塑性聚氨酯。在短纤维用量小于 67 份的范围内,继续加大短纤维用量,拉伸强度继续增大。

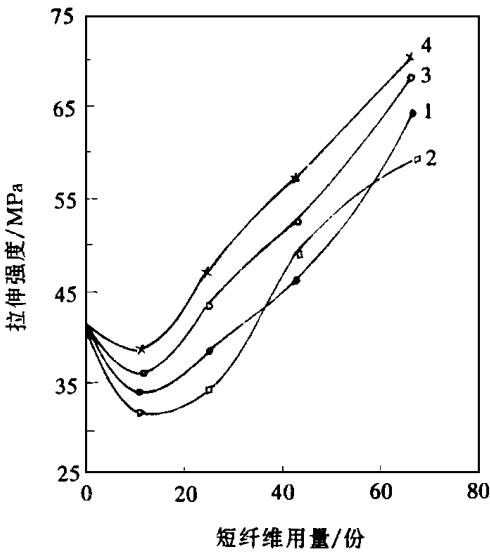


图 5 短纤维用量对试样纵向拉伸强度的影响
1—短纤维长度为 2 mm; 2—短纤维长度为 4 mm; 3—短纤维长度为 6 mm; 4—短纤维长度为 8 mm

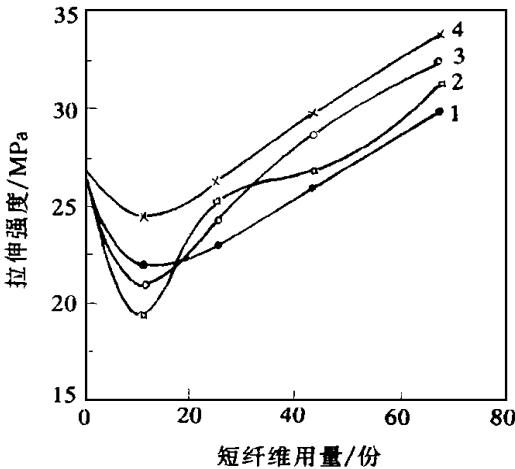


图 6 短纤维用量对试样横向拉伸强度的影响
注同图 5

复合材料中的纤维有两种作用:对基质的稀释作用和补强效应。当短纤维用量较小时,

可以约束基质的纤维数量较少,因而稀释效应显著,降低了拉伸强度。当短纤维用量较大时,由于单位体积内的纤维数目较大,从而有利于由基质到纤维的有效应力传递,因此,纤维的补强效应很突出。

在纵向,纤维基本上与载荷方向平行,纤维能够承担负荷,并且能有效地阻挡裂纹的扩展,拉伸强度显著增大。

而在横向,由于纤维取向方向与载荷方向垂直,纤维对强度的贡献很小,而且裂纹易于通过纤维基质界面而扩展,从而导致拉伸强度较低,见图 6。

短纤维长度为 2 mm、用量为 67 份的试样纵向和横向拉伸断面的扫描电子显微镜 (SEM) 照片见图 7 和 8。

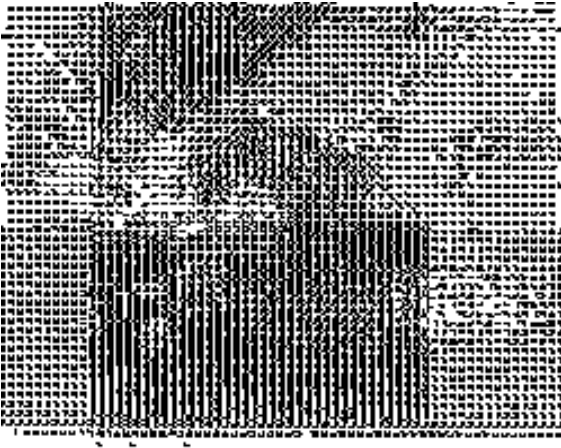


图 7 试样纵向拉伸断面 SEM 照片

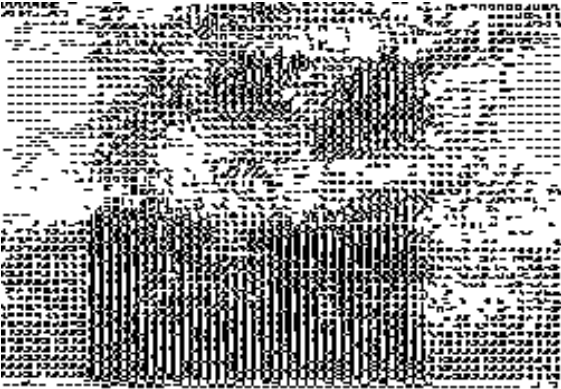


图 8 试样横向拉伸断面 SEM 照片

从图 7 可以看出,纤维受力痕迹明显,由于较大的拉伸应力的作用,有的纤维断裂,断裂面上还残存着一些纤维被拔出的孔洞,表明部分

纤维与基质产生了分离。同时,由于短纤维用量较大(67 份),因此有纤维覆盖、挤压和接触等现象。从图 8 可以看出,纤维沿破坏面取向,纤维留下来的一些沟槽及纤维束部分嵌在基质中,破坏面主要发生在界面,且基质变形较纤维纵向取向时大。基质破坏是韧性破坏,这一点也可从试样横向取向时有较高的扯断伸长率得到证实。

2.4 短纤维用量对撕裂强度的影响

短纤维用量对复合材料撕裂强度的影响分别见图 9 和 10。

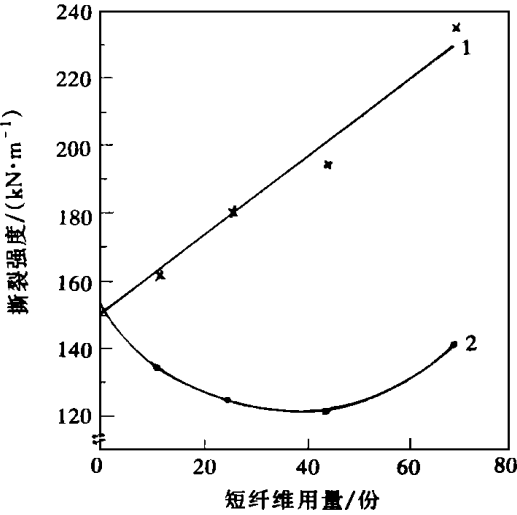


图 9 短纤维用量对 2 mm 的短纤维增强复合材料撕裂强度的影响
1—纵向撕裂强度; 2—横向撕裂强度

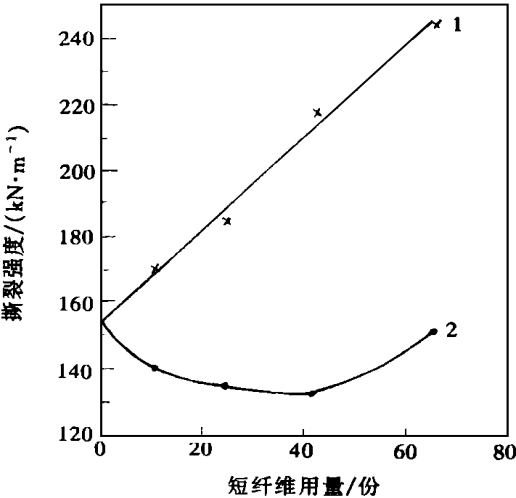


图 10 短纤维用量对 6 mm 的短纤维增强复合材料撕裂强度的影响
注同图 9

从图 9 和 10 可以看出,纵向撕裂强度随短

纤维用量的增大而增大;横向撕裂强度则在短纤维用量低于 43 份时随短纤维用量的增大而减小,之后有所回升;所有横向撕裂强度都远低于相应的纵向撕裂强度。

对于纤维纵向取向的试样,当施加外力时,纤维的存在限制基质的变形,三维应力沿 90°角叠加引发了早期破坏,由于纤维纵向取向,有效地阻挡了裂纹的自由向前扩展,使裂纹扩展发生偏斜和中断,延滞阻碍撕裂,从而提高撕裂强度。

而纤维横向取向的试样,裂纹易于通过纤维与基质的界面而扩展。短纤维用量增大,一方面使纤维与基质的界面增多,可供裂纹扩展的途径增加,从而使裂纹扩展变得容易,故横向撕裂强度降低。另一方面,失取向的纤维对裂纹扩展有一定的阻碍作用,因此当短纤维用量达 67 份时,失取向纤维数量达到一定值,使横向撕裂强度有所回升,但仍低于未填充纤维的热塑性聚氨酯的撕裂强度。

用扫描电镜观察撕裂试样断面情况,发现在纵向撕裂试样 90°裂纹始发区,一些纤维断裂,一些纤维被拔出,另一些纤维产生了歪斜,说明纤维有阻断裂纹的作用,且界面应力较大。而横向撕裂试样却很少有纤维被拔出现象,说明横向撕裂主要是沿纤维与基质的界面破坏。

3 结论

(1)玻璃短纤维-热塑性聚氨酯复合材料在进行混炼时,纤维会断裂,且随着纤维长度的增大,短纤维长度的分散性提高,平均长度与初始长度差值增大。

(2)随着短纤维用量的增大,复合材料刚性明显增加,应力-应变曲线从典型的粘弹性曲线逐渐变为弹性特性曲线。

(3)复合材料的拉伸强度在短纤维用量为 11 份时最低,超过此用量(在 67 份范围内)则随短纤维用量的增大而增大。

(4)复合材料的纵向撕裂强度随短纤维用量的增大而增大,而横向撕裂强度则在短纤维用量低于 43 份时随短纤维用量的增大而减小,之后有所回升,横向撕裂强度远低于纵向撕裂强度。

(5)破坏面的 SEM 研究分析与复合材料性能有很好的相关性。

参考文献

1 Sunil K N K. Mechanical properties of short polyethylene terephthalate fiber-thermoplastic polyurethane composite. International Journal of Polymeric Materials, 1993, 19(1/

2): 63 ~ 74
2 Sunil K N K. Golok B N. Stress relaxation behavior of short Kevlar fiber-reinforced thermoplastic polyurethane. Journal of Applied Polymer Science, 1991, 42: 1 835 ~ 1 844
3 Steinberger R L. Thermoplastic polyurethane reinforced with glass fibers. Kautschuck German Plastics, 1992, 82(12): 1 181 ~ 1 184

收稿日期 1998-07-16

Study on Properties of Glass Short Fibre/ Thermoplastic
PU Composite

He Jianyun, Zhang Liqun and Cheng Yuan
(Beijing University of Chemical Technology 100029)

Abstract The influence of short fibre level in the glass short fibre/thermoplastic PU composite on its stress-strain plot, tensile strength and tear strength was investigated. The results showed that the stiffness of composite increased significantly, the typical viscous-elastic plot changed into elastic one, the tensile strength increased (when the short fibre level was beyond 11 phr), the transversal tear strength was much lower than the longitudinal one as the short fibre level increased.

Keywords glass short fibre, thermoplastic PU, composite, mechanical property