

链状短纤维与热塑性聚合物界面性能研究

逯小龙 张艺 许家瑞

(中山大学化学与化学工程学院材料科学研究所, 聚合物复合材料及功能材料 广州 510275)

关键词: 链状纤维, 单丝拔出, 短纤维增强

短纤维增强复合材料由于其良好的成型加工性, 制品表面比较平滑, 且加工成本低, 在实际生产中得到广泛的应用。但由于短纤维的端部容易引起应力集中, 诱发基体裂纹的产生, 因而与连续纤维增强的复合材料相比, 短纤维增强复合材料的强度和韧性都较低, 在一定程度上限制了其应用。为了改善短纤维复合材料的性能, 人们采用了许多物理或化学的方法对纤维进行表面改性以改善纤维与基体的界面粘结以及纤维末端的应力集中。虽然强的界面粘结有利于应力有效地从基体向纤维传递, 更好地发挥纤维的增强作用, 却往往导致复合材料的韧性降低。而弱的界面结合虽可改善复合材料的韧性, 却降低了材料的强度。近年来受生物复合材料研究的启发, 在材料设计时引入了“仿生设计”(bio-inspired design)^[1]和“纤维形态设计”(fiber morphology design)^[2]的概念, 以期改善纤维与基体的界面作用, 已报道的有哑铃状或骨形纤维^[2], 分形树状纤维^[3]和螺旋形纤维^[4]等。骨形纤维已被证明即是一种弱的界面结合, 又能有效的传递载荷。在本文的研究中, 我们设计了一种链状纤维, 通过机械压力, 形成规则分布的形似链节状的纤维, 每个链节由一节圆柱体和一节椭圆柱体组成, 两种形状依次交替出现。链状纤维与骨形纤维有相似之处, 能锚固在基体中, 可有效的传递载荷, 拔出过程能增加纤维与基体的摩擦; 链状纤维还可以控制链的长短以及链的变化规律, 纤维形状的改变不仅限于端部。同时, 拔出时在基体中留下的孔道呈规律变化。本文采用 PP 与弹性体 POE 的共混物作为基体来研究链状纤维的增强效果及其机理。单丝拔出实验表明, 当纤维的埋入深度相同时, 链状纤维的拔出力比普通平直纤维高得多。图 1(a) 为埋入深度为 10.5mm 的平直纤维单丝的拔出曲线, (b) (c) 和 (d) 分别是埋入深度为 4mm、7mm、10.5mm 的链状纤维的单丝拔出曲线, 基体均为 PP。很有意思的是, 由于链状纤维的形态设计的独特性, 其单丝拔出曲线与骨形纤维的拔出曲线不同(如图 1 所示), 链状纤维的单丝拔出曲线上出现了多个峰值的现象, 峰的数目与纤维的链节数一一对应, 而且每个峰之间的距离与

每个链节的长度基本相同，均为 3.5mm（链状纤维每节的椭圆柱体长度为 2mm，圆柱体长度为 1.5mm）。通过单丝拔出实验，我们详细地研究了纤维埋入深度对拔出效果的影响，纤维形态的改变对拔出过程的影响以及基体韧性的改变对拔出过程的影响。通过计算拔出功，比较了链状纤维与平直纤维在拔出过程中所消耗的能量，表 1 列出了拔出功的计算结果。从所得结果可以看出链状纤维的拔出功比平直纤维明显增高，表明链状纤维由于链节的存在在拔出过程中可以消耗更多的能量，能更有效地发挥纤维的增强作用。最后，本文还分析了链状纤维的拔出过程，初步建立了纤维与基体之间相互作用模型。

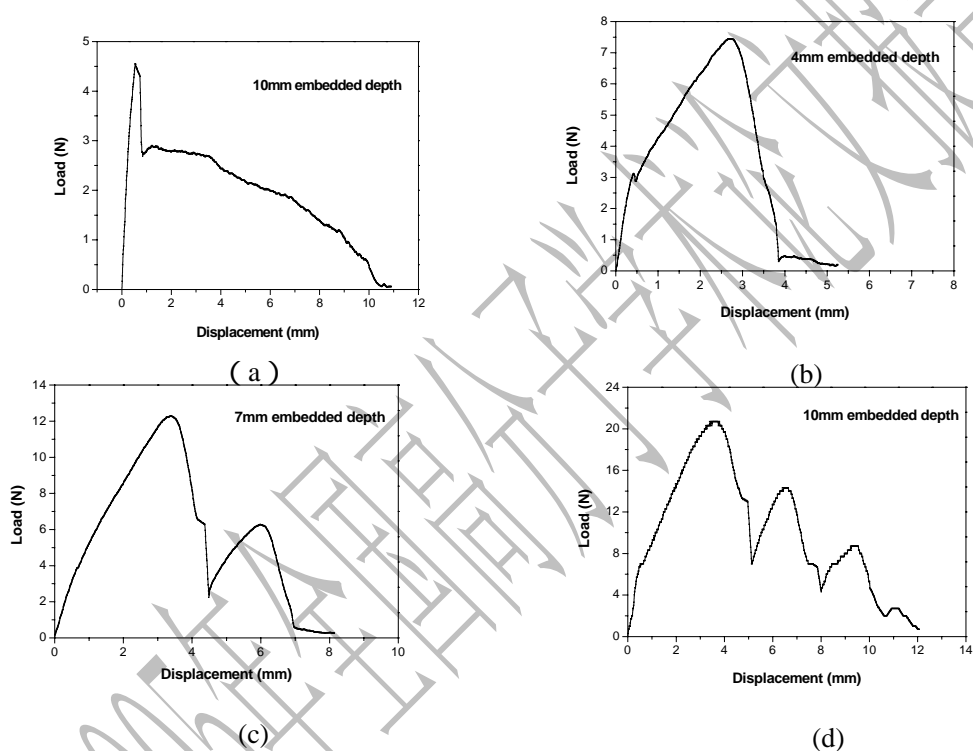


Fig 1 Pull-out load versus displacement curves

Table 2 Energy consumption, W , for the fiber pull-out.

	$W_{4\text{mm}}$ (mJ)		$W_{7\text{mm}}$ (mJ)		$W_{10\text{mm}}$ (mJ)	
	Straight	Chain-shaped	Straight	Chain-shaped	Straight	Chain-shaped
PP	6.21	23.63	10.44	55.12	21.34	124.54
30%POE	5.47	21.97	9.12	52.88	19.73	113.61
50%POE	3.98	18.44	7.33	48.14	16.51	70.98
75%POE	5.76	14.78	8.98	39.27	18.40	40.85

参考文献：

- [1] Zhou B L. Bio-inspired study of structural materials. *Materials Sci Eng C* 2000;11:13
- [2] Zhu Y T, Valdez J A, Beyerlein I J, Zhou S, Liu C, Stout M G, et al. Mechanical properties of bone-shaped-short-fiber reinforced composites. *Acta Materialia* 1999; 47:1767.
- [3] 周本廉 复合材料仿生研究 物理, 1995, 10: 577
- [4] 陈斌 生物复合材料的细观结构和仿生复合材料的研究. 材料导报. 1998, 12 (5): 70

Study on interfacial properties of chain-shaped short fiber reinforced thermoplastic polymer

Lu Xiaolong Zhang Yi Xu Jiarui

(Key Laboratory for Polymeric Composite and Functional Materials of the Ministry of Education, Materials Science Institute, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Keywords: Chain-shaped short fiber Single fiber pull-out test Short fiber reinforced

Abstract:

In this study, chain-shaped short fibers and their polymer composites were produced. The chain-shaped short fibers can anchor in the matrix, leading to a significantly higher stress to pull out than that required for straight fibers. The effects of embedded depth on the pull-out process were studied in detail. Different from that found for bone-shaped fiber, more than one peak appeared in the single fiber pull-out curves of the chain-shaped fiber reinforced samples. The effects of the fiber shape and the matrix stiffness in the pull-out process were also investigated. The pull-out work was calculated to compare with the improvement in the toughness of these composites. To understand the influence of chain-shaped geometry on pull-out process, we illustrate a pull-out model to explain the whole pull-out process of the chain-shaped fibers.