

石墨填充聚四氟乙烯复合材料的拉伸试验研究

靳遵龙¹, 郭月明¹, 李赵^{1,2}, 王定标¹, 王永庆¹

(1. 郑州大学 化工与能源学院, 河南 郑州 450001; 2. 河南省锅炉压力容器安全检测研究院, 河南 郑州 450016)

摘要: 通过对添加石墨的聚四氟乙烯 (PTFE) 复合材料进行拉伸试验, 考察石墨的添加量对改性复合材料拉伸强度的影响. 得到了试样的拉伸强度及其拉伸性能曲线. 试验结果表明, 石墨的添加量对改性 PTFE 的性能影响很大. 当石墨体积分数为 24% 时, 改性 PTFE 复合材料的拉伸强度较纯聚四氟乙烯降低了 48%, 仅为 12.2 MPa; 随着石墨含量的继续增加, 改性 PTFE 复合材料的力学性能持续明显降低.

关键词: 聚四氟乙烯; 石墨; 拉伸试验

中图分类号: TQ327.6 文献标志码: A doi:10.3969/j.issn.1671-6833.201510015

0 引言

随着社会工业生产的不断发展, 人们对石油、化工、航天、制药、轻工等领域中使用的导热材料的综合性能要求越来越高. 单一材质的材料很难满足目前工业发展的特殊要求. 在某些特殊场合, 传统的金属和非金属材料已经无法满足使用要求, 复合材料的开发与研究显得非常必要.

在化工、制药、轻工等生产中使用的热交换器, 需要所用的材料具有良好的力学性能, 同时也要耐高温和耐腐蚀. 高分子材料有很好的耐高温和耐腐蚀性, 并且价格较合金材料有很大的优越性, 但纯高分子材料的热导率都很低, 一般通过添加具有高热导率的填料来改变其性能, 由此可制取价格低廉、加工容易、耐腐蚀性强、力学性能好的复合材料. 因此, 开发适用于这些特殊工况的高性能导热复合材料显得非常重要^[1].

王红凯等^[2]利用催化剂使有机硅的甲氧基与环氧树脂的仲羟基反应生成共聚物, 增加了固化产物的抗高温性和韧性.

Gaier 等^[3]将不同导热性的纤维布置于复合材料的不同方向上, 得到具有导热各向异性的复合材料. Ishida 等^[4]用质量分数为 88% 的氮化硼作为填充物, 来填充联二苯甲胺类聚合物, 最终获得的复合材料的导热系数可达 32.5 W/(m·K). Yamada 等^[5]采用试验研究和有限元分析相结合

的方法研究了碳纤维复合材料的导热性. Adams^[6]分析研究了高导热碳纤维的微观结构, 通过研究发现高导热碳纤维是高度石墨化的, 得到这些材料的导热性与石墨状态相关的结论. Danes^[7]指出, 在一些对传热性能要求高的场合, 可以用导热复合材料来代替单纯的聚合物.

综上所述, 对于石墨改性 PTFE 复合材料的影响, 众人研究的焦点大多集中在其热力学性能的改变上, 而对其力学性能的影响研究甚少. 鉴于此, 笔者对石墨改性 PTFE 复合材料进行拉伸测试, 目的在于研究石墨对改性复合材料拉伸强度的影响, 为改性 PTFE 复合材料力学性能的预测提供基础数据和参考依据.

1 试验方案

1.1 试验试样及仪器

石墨, F-1 型粉剂, $d \leq 4 \mu\text{m}$, 上海胶体化工厂; PTFE, SFX-1 型悬浮颗粒, $d \leq 15 \mu\text{m}$, 四川中昊晨光化工研究院; 扫描电子显微镜, 型号为 JSM-7500F, 日本电子株式会社; 微机控制电子万能试验机, 型号为 WDW-100D, 上海华龙测试仪器有限公司. 此处按国标 GB/T 1040—2006《塑料拉伸性能的测定》^[8] 5.1 中的要求, 选用并制备适用于纤维增强热固性和热塑性塑料的试验的 III 型试样, 其模型如图 1 所示, 尺寸数据见表 1. 具体试样由廊坊中润密封材料有限公司提供所需配比

收稿日期:2015-10-07; 修订日期:2015-11-19
基金项目:国家自然科学基金资助项目(21576245); 中国博士后科学基金资助项目(2014M552011); 河南省高等学校重点科研项目(15A470005)
通信作者:王永庆(1979—), 男, 河南安阳人, 郑州大学讲师, 博士, 主要从事高导热复合材料强化传热及力学性能研究工作, E-mail: wangyq@zzu.edu.cn.
引用本文:靳遵龙, 郭月明, 李赵, 等. 石墨填充聚四氟乙烯复合材料的拉伸试验研究[J]. 郑州大学学报(工学版), 2016, 37(1): 84-86, 91.

的板材,然后经由自己加工成类似于标准模型的试样(试样表面应保证平整、无裂纹、气泡、分层且无加工损伤及明显杂质等缺陷).共有 8 组编号为 01~08 不同配比的待测试样.研究表明,石墨的填充使得 PTFE 的热导率明显提高^[9].为保证试样的导热性、强度、耐腐蚀性等性能在试验要求的范围内,01 至 08 号试样中石墨质量分数分别为 25.5%、23.6%、21.8%、19.9%、18.1%、16.3%、14.4%、12.5% (对应体积分数分别为 28%、26%、24%、22%、20%、18%、16%、14%).

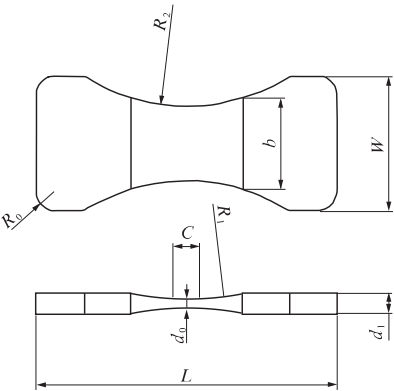


图 1 III 型试样尺寸数据
Fig.1 Measurement of III type sample

表 1 输入变量的重要性排序

Tab.1 The importance ranking of the input variables	
名称	尺寸/mm
总长 L	110
中间平行部分长度 C	9.5
端部宽度 W	45
端部半径 R_0	6.5
表面半径 R_1	75
侧面半径 R_2	75
中间平行部分厚度 d_0	3.2
端部厚度 d_1	6.5
中间平行部分宽度 b	25

1.2 试验步骤

(1) 按 GB/T 2918—1998《塑料试样状态调节和试验的标准环境》^[10]规定的试验环境进行试验并对石墨填充 PTFE 复合材料试样状态进行调节.(2) 试样准备. 在被测石墨填充 PTFE 复合材料试样上划出长度为 l 的标距线;测量石墨填充 PTFE 复合材料试样中间平行部分的厚度及宽度,测量结果精确到 0.01 mm,分别取 3 个不同的点进行试样厚度和宽度的测量,取其算术平均值作为试样计算宽度和厚度.(3) 试验机准备. 先打开拉力试验机,再打开计算机,开机预热 10 min 后进行试验,并按配套软件使用手册运行配套软件.

(4) 夹持试样. 对拉力试验机夹具进行检查,先将试样夹持在上夹具上,进行力清零以消除试样自重后再对另一端用下夹具进行夹持;确保上、下夹具的中心线连线与被测试样的纵轴线重合;以适宜的夹持力度对试样进行夹持,以防被测试样在夹具内断裂或者从夹具脱离.(5) 开始试验. 点击主机小键盘上的试件保护键,消除夹持力并对位移清零;按运行命令按钮,按照软件设定的方案以及 GB/T 1040—2006《塑料拉伸性能的测定》^[8]的规定选用 5 mm/min \pm 20% 的拉伸速度进行试验.(6) 数据记录. 分别记录试样屈服时的载荷和断裂负荷;试样拉断后,取下断裂的两段试样,将其两端对齐、靠紧并用游标卡尺测出试件断裂后的标距长度 l_1 (若被测试样在拉伸过程中,断裂的部分在中间平行部分外时,认定此试样作废,须另取试样重新进行试验).

1.3 试验结果与分析

试件在拉伸过程及断裂前瞬间在万能试验机上的状态见图 2,拉伸过程中,试样的拉伸性能曲线见图 3.



图 2 试样拉伸断裂前瞬间图
Fig.2 The specimen was stretched to fracture

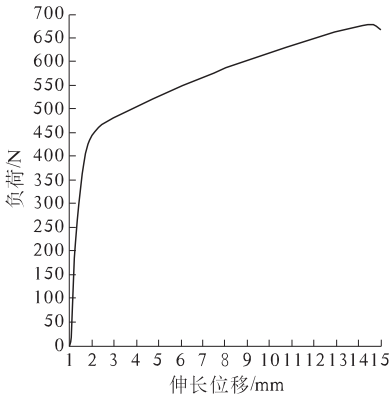


图 3 编号 01 试样拉伸性能曲线
Fig.3 Tensile performance curve of specimen 01

拉伸试验中,被测试样的最大负荷见表 2,试

样拉伸强度见表 3,试样拉伸强度与石墨体积分数的关系见图 4。

表 2 试样最大负荷
Tab.2 The maximum loads of the specimens

试样编号	最大负荷 P/N	试样编号	最大负荷 P/N
01	681	05	951
02	751	06	1 096
03	795	07	1 196
04	845	08	1 290

被测试样的拉伸强度以式(1)进行计算:

$$\sigma_t = \frac{P}{bd}.$$
 (1)

式中: σ_t 为试样拉伸强度,MPa; P 为试样最大负荷,N; b 为试样宽度,mm; d 为试样厚度,mm.

表 3 试样的拉伸强度
Tab.3 Tensile strength of the material

试样编号	拉伸强度 σ_t /MPa	试样编号	拉伸强度 σ_t /MPa
01	10.4	05	14.6
02	11.5	06	16.7
03	12.2	07	18.3
04	12.9	08	19.7

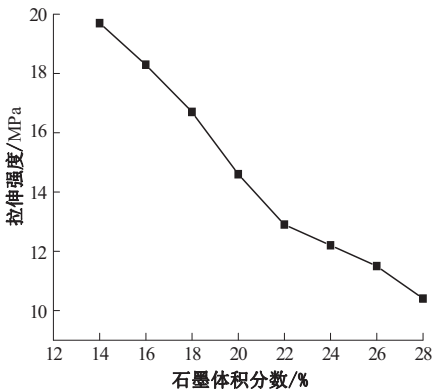


图 4 试样的拉伸强度与石墨体积分数的关系
Fig.4 Relationship of tensile strength and volume fraction of the materials

从表 3 及图 4 可以看到,石墨对改性 PTFE 复合材料力学性能影响很大,随着石墨含量的继续增加,改性复合材料的力学性能会持续明显降低.纯 PTFE 基体材料的拉伸强度约为 23.35 MPa,当石墨体积分数为 24% 时,改性 PTFE 复合材料的拉伸强度较纯 PTFE 降低了 48%,仅为 12.2 MPa.试验得到的石墨改性 PTFE 复合材料的拉伸强度,为该材料更广泛的应用提供了参考。

2 结论

根据塑性材料拉伸试验原理,按 GB/T

1040—2006《塑料拉伸性能的测定》对石墨改性 PTFE 复合材料进行拉伸试验,得到改性后复合材料的拉伸性能曲线及相应石墨添加体积分数下的拉伸强度,从定量上论证了石墨含量与改性 PTFE 复合材料力学性能的关系:在石墨含量仅为 24% 时,改性 PTFE 复合材料拉伸强度降低 48%,仅为 12.2 MPa;随石墨含量增加,改性 PTFE 复合材料力学性能持续明显降低.所得相应石墨含量下改性 PTFE 复合材料的拉伸强度,为改性 PTFE 复合材料力学性能的预测提供了基础数据。

参考文献:

[1] 涂善东,汪祖洪. 对新材料在过程装备中应用的进展[J]. 化工设备与防腐蚀,2002,5(1):6-10.

[2] 王红凯,李华,李明雪,等. 增韧耐温改性环氧树脂的制备及其表征[J]. 郑州大学学报(工学版), 2015, 36(4):28-32.

[3] GAIER J R,YODER V Y,BERKEBILE S,et al. The electrical and thermal conductivity of woven pristine and intercalated graphite fiber - polymer composites [J]. Carbon,2003,41(12): 2187-2193.

[4] ISHIDA H,RIMDUSIT S. Very high thermal conductivity obtained by boron nitride-filled polybenzoxazine [J]. Thermochimica acta,1998(320): 177-186.

[5] YAMADA R,IGAWA N,TAGUCHI T,et al. Highly thermal conductive, sintered SiC fiber-reinforced 3D - SiC/SiC composites: experiments and finite-element analysis of the thermal diffusivity/conductivity[J]. Journal of nuclear materials,2002,307(12): 1215-1220.

[6] ADAMS P M,KATZMAN H A,RELLICK G S,et al. Characterization of high thermal conductivity carbon fibers and a self-reinforced graphite panel[J]. Carbon, 1998, 36(3): 233-245.

[7] DANES F, GARNIER B, DUPUIS T. Predicting, measuring, and tailoring the transverse thermal conductivity of composites from polymer matrix and metal filler [J]. International journal of thermophysics, 2003, 24(3): 771-785.

[8] 中国国家标准化管理委员会. 塑料拉伸性能的测定:CB/T 1040—2006 [S]. 北京:中国标准出版社,2007.

[9] 邓艳文,张小平,杨波. 聚四氟乙烯复合材料填充改性研究进展[J]. 有机硅氟资讯,2005(6):11-13.

[10] 国家质量技术监督局. 塑料试样状态调节和试验的标准环境:CB/T 2918—1998[S]. 北京:中国标准出版社,1998.