

碳纤维/NBR 复合材料断裂机理的研究

杨雪梅

(燕山大学 材料科学与化学工程学院, 河北 秦皇岛 066004)

摘要: 对碳纤维/NBR 复合材料的断裂机理进行了研究。结果表明, 碳纤维/NBR 复合材料的断裂破坏形式主要为纤维拔出; 碳纤维与 NBR 间界面结合状态、碳纤维在 NBR 中的分布状况及用量均影响复合材料的拉伸强度。

关键词: NBR; 碳纤维; 复合材料; 断裂机理

中图分类号: T Q333. 7; T Q342⁺. 742 文献标识码: B 文章编号: 1000-890X(2001)06-0334-03

从理论上讲, 橡胶具有极佳的弹性, 且自身强度较低, 而碳纤维具有较高的比模量和比强度, 两者复合能使橡胶的强度得到提高。但在实践中, 由于需通过增大碳纤维的用量改善碳纤维/橡胶复合材料的耐油、耐热和耐磨等性能, 而复合材料的拉伸强度却往往随着碳纤维用量的增大而减小^[1], 因此影响其使用范围。

本工作对碳纤维/NBR 复合材料的断裂机理进行了分析, 旨在考察复合材料拉伸强度随碳纤维用量增大而减小的原因。

1 实验

1.1 主要原材料

高强度、中模量碳纤维, 直径为 7.05 μm , 断裂强度为 3.56 GPa, 模量为 231.4 GPa, 断裂伸长率为 1.62%, 吉林炭素厂产品。NBR, 牌号为 NBR-26, 中国石油兰州化学工业公司产品。

1.2 基本配方

基本配方为: NBR 100; 硫化剂 DCP 1.2; 促进剂 1.1; 氧化锌 8.0; 防老剂 2.0; 硬脂酸 1.0; 炭黑 90; 低温增强剂 10; 硫黄 1.2; 碳纤维 变量。

1.3 复合材料的制备

采用浓硝酸对碳纤维表面进行氧化处理, 将 NBR、碳粉、硫化剂、促进剂、防老剂和填料等混炼, 再将胶料用汽油溶解, 加入短切碳纤维并混合均匀, 最后进行干燥、压延和硫化, 冲片制成符合国家标准的试样待用。

硫化条件为 $(145 \pm 5)^\circ\text{C}/3\text{ MPa} \times 20\text{ min}$ 。用 XL-50A 型拉力实验机测定拉伸强度。用 KYKY-1000B 型扫描电子显微镜 (SEM) 观察断口形态。

2 结果与讨论

2.1 碳纤维/NBR 复合材料断裂形态

碳纤维/NBR 复合材料断裂面 SEM 照片及碳纤维在复合材料中的分布状况分别示于图 1 和 2。

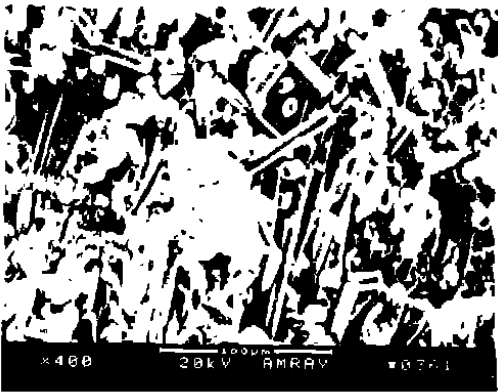


图 1 碳纤维/NBR 复合材料断裂面 SEM 照片

基金项目: 原机械工业部发展基金资助项目 (95JA0607)
作者简介: 杨雪梅 (1964-) 女, 河北丰润县人, 燕山大学材料科学与化学工程学院工程师, 学士, 主要从事无机材料和复合材料方面的研究工作。



图 2 碳纤维在复合材料中的分布状况

从图 1 可以看出, 碳纤维/NBR 复合材料断裂表面有大量纤维被拔出, 纤维断面平齐, 几乎没有纤维断裂的迹象, 同时纤维表面粘附极少量的基体材料, 因此碳纤维/NBR 复合材料在断裂过程中的主要破坏形式为纤维拔出。

从图 2 可以看出, 碳纤维在复合材料中的分布是随机的, 不同取向增强碳纤维的承载能力和局部破坏机制有很大差别。当纤维与轴向应力方向相同时(纵向纤维), 纤维将受到基体产生的剪切应力和由该剪应力引起的纤维轴向的拉伸应力(在基体中的受力分析见图 3)。

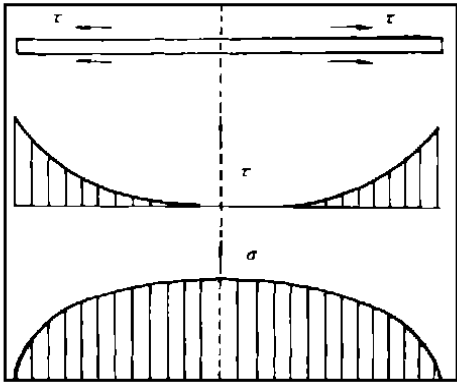


图 3 纵向碳纤维在基体中的受力分析

当纤维与应力方向垂直时(横向纤维), 纤维不但起不到增强作用, 而且可以近似看作是存在于基体中的孔洞。在应力作用下, 由横向纤维引起的孔洞必然导致应力集中, 虽然基体能产生一定的塑性变形而消除一部分, 但如果孔洞过多, 则使复合材料产生薄弱环节。

在试样受力过程中, 复合材料中纤维有 3 种简单的破坏模式, 分别为横向拉伸断裂、纵向

拉伸断裂和层内剪切断裂, 其独立的破坏条件为^[2]:

纵向拉伸断裂: $\sigma = \sigma_0 \cos^2 \theta$;

横向拉伸断裂: $\sigma = \sigma_0 \sin^2 \theta$;

层内剪切断裂: $\tau = - \sigma_0 \sin \theta \cos \theta$ 。

其中: σ_0 为外加应力, θ 为纤维与应力的夹角, σ 为应力。

复合材料的破坏形式取决于这 3 种断裂强度的相对大小, 即不同取向纤维的破坏应力不同, 强度最小的最先破坏。与应力方向垂直的纤维将首先发生界面破坏, 产生的裂纹在载荷的作用下扩展, 当扩展到其它纤维时, 方向发生转移, 开始沿着基体与纤维的界面扩展直到纤维的末端, 从而导致纤维与基体部分分离, 而且基体裂纹很快扩展到下一根纤维, 直到材料断裂。而纵向排列的纤维将不可能断裂, 由于纤维末端应力集中, 在达到临界应力之前就发生了纤维的拔出, 因此碳纤维/NBR 复合材料的破坏形式为界面破坏所控制, 表现为断口处大量纤维拔出。

纤维与基体复合过程的本质就是纤维表面形成完整传递应力的界面, 将载荷由基体通过界面传递到增强体, 因此要求基体有一定的粘合强度。另外, 在外力作用下, 纤维与基体发生摩擦并增大表面能, 使复合材料以拔出功和摩擦功等形式吸收外载能量, 从而提高材料的抗破坏能力^[3, 4]。

由于碳纤维的表面光滑且惰性较大, 与 NBR 的相容性较差, 不能很好地与 NBR 粘合, 因此碳纤维/NBR 复合材料在断裂时, 断口处大量纤维被拔出, 同时, 纤维表面的粘附物很少。

2.2 碳纤维用量对复合材料拉伸强度的影响
碳纤维用量对复合材料拉伸强度的影响如下:

碳纤维的体积分数	拉伸强度/MPa
0	18
0.2	9.0
0.4	8.0

一般认为, 碳纤维/NBR 复合材料在断裂过程中, 主要的吸收能量机制是脱胶, 因此在纤

维混合均匀的条件下,纤维用量越大,则断裂过程中纤维破坏所吸收的能量就越高,而且基体中的裂纹越不容易扩展,复合材料的强度越大。

但实际试验结果表明,碳纤维/NBR 复合材料的拉伸强度却随碳纤维用量的增大而减小。这是由于碳纤维在橡胶中的分布很不均匀,大量纤维不但不能有效地起到增强作用,纤维聚集区反而成为新的薄弱环节,碳纤维用量越大,混炼越困难,纤维聚集区域越多,相对于横向纤维更容易破坏。

3 结论

(1)碳纤维/NBR 复合材料的断裂破坏形式主要为纤维拔出。

(2)改善碳纤维与 NBR 的界面粘合状况,可以提高复合材料的拉伸强度。

(3)当纤维体积分数较高时,碳纤维与橡胶的混合均匀程度对其复合材料拉伸强度有很大影响。

参考文献:

- [1] 赵渠森. 复合材料[M]. 北京:国防工业出版社, 1979. 1-50.
- [2] Koubel W. Properties of C/C composites produced in one low cost manufacturing step[J]. Carbon, 1996, 33(4): 819-821.
- [3] Shengen Q. The internal friction of unidirectional C/C composites fabricated in a magnetic field[J]. Carbon, 1997, 35(3): 372-389.
- [4] 关振铎. 无机材料物理性能[M]. 北京:清华大学出版社, 1992. 31-38.

收稿日期: 2001-01-16

4 项胶带标准通过审定

中图分类号: TQ336.2 文献标识码: D

根据国家石油和化学工业局 2000 年化工产品国家标准和行业标准制、修订计划,最近又有 4 项胶带标准通过审定。

(1)《一般用窄 V 带》国家标准。由上海胶带股份有限公司和浙江省三门县第一同步带厂负责起草。该标准系修订 GB/T 12730—91 同名标准。修订后的标准等效采用《窄 V 带》日本工业标准(JIS K 6368—1999)。修订标准比原标准增加了动态疲劳寿命试验。本标准一等品达到国际水平。

(2)《输送带标志》国家标准。由浙江桐乡市双箭集团有限责任公司负责起草。该标准系修订 GB 5752—92 同名标准。修订后的标准等效采用《输送带标志》国际标准(ISO 433: 1991)。修订后的标准达到国际先进水平。

(3)《洗衣机 V 带》化工行业标准。由河北环宇橡胶厂和青岛橡胶工业研究所负责起草。该标准系修订 HG/T 2442—93 同名标准。修订标准比原标准增加了动态疲劳寿命试验。修订后标准的合格品为国内先进水平,优等品非等效于日本松下公司 B-1《V 带》产品标准。本标准达到国际先进水平。

(4)《具有橡胶或塑料覆盖层的普通用途织物芯输送带》国家标准。由青岛胶带(集团)有

限公司负责起草。该标准系修订 GB/T 7984—87《普通用途织物芯输送带》国家标准。该标准等效采用《具有橡胶或塑料覆盖层的普通用途织物芯输送带》国际标准(ISO/F DIS14890: 1999)。修订后的标准达到国际先进水平。

(本刊讯)

“国际橡塑展 2001”将在广州举行

中图分类号: TQ330 文献标识码: D

由中国对外贸易中心(集团)及雅式展览服务有限公司主办的第 15 届中国国际塑料橡胶工业展(简称“国际橡塑展 2001”)将于 2001 年 6 月 26~29 日在广州中国出口商品交易会展馆隆重举行。“国际橡塑展 2001”是欧洲塑料和橡胶工业机械制商协会(EUROMAP)在中国唯一赞助的同类型展会。

据悉,展会已获得超过 350 名来自 23 个国家及地区的知名展商的落实参与,奥地利、德国、意大利、韩国、英国及美国将组织阵容庞大的展团参加。“国际橡塑展 2001”将设六大专区,包括辅助及测试仪器、模具、橡胶技术、化工及振兴材料、塑料及饮料包装设备和电子商贸专区。展出的机械及材料覆盖汽车、化工/日用化工、建材、食品饮料、电子、电器、资讯科技、模具、包装、塑料、橡胶、通讯、玩具等有关行业。

(本刊讯)