

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.01.024

海军舰炮弹药用碳布增强环氧复合材料热老化寿命预测

李华¹, 于倩倩², 吴忠泉², 刘亚平²

(1. 海装西安局, 西安 710043; 2. 山东非金属材料研究所, 济南 250031)

摘要: 研究了热老化对海军舰炮弹药用碳布增强环氧复合材料力学性能的影响, 并利用回归分析方法对复合材料热老化寿命进行了预测。结果表明, 碳布增强环氧复合材料分别在温度 110, 120, 130, 140℃ 热空气条件下老化 2 000 h, 材料的各项力学性能总体呈下降趋势, 但降幅很小, 甚至在整个试验过程中会出现性能升高的情况, 说明材料具有优异的力学性能。以 90% 作为材料失效判据点, 碳布增强环氧树脂基复合材料常温贮存条件下贮存寿命为 20 年。

关键词: 碳布增强环氧复合材料; 热老化; 力学性能; 寿命预测

中图分类号: TQ323.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)01-0105-03

Prediction of Thermal Aging Age of Carbon Cloth Reinforced Epoxy Composites Used for Naval Gun Ammunition

Li Hua¹, Yu Qianqian², Wu Zhongquan², Liu Yaping²

(1. Naval Armament in Xi'an, Xi'an 710043, China; 2. Shandong Nonmetal Material Research Institute, Jinan 250031, China)

Abstract: The influence of thermal aging on mechanical properties of carbon cloth reinforced epoxy composites used for naval gun ammunition was studied, and thermal aging life of composite was predicted by using regression analysis method. The results show that carbon cloth reinforced epoxy resin composites are at a temperature of 110, 120, 130, 140℃ hot air aging conditions for 2 000 h, the mechanical properties of carbon cloth reinforced epoxy composites are overall downward trend, but the decreasing extent is a little. Even in the whole test process there will be performance increased indicating that the composite has good mechanical properties. The prediction show that the age of carbon fiber reinforced epoxy composites stored in normal temperature is 20 years when taking 90% as the lose effectiveness limit.

Keywords: carbon cloth reinforced epoxy composites; thermal aging; mechanical properties; age prediction

随着弹箭武器向远程化和大威力发展, 轻质高强的碳纤维复合材料已在火箭发动机壳体、导弹翼片、穿甲弹弹托等结构部件上实现应用, 为武器性能提升做出了重要贡献。但由于复合材料在加工、储存和应用中, 会接触空气、水、阳光等环境, 而聚合物对这些环境因素的作用比较敏感, 易受其影响而发生老化, 最终导致复合材料整体力学性能下降, 从而影响其应用, 因此, 储存条件对复合材料的力学性能影响的研究越来越多被研究人员关注。

目前复合材料的老化试验主要分为自然老化试验和人工加速老化试验^[1-2]。自然老化试验是直接在自然环境条件下进行的老化试验, 此种试验方法的试验过程通常较为漫长; 人工加速老化试验是通过实验室的老化箱模拟自然环境条件的某些老化因素, 然后对复合材料进行老化试验, 这种试验方法可以加速材料老化过程, 在较短时间内得到试验结果。因此, 人工加速老化试验时间短, 试验成本低, 较多的被研究人员利用, 尤其在近 20 年来有

了较快发展, 并取得了较大的成功^[3-4]。如意大利“阿斯派德”导弹固体发动机在 71℃ 条件下贮存 13 周相当于自然环境下贮存 7~8 年。美国军用规范 MIL-R-23139B 规定固体火箭发动机在其规定的极限高、低温下分别贮存 6 个月后, 如果静止试验的工作性能符合要求, 则其最低贮存寿命为 5 年。俄罗斯“火炬”设计局的自然环境试验室可以进行模拟导弹贮存 10 年的加速寿命试验。

笔者主要对海军舰炮弹药用碳布增强环氧复合材料的热老化性能进行了研究, 并利用回归分析法对其热老化寿命进行预测。

1 实验部分

1.1 主要原材料

碳布: T300 级 3K 平纹碳布, 面密度为 (200 ± 7) g/m², 威海拓展碳纤维公司;

热塑性树脂改性 TDE-85 环氧树脂体系: 自制。

联系人: 李华, 高级工程师, 主要从事海军舰炮弹药用材料研究

收稿日期: 2014-10-26

1.2 主要设备及仪器

热老化试验设备:QLH-225型,上海林频仪器股份有限公司;

热老化试验箱:401B型及402型,上海试验仪器总厂;

液压式万能试验机:WE-10B型,长春试验机厂;

万能试验机:RGT-10A型,深圳市瑞格尔有限公司。

1.3 碳布增强环氧树脂基复合材料制备

先用溶液法制备碳布预浸料,将预浸料裁剪成规定尺寸后铺叠,然后利用热压法成型碳布增强环氧树脂基复合材料层合板。最后将层合板分别按照标准GB/T 1447-2005, GB/T 1449-2005和GB/T 3856-2005中规定尺寸利用高压水切割设备进行裁切,制备拉伸、弯曲和压缩性能测试试样。

1.4 性能测试

拉伸性能按照GB/T 1447-2005测试方法,试验速度为2 mm/min。

弯曲性能按照GB/T 1449-2005测试方法,试验速度为2 mm/min,弯曲跨度根据试样厚度调节。

压缩性能按照GB/T 3856-2005测试方法,试验条件为2 mm/min。

2 结果与讨论

2.1 热老化对碳布增强环氧复合材料力学性能影响

笔者主要考察了不同热老化条件下碳布增强环氧树脂基复合材料的拉伸强度、拉伸弹性模量、压缩强度、压缩弹性模量、弯曲强度和弯曲弹性模量的变化。不同老化时间时碳布增强环氧树脂基复合材料试样的性能检测结果见表1~表4,表中各值为平均值。从表1~表4可以看出,在热老化过程中,复合材料的各项性能指标变化很小,很多取样周期里出现过大于原始值的情况,这与碳布增强环氧树脂基复合材料本身的特性有关,如复合材料的后固化作用和力学性能离散系数大等都会引起上述结果。经热老化处理后,复合材料的拉伸性能和压缩性能基本没有变化,弯曲性能变化相对较大且有规律。随着老化时间增加,复合材料的力学性能基本上都是先降低再升高最终又下降。总体而言,复合材料显示出了较强的耐老化性。

表1 110℃碳布增强环氧树脂基复合材料测试结果

老化时间/h	拉伸强度/MPa	拉伸弹性模量/GPa	压缩强度/MPa	压缩弹性模量/GPa	弯曲强度/MPa	弯曲弹性模量/GPa
0	883	70.7	789	61.9	1210	65.7
300	944	76.3	777	66.5	1150	66.2
600	836	68.9	840	69.8	1170	67.1
900	947	70.4	780	61.6	1110	59.8
1200	955	72.3	791	63.1	1230	76.5
1600	920	71.3	752	64.8	1220	74.5
2000	966	77.4	748	65.8	1150	66.0

表2 120℃碳布增强环氧树脂基复合材料测试结果

老化时间/h	拉伸强度/MPa	拉伸弹性模量/GPa	压缩强度/MPa	压缩弹性模量/GPa	弯曲强度/MPa	弯曲弹性模量/GPa
0	883	70.7	789	61.9	1210	65.7
300	925	73.9	678	64.2	1190	66.9
600	911	73.7	831	66.4	1180	67.1
900	889	66.6	760	62.7	1130	61.1
1200	910	71.4	763	64.0	1270	78.5
1600	861	71.5	719	63.4	1240	73.8
2000	955	70.4	719	63.7	1140	64.8

表3 130℃碳布增强环氧树脂基复合材料测试结果

老化时间/h	拉伸强度/MPa	拉伸弹性模量/GPa	压缩强度/MPa	压缩弹性模量/GPa	弯曲强度/MPa	弯曲弹性模量/GPa
0	883	70.7	789	61.9	1210	65.7
300	927	74.3	745	64.4	1190	66.0
600	945	71.9	870	70.0	1180	67.6
900	884	74.2	831	64.4	1130	59.9
1200	905	72.0	724	63.9	1240	77.4
1600	951	71.5	822	71.9	1330	81.2
2000	925	73.8	723	65.4	1114	61.8

表4 140℃碳布增强环氧树脂基复合材料测试结果

老化时间/h	拉伸强度/MPa	拉伸弹性模量/GPa	压缩强度/MPa	压缩弹性模量/GPa	弯曲强度/MPa	弯曲弹性模量/GPa
0	883	70.7	789	61.9	1210	65.7
300	956	71.0	739	62.0	1170	66.1
600	883	68.7	767	66.4	1160	66.3
900	954	72.0	871	61.1	1080	61.4
1200	892	73.1	754	61.6	1270	75.4
1600	912	74.5	785	66.4	1280	76.6
2000	788	73.3	736	62.3	1172	64.4

2.2 碳布增强环氧复合材料热老化寿命预测

在碳布增强环氧树脂基复合材料热老化性能研究的基础上,采用回归分析的方法对其热老化寿命进行了预测。

根据试验结果,通过分析复合材料力学性能的试验数据,发现其符合一元线性回归方程,设线性模型方程为: $y=a+bx$ 。

从表1~表4复合材料热老化力学性能测试结果可以看出,材料弯曲性能对热老化处理较敏感,且

具有一定规律性。因此,这里选取复合材料 120℃ 下的弯曲强度作为评价和预测材料寿命的性能指标。剔除测量中的异常数据,经过统计分析计算,对复合材料的弯曲强度与老化时间进行回归分析,得到置信度为 90% 的回归方程,计算过程如下式所示。这里 $n=7$,线性回归方程计算过程的相关数据计算结果列于表 5。

表 5 计算过程中相关数据

i	x_i	y_i	x_i^2	y_i^2	$x_i y_i$
1	0	100	0	10 000	0
2	300	98	90 000	9 604	29 400
3	600	98	360 000	9 604	58 800
4	900	93	810 000	8 649	83 700
5	1 200	105	1 440 000	11 025	126 000
6	1 600	102	2 560 000	10 404	163 200
7	2 000	94	4 000 000	8 836	188 000
Σ	6 600	690	9 260 000	68 122	649 100

$$\bar{x} = \frac{1}{7} \times 6600 = 943; \quad \bar{y} = \frac{1}{7} \times 690 = 98.57;$$

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 = 9260000 - 7 \times 943^2 = 3035257;$$

$$S_{yy} = \sum_{i=1}^n y_i^2 - n\bar{y}^2 = 68122 - 7 \times 98.57^2 = -109.7;$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_i y_i - n\bar{x} \times \bar{y} = 649100 - 7 \times 943 \times 98.57 = -1560.6;$$

则可以求得:

$$b = \frac{S_{xy}}{S_{xx}} = \frac{-1560.6}{3035257} = -0.00051;$$

$$a = \bar{y} - \bar{x}b = 98.57 - 943 \times (-0.00051) = 99.05$$

所以,回归直线方程为 $y=99.05-0.00051x$ 。

因此,材料的弯曲强度保持率 y 与老化时间 x 的回归方程为: $y=99.05-0.00051x$ 。

笔者选取材料初始性能的 90% 作为材料的失效判据点,即材料的弯曲强度失效判据点为 90%。这样将材料的失效判据点带入上述方程,可得材料在 120℃ 下的贮存寿命为 17 745 h(约 2 年)。

根据相关资料和课题研究发现,对于常用纤

维增强复合材料而言,通常 120℃ 热老化 1 h 相当于自然贮存老化 20~200 h 左右,笔者选取下限 20 h,则材料常温贮存寿命预测值为 40 年。考虑到实际情况影响,将寿命预测值减半,可得材料在常温环境条件下的贮存寿命约为 20 年。

3 结论

(1) 碳布增强环氧树脂基复合材料在温度 110, 120, 130, 140℃ 热空气的条件下老化 2 000 h, 材料的各项力学性能总体呈下降趋势,但降幅很小,在整个试验过程中会出现性能值大于原始值的情况,这主要是由于材料在试验过程中处于后固化造成的,说明了材料具有优异的力学性能。

(2) 碳布增强环氧树脂基复合材料在自然贮存条件下,以材料在 120℃ 下弯曲强度保持率为原始值的 90% 作为失效判据点,其贮存寿命约为 20 年。

参考文献

- [1] 王云英,刘杰,孟江燕,等. 纤维增强聚合物基复合材料老化研究进展[J]. 材料工程, 2011, 56(7):85-90.
Wang Yunying, Liu Jie, Meng Jiangyan, et al. A review on aging behaviors of fiber reinforced polymer-matrix composites[J]. Journal of Materials Engineering, 2011, 56(7):85-90.
- [2] 孟江燕,王云英,赵晴,等. 通用不饱和聚酯加速老化失效机理研究[J]. 失效分析与预防, 2009, 4(2):65-70.
Meng Jiangyan, Wang Yunying, Zhao Qing, et al. Accelerated aging mechanism of universal unsaturated polyester[J]. Failure Analysis and Prevention, 2009, 4(2):65-70.
- [3] 罗天元,周堃,余淑华,等. 国外弹药贮存寿命试验与评价技术概述[J]. 装备环境工程, 2005, 12(4):20-25.
Luo Tianyuan, Zhou Kun, Yu Shuhua, et al. Summarization on foreign ammunition storage life test and evaluation technology[J]. Equipment Environmental Engineering, 2005, 12(4):20-25.
- [4] 高晓敏,吴奎宪,古忠云. 导弹及弹药贮存寿命预估方法研究概述[J]. 中国材料科技与设备, 2009(1):24-29.
Gao Xiaomin, Wu Kuixian, Gu Zhongyun. Summary of prediction methods applied to storage life of missiles and amunitions[J]. Chinese Materials Science Technology & Equipment, 2009(1):24-29.

重庆国际高强高模玻纤获重庆科技奖

由重庆国际复合材料有限公司研发的高强度高弹性模量玻璃纤维产品(商品名为“TM 玻纤”),近日获得 2013 年度重庆市科技进步二等奖。

据介绍, TM 玻纤与目前应用最广泛的 E 玻纤相比,拉伸强度提高了约 30%,弹性模量提高了约 20%,且抗疲劳性

能更加优异。同时, TM 玻纤还具有好的抗化学腐蚀性能,达到了 ECR 玻纤的水平。

目前, TM 玻纤已先后通过了 GL 认证(国际最著名的风力发电设备质量与安全认证)以及全球知名叶片制造商 LM 的认证,已成功应用于大型叶片、拉挤型材、高压气瓶等高端领域。
(中国聚合物网)