

2.5D 石英/酚醛复合材料的性能研究

李杰 许斌 冯志海

(航天材料及工艺研究所 北京 100076)

文 摘 对编织型复合材料——2.5D 石英/酚醛复合材料作了初步的研究,采用先进的树脂传递模塑(RTM)工艺进行复合成型,并对其力学性能、热物理性能和烧蚀性能做了研究与分析。研究表明 2.5D 石英/酚醛复合材料不但具有较好的整体力学性能,而且是一种优良的抗烧蚀、防热材料。

关键词 复合材料,2.5D 编织,石英/酚醛,树脂传递模塑

Properties of 2.5D Braided Quartz / Phenolic Composites

Li Jie Xu Bin Feng Zhihai

(Aerospace Research Institute of Materials and Processing Technology Beijing 100076)

Abstract Properties of 2.5D braided quartz/phenolic composite were investigated. Samples of 2.5D braided quartz/phenolic composites were made by advanced RTM. Then mechanical properties, thermal properties and ablative properties of the samples were evaluated. Experimental results shown that the 2.5D braided quartz/phenolic composites not only have good mechanical properties but also have excellent ablative performance.

Key words Composites,2.5D braid,Quartz/phenolic,RTM

1 前言

石英纤维编织型复合材料因具有防热、承载、透波等多功能特性,应用领域广泛。编织型织物从二维结构发展到三维结构,各个研究机构在织物工艺特性方面,做了大量的研究。成熟的纺织技术为二维结构织物的规模化机织生产提供技术基础,因而经济性好、成本低、制造周期短;三维结构织物具有厚度方向、横向的全方位增强,大幅度提高材料的抗层间剪切能力;而异形结构织物的编织具有较大难度,且采用传统的手工编织和半机织生产,无法满足航天、航空、军事及民用领域的广泛应用。2.5D 编织型织物采用机织方式,克服异性型面编织的困难,满足整体织物依模缝合工艺的要求,使复合材料具

有较好的综合性能,能降低成本、缩短生产周期,有利于该类材料的广泛应用。本文对 2.5D 石英/酚醛复合材料,进行了拉伸、弯曲、压缩、热物理等基本性能研究,并结合复合材料的烧蚀性能进行了初步探索。

2 实验部分

2.1 实验方法

实验采用 6 mm 厚的 2.5D 石英纤维织物(由南京玻璃纤维研究设计院提供)和酚醛树脂(由北京玻璃研究设计院提供),通过树脂加压浸渍和压力固化工艺(RTM),制成 2.5D 石英纤维增强酚醛树脂复合材料。2.5D 石英纤维织物的结构形式如图 1 所示^[1]。

收稿日期:2001-10-15

李杰,1974 年出生,工程师,主要从事多功能及结构复合材料的研究工作
宇航材料工艺 2002 年 第 1 期

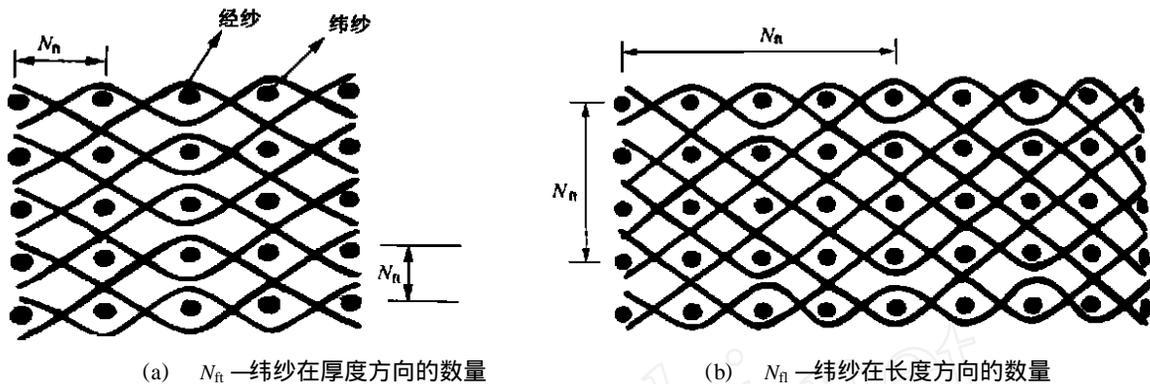


图 1 2.5D 石英织物的形式结构

Fig. 1 Structure pattern of 2.5D quartz fabric

2.2 性能表征

2.2.1 力学性能特性

复合材料力学性能测试包括对拉伸强度、弯曲强度和压缩强度的测试。拉伸试样用亚铃形状,长度 120 mm;压缩试样尺寸 30 mm × 10 mm × 5 mm;弯曲试样外形尺寸 80 mm × 15 mm × 5 mm。

2.2.2 热物理性能和烧蚀特性

复合材料热物理性能测试包括对热导率、线膨胀系数和比热容等项目。热导率用热计流法进行;比热容测试按 GB330—87 进行;热失重试验采用

TG法;线膨胀系数按 GB332—87 进行测试。

复合材料烧蚀特性用燃气流烧蚀试验,试样尺寸 120 mm × 120 mm,试样厚度 9.5 mm、11.6 mm。

3 实验结果及分析

3.1 2.5D 石英/酚醛复合材料力学性能

2.5D 织物采用经向纤维穿过多层(2)纬向纤维,由经向纤维和纬向纤维交错机织为一定厚度的织物,因此 2.5D 织物具有较理想的综合力学性能。对 2.5D 石英/酚醛复合材料材料沿纤维的 0°、45°、90° 三个方向进行了测试,测试结果见表 1。

表 1 2.5D 石英/酚醛力学性能数据

Tab. 1 Mechanical properties of 2.5D braided quartz/ phenolic composite

编织方向	强度/MPa			模量/GPa			断裂应变/%	
	拉伸	压缩	弯曲	拉伸	压缩	弯曲	拉伸	压缩
0°	130	105	207	15.4	17.9	18.2	0.913	0.851
45°	92.1	91.0		12.8	10.1		3.55	3.62
90°	117	114	184	14.3	15.4	17.6	1.72	0.797

从表 1 测试结果可见,2.5D 石英/酚醛复合材料 0° 方向的拉伸强度、模量最高,90° 方向的强度和模量次之,45° 方向的拉伸强度和模量最小,但材料的断裂应变与强度和模量的变化趋势相反;从表中的数据还可以看出,材料在三个方向的拉伸模量变化不大,而拉伸强度和断裂应变则变化很明显。材料拉伸性能的这个特征是和 2.5D 石英纤维织物的结构相对应的。0° 方向石英纤维不参加编织、纤维沿直线分布,对纤维没有损伤。90° 方向纤维是编织纤维,纤维受一定的弯曲,造成纤维的拉伸性能部分下降;因而,材料 0° 方向的强度和模量比 90° 的强度

和模量要高,断裂应变则正好相反。在 45° 方向拉伸时,0°、90° 交织的短纤维之间相互错动,造成材料拉伸断裂应变最大,达 3.55%。2.5D 石英/酚醛复合材料 0°、45°、90° 的压缩、弯曲性能的变化基本上和拉伸性能的变化规律相一致。

进一步分析 2.5D 石英/酚醛复合材料的性能数据,我们可以看出 2.5D 石英/酚醛复合材料的拉伸、压缩、弯曲强度和模量在 0°、45°、90° 三个方向都有较理想的性能数据,并且三方向的数据没有较大的差距,具有良好的整体力学性能。

3.2 2.5D 石英/酚醛热物理性能和烧蚀特性

石英纤维的 SiO₂ 含量高(99.9 %),其耐高温性能比玻璃纤维和高硅氧纤维好,使用温度可达到 1 200 ,软化点温度为 1 700 ,且纤维熔化后的粘度大,具有很好的烧蚀性能^[2];因此与玻璃/ 酚醛和高硅氧/ 酚醛相比,石英/ 酚醛复合材料是较理想的抗烧蚀材料。

表 2 2.5D 石英/ 酚醛复合材料的热物理性能

Tab.2 Thermal properties of 2.5D braided quartz/ phenolic composite

材料	成型方法	热导率/ W(m·K) ⁻¹	比热容 Cp/J(g·K) ⁻¹	热膨胀系数/ 10 ⁻⁶ K ⁻¹	热失重/ %(700)
石英—酚醛	2.5D 织物 RTM	0.386(100)	1.22(250)	5.7	17.8
高硅氧—酚醛	短纤维模压	0.398(100)	1.05(250)	-	-
玻璃—酚醛	玻璃布层压	0.29	1.3	-	-

3.2.2 2.5D 石英/ 酚醛烧蚀性能

烧蚀试验采用平板试样(120 mm ×120 mm),试验环境为燃气流烧蚀,测试结果见表 3,试样烧蚀后形貌见图 2。

表 3 2.5D 石英/ 酚醛复合材料烧蚀速率

Tab.3 Ablative properties of 2.5D braided quartz/ phenolic composite

试样号	试样厚度 /mm	烧蚀时间 /s	烧蚀速率 /mm s ⁻¹
2.5DBQP-0-1	9.5	15	0.156
2.5DBQP-0-2	11.6	10	0.169

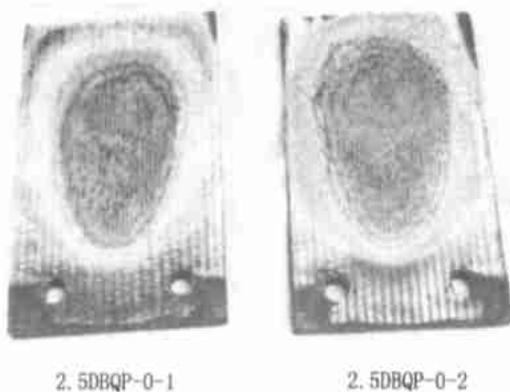


图 2 2.5D 石英/ 酚醛烧蚀结果

Fig.2 Ablative result of 2.5D braided quartz/ phenolic composite

烧蚀后的 2.5D 石英/ 酚醛复合材料的烧蚀表面发白,烧蚀部位出现纤维熔融现象,烧蚀后的试样表面没有纤维分层和剥蚀现象。石英/ 酚醛与高硅氧/ 酚醛、玻璃/ 酚醛的烧蚀机理大体一致,可以描述如下:(1)复合材料本身的热容吸热;(2)酚醛树脂的

3.2.1 2.5D 石英/ 酚醛热物理性能

2.5D 石英/ 酚醛复合材料的热导率、比热容、线膨胀系数、热失重等热物理性能见表 2。通过测试数据可以看出,石英/ 酚醛与高硅氧/ 酚醛、玻璃/ 酚醛具有同一数量级的热物理性能;因此,石英/ 酚醛也是一种优良的隔热材料。

热分解吸热;(3)纤维的熔化吸热;(4)“热阻”效应;(5)碳化层中的化学反应^[3]。对烧蚀后的 2.5D 石英/ 酚醛复合材料解剖中,发现横截面上呈典型的熔融层、碳化层、过渡层、原始层分布。此外,2.5D 石英/ 酚醛复合材料的增强材料是一种整体结构,在烧蚀过程中,可以解决层压板烧蚀中出现的分层和剥蚀现象,具有较好的烧蚀性能,是一种较好的抗烧蚀、防热材料。

4 结论

(1)采用树脂加压浸渍和压力固化工艺成型的 2.5D 石英/ 酚醛复合材料在拉伸、弯曲和压缩方面具有较好的力学性能,是一种综合性能优越的新型复合材料。

(2)2.5D 石英/ 酚醛复合材料具有优良的整体结构性。

(3)2.5D 石英/ 酚醛复合材料和高硅氧/ 酚醛、玻璃/ 酚醛具有相同的热物理性能。

(4)2.5D 石英/ 酚醛复合材料具备一定的抗烧蚀能力。

(5)2.5D 石英/ 酚醛复合材料在烧蚀过程中无分层和剥蚀现象。

参考文献

- 1 吴德隆,沈怀荣. 纺织结构复合材料的力学性能. 长沙:国防科技大学出版社,1998:29~32
- 2 曾汉民主编. 高技术新材料要览. 中国科学技术出版社,1993:11
- 3 于翹主编. 材料工艺(下). 北京:宇航出版社. 1993:5~8

(编辑 任涛)