

三维整体编织碳/酚醛复合材料烧蚀表面状态测试与分析

姚承照 胡宝刚 冯志海 刘武

(航天材料及工艺研究所先进功能复合材料技术国防科技重点实验室 北京 100076)

文 摘 为了更好地研究三维整体编织碳/酚醛复合材料的成型工艺对材料烧蚀性能的影响,选用不同纤维体积分数和不同编织结构的碳/酚醛复合材料试样,进行烧蚀试验,利用 TalyScan 150 型表面粗糙度测试仪对试样烧蚀后的表面进行测试,并采用多种分析方法对测试结果进行分析。从分析结果可以看出三维四向结构的碳/酚醛复合材料随着纤维体积分数的增加,烧蚀性能变好,较低纤维体积分数(50%)的三维五向结构碳/酚醛复合材料具有较好的烧蚀性能。

关键词 织物结构,纤维含量,烧蚀,表面分析

Test and Analysis of Ablation Surface of 3D Braided Carbon/ Phenolic Resin Composites

Yao Chengzhao Hu Baogang Feng Zhihai Liu Wu

(National Defence Science & Technology Key Laboratory of Advanced Functional Composites , Aerospace Research Institute of Materials and Processing Technology Beijing 100076)

Abstract In order to study the relations between manufacturing process and ablative properties of 3D (dimension) braided carbon/ phenolic resin composites ,different fiber volume fractions and different braid structure carbon/ phenolic resin composite samples were used for ablation test , and its ablation surface was analyzed by TalyScan 150 topography. It was found that as the fiber volume fraction of 3D (dimension) four directions braided carbon/ phenolic resin composites increased ,its ablative properties became better , and 3D (dimension) five directions braided carbon/ phenolic resin composites had good ablative properties with low fiber volume fraction(50%) .

Key words Fabric structure ,Fiber volume fraction ,Ablation ,Surface analysis

1 引言

材料的烧蚀性能是防热复合材料的主要研究内容,三维编织碳/酚醛复合材料不仅有较好的烧蚀性能,同时具有结构整体性,具有良好的综合性能,是比较理想的防热材料之一。为了更好地研究三维编织碳/酚醛复合材料的增强体编织工艺对材料烧蚀性能的影响,选用不同纤维体积分数和不同编织结

构的碳纤维整体编织增强体织物,采用相同的酚醛树脂和固化成型工艺制备碳/酚醛复合材料试样,进行小发动机烧蚀试验,对烧蚀后的表面状态进行精密测试和分析。

2 试样表面状态测试

2.1 材料状态和烧蚀试验条件

(1) 碳/酚醛复合材料试样工艺参数见表1。

收稿日期:2001-08-26

姚承照,1971年出生,工程师,主要从事多功能复合材料及工艺研究工作

表 1 试样工艺参数

Tab.1 Parameters of samples

试样编号	碳纤维	编织结构	纤维体积 分数/ %
SSv45	吉碳 9K	三维四向	45
SSv55	吉碳 9K	三维四向	55
SSv60	吉碳 9K	三维四向	60
SS5Dv50	吉碳 9K	三维五向	50

(2) 烧蚀试验在 YA68—04 煤油—氧气发动机上进行,采用相同的试验参数。

2.2 测试仪器和测试方法

(1) 测试仪器为 TalyScan 150 型表面粗糙度测试仪,测试传感器选用激光传感器,该仪器与本次测试的相关参数如下:分辨率为 $1\ \mu\text{m}$;测试精度为 $2\ \mu\text{m}$ ~ $50\ \mu\text{m}$;量程为 $10\ \text{mm}$; x 向移动范围为 $40\ \text{mm}$; x 向步距 $300\ \mu\text{m}$; y 向移动范围为 $40\ \text{mm}$; y 向步距为 $300\ \mu\text{m}$;测试速度为 $8\ 500\ \mu\text{m}\ \text{s}^{-1}$ 。

(2) 测试方法为面测试(该仪器具有线测试和面测试两种功能)。

2.3 取样范围和零点标定

(1) 材料的烧蚀正面选取距离左顶点(图 1 中 O_1) $40\ \text{mm} \times 40\ \text{mm}$ 的 O 点为测试面起始测试点,向右向下各 $40\ \text{mm}$ 形成的(图 1 中深色)区域为测试面。

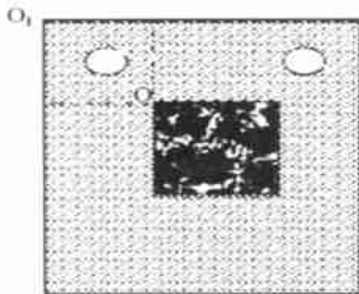


图 1 取样范围

Fig.1 Test scope

(2) 标定,由于每块试样的厚度不完全相同,为了便于比较,将每一测试水平放置于工作台上,选取其未烧蚀面为基准面,该面高度定位为零点。

3 表面状态测试及分析

3.1 测试表面二维层色图

(1) 四块试样测试表面二维层色图如图 2 所示。

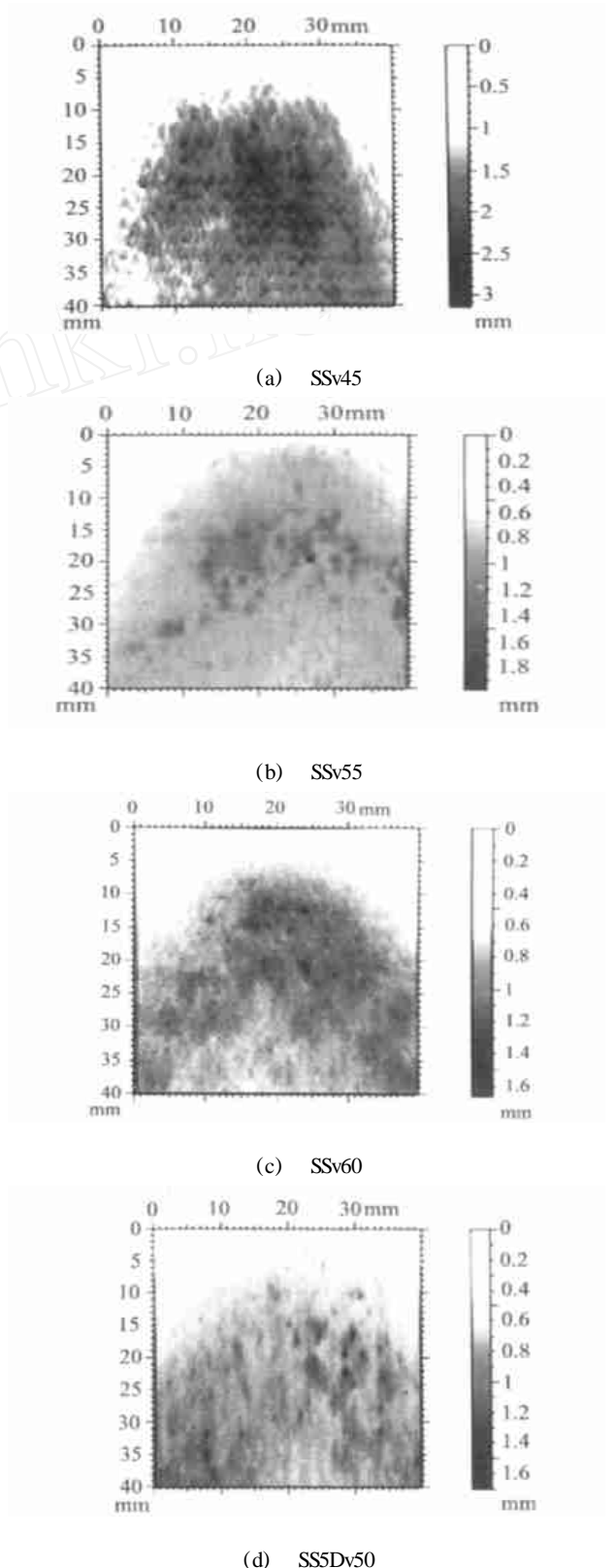


图 2 二维层色图

Fig.2 2D Maps

(2) 层色图分析:从以上四块试样测试面的二维层色图可以看出,试样的烧蚀最大深度是不相同的,在三维四向结构中,随着材料中纤维体积分数的增高,最大烧蚀深度值不断减小;而三维五向结构材料较相同体积分数的三维四向结构材料的最大烧蚀深度明显减小。最大烧蚀深度值见表 2。

表 2 测试面最大烧蚀深度

Tab.2 Maximum depth of ablative surfaces

试样编号	最大烧蚀深度/mm
SSv45	3.1~3.2
SSv55	1.9~2.0
SSv60	1.6~1.7
SS5Dv50	1.7

表 3 测试表面状态参数

Tab.3 State parameters of test surfaces

试样编号	SPc/峰数 mm^{-2}	Sds/峰数 mm^{-2}	Str	Sal/mm	Std / (°)	Sfd
SSv45	0.0305	0.447	0.529	9.72	45	2.18
SSv55	0.0318	0.507	0.545	8.89	45	2.1
SSv60	0.0337	0.587	0.426	7.82	45	2.09
SS5Dv50	0.00561	0.443	0.347	6.76	45	2.09

从表中的数据可以看出,三维四向编织结构复合材料的表面峰起参数变化并无明显规律,而三维五向结构复合材料的峰起参数明显小于三维四向结构复合材料,产生该现象的主要原因是三维五向结构较三维四向结构多了轴向纱,材料单元体间的作用力增大,对烧蚀过程中的气焰冲击力的抵抗能力增强,材料的内部状态更稳定,同时由于轴向纱在材料内部的编织方向上几乎呈直线状穿过原三维四向结构单元体的中间,与单元体的四根对角线紧密结

3.2 材料表面状态参数

(1) 参数定义

SPc:绝对峰起密度, 1 mm^2 中起点低于尺寸 c_1 , 高点超出 c_2 的峰起数目,其中 $c_2 > c_1$ 。

Sds:相对峰起密度, 1 mm^2 中含有高于其周围 8 个点的峰起点的数目。

Str:纹理向性系数,取值范围 0~1,当数值接近 1 时,该表面为各向同性,接近 0 时,各向异性。

Sal:突变波的波长,数值越大,表明该表面的纹理波长越长。

Std:纹理取向,即纹理取向角度。

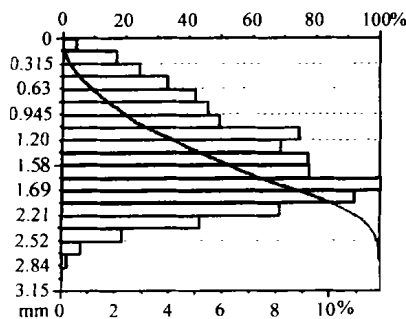
Sfd:表面维数,基于分组维数理论的表面复杂程度系数,变化范围 2(平面)~3(非常复杂)。

(2) 试样表面状态参数比较见表 3。

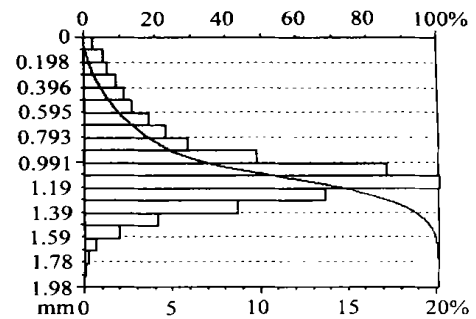
合,并制约单元体中对角线的行为,不会象三维四向结构单元体因一根或两根对角线纱线的破坏而导致整个单元体迅速破坏,三维五向结构能够较有效避免单元体的整体破坏,状态参数中较小的突变波的波长和较小的表面维数也证明了这一点。

3.3 试样表面烧蚀深度分布图

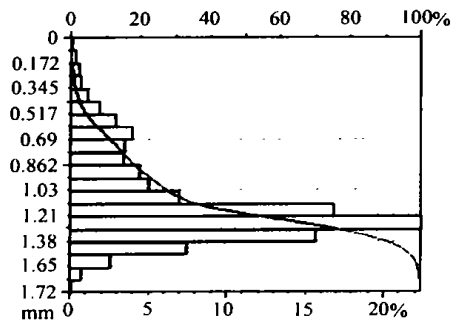
图 3 列举了四块材料烧蚀后的不同烧蚀深度分布比例。



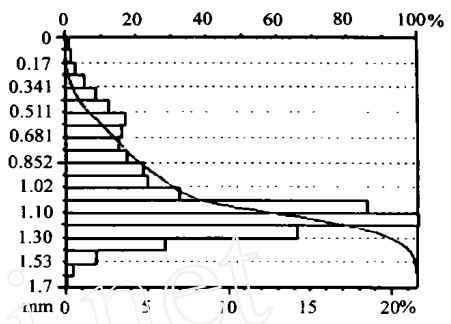
(a) SSv45



(b) SSv55



(c) SSv60



(d) SS5Dv50

图3 测试表面的深度分布图

Fig.3 Depth distribution

从图中可以看出试样表面不同烧蚀深度所占测试面积的比例,SSv45 烧蚀深度的分布范围较宽,烧蚀量较大,烧蚀表面的规则性和平整性较差;而SSv55、SSv60 和 SS5Dv50 烧蚀深度的分布范围较窄,烧蚀量较小,烧蚀表面的规则性和平整性较好。

3.4 材料表面状态切片分析

(1) 参数定义

Area:一定烧蚀深度范围的烧蚀面积与测试面

积的百分比。

(2) 试样表面切片状态比较和分析

四块试样测试表面切片状态分析结果见表4。SSv45、SSv55、SSv60 三维四向结构材料试样的纤维体积分数由 45%、55%、60% 逐渐增大时,烧蚀深度大于 1.5 mm 的切片中烧蚀面积百分比由 52.6、2.35、0.243 而逐渐减小,而 SS5Dv50 为 0.884,与 SSv60 相差较小,均小于 1%。

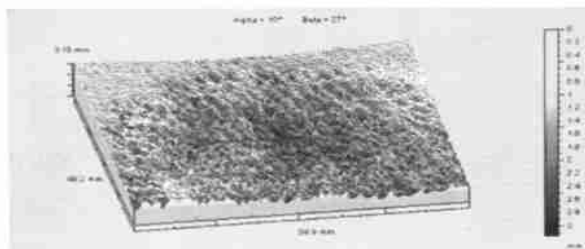
表4 测试表面切片状态分析

Tab.4 Slice condition analysis of test surfaces

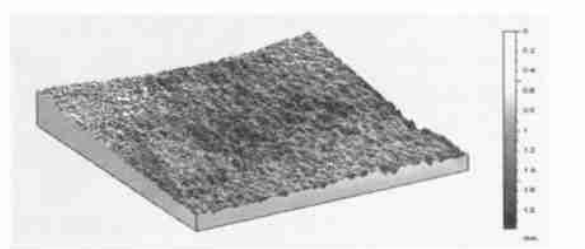
试样编号	Area/ %		
	0 < 烧蚀深度 < 0.7mm	0.7mm < 烧蚀深度 < 1.5mm	1.5mm < 烧蚀深度 最大烧蚀深度
SSv45	11.5	36	52.6
SSv55	13.6	84.1	2.35
SSv60	9.62	90.1	0.243
SS5Dv50	14.5	84.6	0.884

3.5 测试表面三维层色图

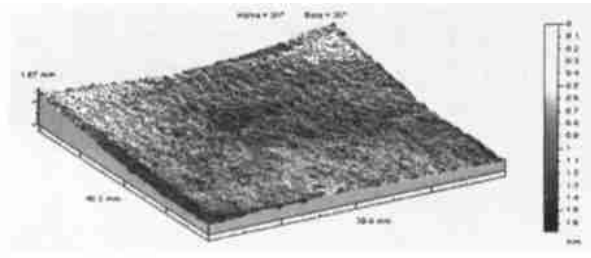
测试表面三维层色图如图4所示。



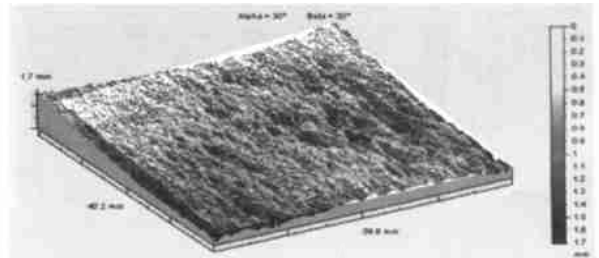
(a) SSv45



(b) SSv55



(c) SSv60



(d) SS5Dv50

图 4 测试表面三维层色图

Fig. 4 3D maps of test surfaces

三维层色图更直观地再现材料表面的烧蚀状况,并将其最大烧蚀量和烧蚀后的纹理清楚呈现出来。

4 结论

从测试和分析结果可以看出:三维四向结构碳/酚醛复合材料,随着材料纤维体积分数的增加其烧蚀性能得到明显改善,当纤维体积分数增大时能够提高材料的烧蚀性能;较低纤维体积分数(50%)的三维五向结构碳/酚醛复合材料的烧蚀性能优于较高纤维体积分数(55%)的三维四向结构的碳/酚醛

复合材料,其烧蚀量小,烧蚀后材料表面平整度良好,具有良好的烧蚀性能。

由于影响复合材料烧蚀性能的因素很多,测试数据有限,测试结果仅供参考,尚不能给予定性表征,准确表征材料的烧蚀性能还需做大量的研究工作,但文中所述的测试和分析方法是可行的。

参考文献

1 Frand K. KO. Three-dimensional fabrics for composites. Textile Structural Composites, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam printed in Netherlands, 1989:129 ~ 171

(上接第 71 页)

参考文献

1 Kazumi H. Strain measurements by image processing techniques and its application to ultra-high temperature tensile testing of carbon/carbon composites. In: Processing of the 5th Japan-U. S. Conference on Composite Materials, Tokyo, Japan, 1990:39

2 罗鸿枢,刘树信. 碳/碳复合材料高温力学性能测试. 宇航材料工艺, 1984;2:32

3

3300K, 1994;(9):

17

4 Babcock S G, Hochstein P A. High strain-rate testing of rapidly heating conductive materials to 7000F. Experimental Mechanics, 1970;10(2):78

5 Marion R H. A short-time, high temperature mechanics testing facility. Journal of Testing and Evaluation, 1978;6(1):3

6 Ultra-high temperature testing capability at OAK ridge national laboratory for carbon materials in air, inert gas and vacuum. DE 92004445 (92)