

树脂含量对碳布/环氧复合材料力学性能的影响

李超 丘哲明 刘建超

(西安航天复合材料研究所 710025)

摘要 主要研究了不同树脂含量下,碳布/环氧复合材料的经向拉伸和纬向压缩性能,并初步探讨了树脂含量对复合材料拉伸、压缩性能的影响机理。试验结果表明,树脂含量对复合材料力学性能的影响较大,当树脂质量含量在42%~45%之间时,拉伸、压缩性能较好。

关键词 复合材料,树脂质量含量,碳布/环氧复合材料

Effect of the Resin Content on the Mechanical Properties
of Carbon Fabric/Epoxy Composites

Li Chao Qiu Zheming Liu Jianchao

(Xi'an Space Composites Research Institute 710025)

ABSTRACT The tensile properties in warp direction and the compressive properties in weft direction of carbon fabric/epoxy composites with different content of epoxy resin were studied. The mechanism of the resin content affecting the tensile and the compressive properties of the composites was discussed. The results show that the resin content has a great effect on the mechanical properties of carbon fabric/epoxy composites. When the resin content is 42%~45%, both the tensile and the compressive properties of the composites are superior.

KEYWORDS composites, resin content, carbon fabric/epoxy composites

1 前言

单向纤维复合材料沿纤维方向具有较高的比强度和比模量,但是它的横向力学性能很低,用织物复合材料可以解决此类问题。织物复合材料^[1]的显著特点是,在较大的温度范围内具有较好的抗冲击、耐损伤性,高的韧性和尺寸稳定性,改进的拉伸强度和模量(通过精心布置纱线,可得到高纤维体积分含量的复合材料);成型工艺简单,一致性好,还能同时兼顾面内多个方向的性能。

碳纤维织物的编织类型有多种,其中二维的主要有平纹、斜纹和缎纹三种。本文主要针对斜纹织物,研究不同含胶量下碳布/环氧复合材料的经向拉伸和纬向压缩性能,进一步探讨了树脂质量百分含量对复合材料拉伸、压缩性能的影响机理。

2 实验部分

2.1 原材料及性能

基体树脂:HS19 环氧树脂,本所配制

增强材料:1K 碳纤维斜纹布,由本所编织,幅宽250mm,厚0.2mm,经/纬密度=110根/110根/10cm,所用纤维为T300(进口)。原材料的性能见表1。

表1 原材料的性能

原材料	拉伸强度 σ (MPa)	拉伸模量 E (GPa)	延伸率 ϵ (%)	密度 ρ (g/cm ³)
HS19 环氧树脂	105	3.77	4.5	1.24
T300 纤维	3720	230	1.76	1.76

2.2 试验仪器

四柱液压机	天津锻压机床厂
DSS-10T-5 电子万能试验机	日本岛津
S-2700 扫描仪电镜	日本进口

2.3 性能测试标准

复合材料层压板的性能试验按下列标准进行:拉伸性能:GB1447-83 玻璃纤维增强塑料拉伸性能试验方法;压缩性能:GB1448-83 玻璃纤维增强塑料压缩性能试验方法。

2.4 试样制备

采用手糊成型法。为控制含胶量,首先按估算称出大致所需胶液重量,然后倒在预先裁好的 1K 斜纹碳布上,用刮刀刮均匀后铺放在模具上,铺层时,务必使每层布带的方向一致,包括布面方向一致及布带的经、纬方向一致。铺完后,在室温下放置 24 小时,固化制度为:RT→70℃/2h→90℃/2h→115℃/2h→150℃/4h,成型压力为 0.5MPa,最后按有关标准加工试样。

3 结果与讨论

碳布/环氧复合材料的力学性能用日本岛津 DSS-10T-5 电子万能试验机测试。测试结果见表 2 和表 3。表中的每个数据都是五个测试试样力学性能的平均值,其中的树脂含量均为层压板固化后的树脂重量百分含量。

表 2 不同含胶量下层压板的经向拉伸性能

树脂含量	30%	33%	40%	42%	56%
$\sigma_{\text{拉}}$ (MPa)	610	627	646	701	619
C_V (%)	13.7	17.1	9.0	15.0	11.9
$E_{\text{拉}}$ (GPa)	66.8	62.8	62.1	60.4	56.2
C_V (%)	7.1	7.0	9.7	11.9	9.6
ϵ (%)	0.96	0.96	1.02	1.26	1.11

表 3 不同含胶量下层压板的纬向压缩性能

树脂含量	35%	40%	45%	47%	57%
$\sigma_{\text{压}}$ (MPa)	142	195.3	210	201	100.9
C_V (%)	31.2	19.5	12.9	20.3	27.3
$E_{\text{压}}$ (GPa)	9.68	9.47	4.60	4.85	2.48
C_V (%)	27.2	20.4	14.7	18.8	19.3
ϵ (%)	2.76	6.20	7.70	2.63	5.13

(注:层压板的经、纬向是对应布带的方向)

由此可见,除了拉伸模量外,该碳布/环氧复合材料的其它力学性能数据的离散性均较大(即 C_V 值几乎在 10% 以上),其中压缩性能的离散性更大,且性能值不高,主要因为^[2]碳布中纤维处于弯曲状态,没有完全伸直,在压缩载荷作用下,产生附加界面拉应力,易使复合材料分层破坏。从受压后的试样也可以看出,分层破坏的数目较多。

由于复合材料的压缩破坏机理很复杂^[3],受很多因素的影响,譬如纤维的初弯曲状态、纤维的性质、纤维和基体的界面性质及空隙率(采用手工刷胶,难免出现碳布浸润不均匀的现象,造成缺陷)等,

致使复合材料的压缩性能的离散性较大,而碳布/环氧复合材料^[4]在经向受拉伸时,碳布经线被逐渐拉直,此时纬线更加弯曲(纬线的变形远大于经线变形),同时发生布层厚度的增加,导致纬线周围的基体开裂,正由于碳布中纤维卷曲程度大,再加上编织过程中纤维强度会有一定的损伤,从而导致碳布/环氧复合材料的强度和模量比较低。树脂含量与该碳布/环氧复合材料经向拉伸和纬向压缩强度的关系曲线见图 1 和图 2。

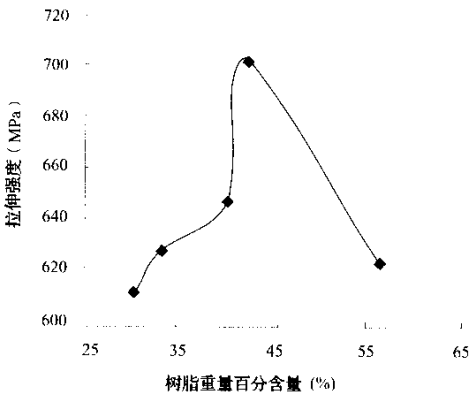


图 1 树脂含量与拉伸强度的关系

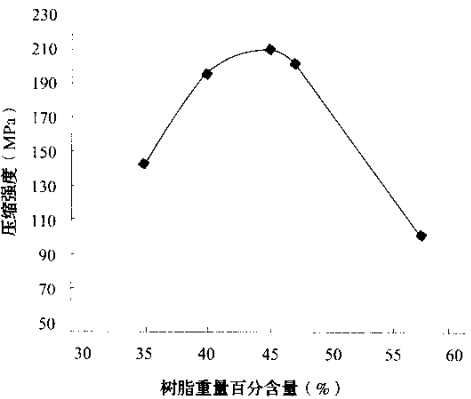


图 2 树脂含量与压缩强度的关系

这两条曲线清晰地反映了含胶量对该复合材料经向拉伸和纬向压缩强度的影响规律。从中可以看出,拉伸、压缩强度随含胶量变化的规律基本一致,即随着含胶量的增加,二者均呈现先上升后下降的变化趋势。考虑到在实际操作中,流胶和成型压力的影响,要想严格控制复合材料的树脂含量,得到某一预计的树脂含量的制品是较难实现,综合上面树脂含量对拉伸、压缩性能的影响规律,可以确定该复合材料有一最佳的实际工艺树脂质量含量范围,该范围为 42%~45%。

图 3 是垂直于碳布叠层方向的顶视概貌,可清

楚地看到碳布经、纬方向的碳纤维束。碳纤维表面覆盖着环氧树脂,经向与纬向纤维束的重叠处有较大空隙,没有完全被树脂基体填充,在纤维束间,也不同程度存在裂纹或空隙,这对复合材料的力学性能肯定会有影响。图4中纤维束搭接处几乎看不到空隙,碳纤维的分布也较均匀,这有利于碳纤维强度的发挥。



图3 含胶量不足的复合材料
压缩分层断面形貌(×10)



图4 含胶量合适的复合材料
压缩破坏断面形貌(×25)

4 树脂含量对复合材料拉伸、压缩性能的影响机理

据文献[5],复合材料中给定方向的纤维含量越大,该方向的强度越大。在理论上应尽量提高纤维的含量,但实际上树脂含量过低时,就会造成复合材料的缺胶现象,使纤维粘接不牢,复合材料受力时就会发生界面破坏,破坏试样断面缺胶,界面脱粘。复合材料的粘接层可分为纤维层、界面层和树脂层,树脂和纤维的界面通过界面凹凸部位的机械结合作用及纤维和树脂的界面化学基团的相互作用来提高界面粘接强度。

据文献[2],双向织物复合材料树脂的实际工艺质量百分含量是25%~50%。如果树脂质量含量低于某个指标范围,就没有足够的树脂浸透纤维,导致纤维贫胶且在复合材料中产生空隙,同时,也没有

足够的树脂基团作用于纤维表面。

试验证明,应力是通过树脂与增强材料间的粘合键传递的,若树脂与增强材料间粘接不牢,应力的传递面积仅为增强材料总面积的一部分。特别是对于织物复合材料,层与层间没有纤维连接,在树脂不足的情况下就更容易发生层间断裂。当树脂质量含量高于某个指标范围时,虽然有足够的树脂浸透纤维微孔,但由于纤维含量低,界面面积减少,纤维的增强效果就会减弱,甚至当纤维量过低时,纤维就达不到增强的效果,反而相当于基体材料的杂质,降低了材料的性能,这一点可以从下面单向纤维复合材料的极限强度公式得到说明。当纤维体积分数小于某一最小值时, $\sigma_{cu} = \sigma_{mu}(1 - V_1) < \sigma_{mu}$ 。所以,只有当树脂质量百分含量落在某个指标范围内,且树脂含量分布均匀时,增强材料的作用才能得到充分的发挥,此时复合材料的综合性能最佳。

由此,研究复合材料的最佳含胶量范围,以便较好地控制复合材料的树脂含量,使其落在这个最佳含胶量的范围内是非常重要的。

5 结 论

1)由于碳布中纤维的交织,纤维的初弯曲、扭转状态,编织过程中纤维强度的损伤,工艺过程中形成的一些缺陷,均导致碳布/环氧复合材料的经向拉伸和纬向压缩性能不佳;

2)由于增强材料的强度和模量远比树脂材料高,所以树脂含量对复合材料力学性能的影响较大;

3)当树脂含量为42%~45%时,该1K斜纹碳布/环氧复合材料的力学性能较佳,对应的拉伸强度为700MPa左右,压缩强度为210MPa左右;

4)由不同增强材料和树脂体系制成的复合材料,最佳树脂含量范围并不一定相同,但本研究结果对织物复合材料的工艺研究具有参考价值。

参 考 文 献

- 1 N K NaiK, Sailenda maduri and Y chandra sekher. Ploymer Matrix Woven Fabric Composites Subjected to Low Velocity Impact : Part III - Effect of Incident Impact Velocity and Impactor Mass. Journal of reinforced plastics and composites 2001 20(8):720
- 2 伍必兴,栗成金修订.聚合物基复合材料.航空工业部教材编审室出版,1986 84
- 3 哈尔滨建筑工程学院.玻璃钢结构分析与设计.中国建筑工业出版社,1981 39
- 4 王汝敏.聚合物基复合材料.西北工业大学出版社,1999,318
- 5 曾昭焕.压缩性能—结构复合材料面临的问题.见:第六届全国复合材料会议论文集.北京《宇航材料工艺》编辑部出版,1990,116