

电子束固化高模量纤维增强复合材料力学性能研究*

包建文¹ 徐松华² 李 晔¹ 陈祥宝¹

(1 北京航空材料研究院先进复合材料国防重点实验室,北京 100095)

(2 北京航空航天大学理学院,北京 100083)

文 摘 用湿法缠绕工艺制备了 M40/ EB99-1 预浸料,研究了电子束固化高模量石墨化碳纤维 M40 增强 EB99-1 环氧树脂复合材料的常规力学性能、耐热疲劳性能和热物理性能,并与 M40/ 5228、M40/ 4211 等热固化复合材料的性能进行了比较。实验研究表明,除了剪切强度稍逊于热固化 M40/ 5228 复合材料外,其它常规力学性能都优于热固化 M40/ 5228、M40/ 4211 复合材料,表现了较好的综合力学性能。电子束固化 M40/ EB99-1 复合材料经冷热交变循环后的性能明显优于热固化 M40/ 5228、M40/ 4211 复合材料,表现了较好的耐热疲劳性能。

关键词 电子束固化,树脂基复合材料,高模量碳纤维,力学性能

Properties of Electron Beam Curing Composites Reinforced by Graphite Fibers

Bao Jianwen¹ Xu Songhua² Li Ye¹ Chen Xiangbao¹

(1 Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095)

(2 Beijing University of Aeronautics & Astronautics, Beijing 100083)

Abstract M40/ EB99-1 prepreps are prepared by wet winding to study the normal mechanical properties, thermal fatigue resistance and thermophysical properties of M40/ EB99-1 composites cured by EB. Compared with thermal curing M40/ 5228 and M40/ 4211 composites, M40/ EB99-1 composites possesses excellent comprehensive mechanical properties, but its short beam shear strength is lower than that of M40/ 5228 composites slightly. The thermal fatigue resistance of the M40/ EB99-1 composites is much more excellent than that of other thermal curing composites.

Key words Electron beam curing, Resin based composite, Graphite fiber, Mechanical property

1 前言

树脂基复合材料的电子束固化成型技术是在复合材料低成本化和无公害化的背景下发展起来的一种新的复合材料成型工艺,与热固化成型技术相比

较,它具有许多独特的优点^[1]:可以实现室温或者低温固化,利于制件的尺寸控制,并减小了固化复合材料的残余应力;固化速度快,成型周期短;适于制造大型复合材料制件;可选择区域固化;减小了对环境

收稿日期:2002-10-30;修回日期:2002-11-12

*国家自然科学基金资助项目:59833110

包建文,1969年出生,博士,主要从事先进树脂基复合材料的研究工作

和人体的危害;固化工艺便于实现连续化操作^[2];改善了材料的工艺操作性。

高强度碳纤维增强树脂基复合材料主要应用于满足主承力构件的高强度设计要求,而高模量碳纤维增强复合材料主要应用于复合材料制件的高刚度、高尺寸精度、高尺寸稳定性设计要求,在人造卫星等航天飞行器结构中应用尤其广泛^[3,4],如星载天线、波导等。

高模量纤维增强电子束固化复合材料,不但能保证复合材料制件在制造过程中的尺寸精度,而且能保证制件在使用过程中高的自然频率,确保制件的尺寸稳定性,提高卫星信号传输的精度^[5]。

2 实验

2.1 主要原材料

碳纤维:M40B—3000—40B;M40JB—12000—50B,日本东丽公司。

树脂基体:EB99—1 电子束固化环氧树脂基体,北京航空材料研究院。

2.2 试样制备

2.2.1 预浸料制备

将 EB99—1 电子束固化环氧树脂体系各组分,用溶剂溶解成匀相透明溶液后,在湿法单向纤维缠绕机上制作预浸料,纤维间距为 1.5 mm。

2.2.2 单向板制备

将组装完成的坯件放进真空袋,在恒温箱中保持 105 °C 下抽真空 4 h,自然冷却。用电子束固化,固化工艺参数:辐射剂量 150 kGy;辐射剂量率 100 Gy/s;环境温度为室温。

2.3 实验方法与设备

2.3.1 力学性能测试

力学性能测试参照标准:拉伸试验按 GB3354—82 执行;弯曲试验按 GB3356—82 执行;压缩试验按 GB3856—82 执行;剪切试验按 GB3357—82 执行。

测试设备:常温力学性能在 MTS800 万能试验机进行;高温力学性能在 WD—5 型电子万能试验机进行。

2.3.2 湿热试验

将试样浸泡在 100 °C 的去离子水中,定期用分析天平称量试样的增重量,然后计算试样的吸湿率。

2.3.3 冷热循环的力学性能试验

将试样按照表 1 所示工艺过程进行冷热循环实

验。

表 1 冷热循环实验工艺

Tab. 1 Process of thermal cycles

时间 / h	温度 / °C	状态	
		M40/EB99—1	M40J/EB99—1
0~0.5	120	恒温箱中	恒温箱中
0.5~1	25	空气中	空气中
1~1.5	-196	液氮中	液氮中
1.5~2	25	空气中	空气中

重复以上步骤共三次,取出试样后做力学性能测试。

3 结果与讨论

3.1 常规力学性能

3.1.1 拉伸性能

4211 是目前在我国航空航天领域广泛应用的一种高性能复合材料树脂基体,5228 是北京航空材料研究院在“八·五”期间研制的一种高韧性、耐湿热的环氧树脂基体。图 1 是 M40/EB99—1 复合材料与高模量纤维增强热固化复合材料 M40/4211、M40/5228 的拉伸性能的比较^[6]。

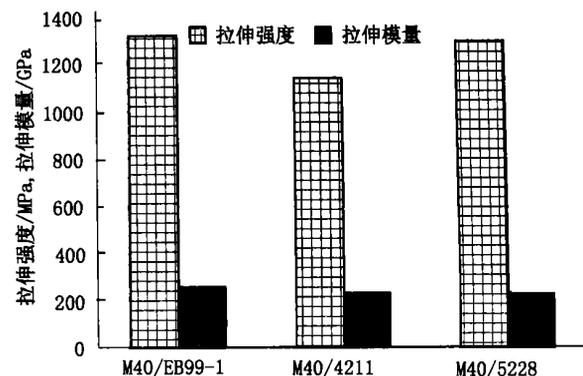


图 1 三种复合材料的拉伸强度和拉伸模量

Fig. 1 Tensile properties of M40/EB99-1 composites

由图 1 可见:M40/EB99—1 复合材料拉伸强度和拉伸模量都比 M40/4211、M40/5228 复合材料的大,其拉伸强度比 M40/4211 复合材料高 15%;拉伸模量高 6%,是 M40/5228 复合材料的 1.08 倍。虽然单向复合材料的拉伸性能主要由碳纤维的性能所决定,但是在电子束固化中,EB99—1 电子束固化树脂的固化收缩率低,复合材料的残余应力较低,使单向复合材料中纤维的准直度较高,从而有利于提高复合材料的拉伸性能。

3.1.2 压缩性能

图2是三种复合材料的压缩性能。由图2可知:M40/EB99-1复合材料的压缩强度和压缩模量都是最高的,M40/EB99-1比M40/5228的压缩强度高18%,比M40/4211高4.8%;压缩模量比M40/5228高11%,比M40/4211高11.3%。虽然复合材料的压缩性能也是由纤维类型和纤维体积分数所控制的,但是它也受到纤维准直度、纤维与树脂的匹配性、界面、固化残余应力等因素的影响。材料的纤维/基体界面越好,残余应力越小,越有利于提高复合材料的压缩性能。在电子束固化中,树脂基体的固化收缩率低,残余应力小,同时又有较好的纤维/基体界面,因此M40/EB99-1复合材料表现出较好的压缩性能。

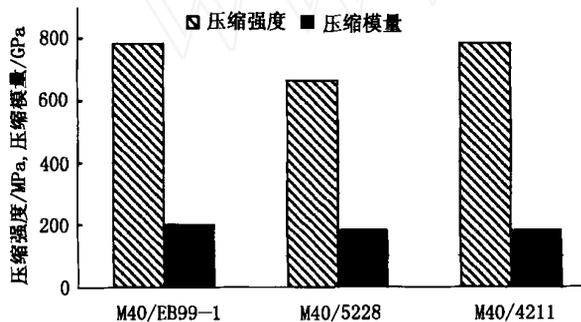


图2 三种复合材料压缩强度和压缩模量比较
Fig.2 Comparison of compression property between M40/EB99-1 and other composites

3.1.3 层间剪切强度

图3是三种不同基体复合材料的剪切强度比较。从图中可以看到M40/EB99-1复合材料的剪切强度虽然没有M40/5228复合材料的高,却比M40/4211的高得多,这是由于5228热固化环氧树脂是一种高韧性的树脂基体,其韧性树脂基体和高温高压的成型工艺有利于改善其复合材料的纤维/基体界面,使其复合材料具有相对较高的剪切强度。而电子束固化的EB99-1树脂的韧性相对5228树脂较差,使其复合材料纤维/基体界面比5228复合材料差。另外,影响电子束固化复合材料纤维/基体界面的还有以下两个重要因素:一是增强纤维的上浆剂或其表面处理与电子束固化体系不匹配;二是电子束固化树脂的固化速度太快,使树脂在增强体中得不到充分的流动和浸润纤维。但是电子束固化

宇航材料工艺 2003年 第4期

M40/EB99-1的固化收缩率较低,复合材料的残余应力较小。因此虽然M40/EB99-1复合材料的剪切性能不及M40/5228复合材料,但它却远远高于M40/4211复合材料(约为M40/4211复合材料层间剪切强度的2倍)。



图3 三种不同基体复合材料剪切强度比较
Fig.3 Comparison of shear strength between M40/EB99-1 and other composites

3.1.4 弯曲性能

图4是三种复合材料的弯曲强度的比较。

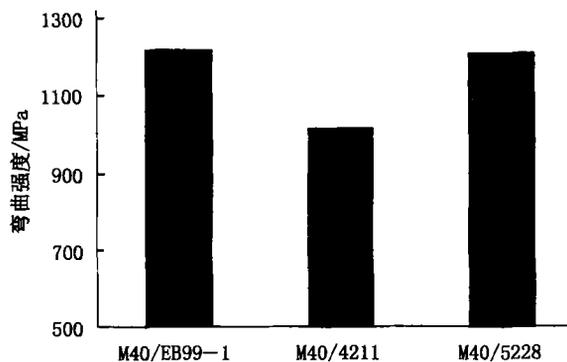


图4 三种复合材料弯曲强度比较
Fig.4 Comparison of flexural strength between M40/EB99-1 and other composites

复合材料的弯曲性能是其拉伸、压缩、剪切基体树脂性能、材料界面以及纤维/基体的匹配性等多种性能的综合体现。从图4中可以看到,M40/EB99-1复合材料的弯曲强度比M40/4211和M40/5228都高。这些实验结果说明,高模量碳纤维增强电子束固化EB99-1复合材料有着比高模量碳纤维增强热固化4211及5228复合材料更为优异的综合力学性能。

3.2 冷热循环对复合材料性能的影响

表 2 列出了几种复合材料在经冷热循环前后的剪切强度。

表 2 复合材料冷热循环前后剪切强度比较

Tab. 2 Thermal fatigue resistance of M40/ EB99-1 composites

材料	剪切强度		
	冷热循环后 /MPa	冷热循环前 /MPa	保持率 / %
M40J/ EB99 —I	69.36	72.28	96.0
M40/ EB99 —I	64.91	68.64	94.6
T700/ TEC	61.26	71.26	86.0
T700/ 5228	77.28	86.01	89.9

经冷热循环后,几种复合材料的剪切强度均有不同程度的下降。经电子束固化的 M40/ EB99 —I、M40J/ EB99 —I 复合材料的保持率均在 95 %左右,而与 EB99 —I 相同配方而采用热压机成型的 T700/ TEC 复合材料的剪切强度保持率仅有 85 %左右,比电子束固化复合材料低了大约 10 %。而作为高韧性的 T700/ 5228 复合材料的剪切强度保持率也在 90 %以下,比电子束固化复合材料低了约 5 %。其原因在于电子束固化复合材料是在室温下固化的,其固化收缩率低,残余应力小,冷热交替过程对材料的破坏小,其微观结构中形成的冷热交替疲劳裂纹少。而热固化复合材料的固化温度高,其树脂基体的固化收缩率高,残余应力大,尤其是 T700/ TEC 复合材料比增韧 T700/ 5228 复合材料的残余应力更大。因此,导致电子束固化复合材料的耐冷热循环

性能好于 T700/ 5228 复合材料,T700/ 5228 好于 T700/ TEC 复合材料的实验结果。

4 结论

通过对高模量碳纤维 M40 增强电子束固化 EB99 —I 环氧树脂基的常规力学性能、热物理性能、热疲劳性能等的研究与比较,除了剪切强度稍逊于热固化 T700/ 5228 复合材料外,其它常规力学性能都优于热固化复合材料,表现了较好的综合力学性能。电子束固化 M40/ EB99 —I 复合材料经冷热交替循环后的性能明显优于热固化复合材料,表现了较好的耐热疲劳性能。

参考文献

- 1 包建文,陈祥宝. 电子束固化复合材料进展. 高分子通报,1999;(2):69
- 2 Fanucci J P et al. Production and repair of pultruded composites sandwich panels using UV- and E-beam cured resins. In:44th International SAMPE Symposium, 1999:619
- 3 Richard Foedinger,Thomas Schneider et al. Development of electron beam curable composite motor cases. In:47th International SAMPE Symposium,2002:570
- 4 Wilenski M S,Aiken Robert, Gerzesk Roger. Evaluation of an E-Beam cured material for cryogenic structure usage. In:47th International SAMPE Symposium,2002:109
- 5 陈烈民. 碳纤维复合材料在卫星上的应用趋势. 宇航材料工艺,1993;23(4):5
- 6 李志君,李学成,包建文等. M40/ 5228 复合材料力学性能研究. 材料工程,1999;(10):10

(编辑 李洪泉)

调速液力耦合器技术

调速液力耦合器是一种可变速的传动装置,安装在原动机和负载机之间,在原动机恒速运转情况下,可实现负载机变速运转,是工业风机、水泵实现调速运转的最理想设备。

调速液力耦合器是以液体为介质,靠液体动量矩的转换来实现动力传动。通过改变工作腔内液体的充满度可以无级地改变其传动能力和输出转速,最高效率可达 97 %,调速范围为 1 ~ 1/5。该成果属国内先进水平,一些性能已达到国际标准。结构合理紧凑,性能指标先进。用户多年使用证明,工作安全可靠,运转平稳,维修方便。

本产品已在冶金、化工、矿山、发电、水泥、纺织、石油等行业采用。一般可节电 20 % ~ 30 %,最好的节电达 50 %。用于炼钢转炉除尘风机,440 kW 的风机每年节电 100 万度,一般 1 ~ 2 年内可收回投资,生产企业可获 20 % ~ 30 % 的利润。

(上海船舶柴油机研究所,021 - 62530009 - 533)

· 李连清 ·

宇航材料工艺 2003 年 第 4 期