

增黏成型 RFI层合板复合材料性能的实验研究

张国利¹ 李嘉禄¹ 姚承照² 李学明¹

(1 天津工业大学复合材料研究所,天津 300160)

(2 航天材料及工艺研究所,北京 100076)

文 摘 通过测试 PT500粉末状环氧树脂型增黏剂的动态黏度特性,确定了在增强织物表面涂覆定量增黏剂的固态粉末涂布工艺及增黏层合预制件真空袋成型工艺。以 M18型环氧树脂膜为基体,利用 RFI成型工艺制备了增黏成型 RFI层合板制件。实验结果表明:当增黏剂涂覆量 10%时,随着增黏剂涂覆量的增加,RFI制件的厚度和孔隙含量逐渐增加,从而使 RFI制件的弯曲强度和层间剪切强度亦相应降低,即增黏剂涂覆量的多少直接影响到 RFI制件弯曲强度和层间剪切强度的高低。

关键词 复合材料,增黏预制件,增黏剂,树脂膜融渗工艺,弯曲强度,层间剪切强度

Experimental Study on Properties of RFI Laminated Composites by Tackified Preforming Process

Zhang Guoli¹ Li Jialu¹ Yao Chengzhao² Li Xueming¹

(1 Composites Research Institute of Tianjin polytechnical University, Tianjin 300160)

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

Abstract By means of testing the dynamic viscosity of PT500 epoxy tackifier with powder form, the applied technology for solid powder tackifier on the surface of reinforced fabric with some amount of tackifier and vacuum bag moulding for tackified laminated preforms are designed, and the tackified laminated parts are made by RFI process with M18 epoxy resin film. The experimental results show that the thickness and void content of RFI parts gradually increase along with the increase of the adding amount of tackifier as the tackifier reaches up to 10%. Moreover, the flexural strength and interlaminar shear strength also decrease in the same conditions. Therefore, the amount of tackifier on the surface of fabric would affect the flexural strength and interlaminar shear strength of tackified RFI laminated parts.

Key words Composites, Tackified preforms, Tackifier, RFI process, Flexural strength, Interlaminar shear strength

1 引言

以碳纤维、石英纤维及芳纶纤维等高性能纤维为增强体,借助于新型的现代二维或三维机织、三维编织、多轴向经编和多轴向纬编等现代纺织技术手段加工制造成各种结构与形状的预成型体,利用热压罐、RTM、VARTM、RFI等复合材料成型技术所制造的先进复合材料具有比强度高、比模量大、尺寸稳定性好、在各种空间环境下性能变化范围小、耐腐蚀疲劳性能好、可设计性强等优异特性,目前先进复合

材料在航空、航天、军事装备、船舶等领域获得了广泛应用。受预制件加工自动化水平,生产效率及复合材料成型周期等因素的制约,复合材料制件的高制造成本(约占其总成本的 70%~80%^[1~2])已严重阻碍了复合材料应用领域的拓展,为此国外复合材料研究工作者针对结构复杂、超大尺寸复合材料预制件低成本制造技术开展了一系列研究工作并开发了增黏成型技术。由于技术开发时间相对较短,其研究多集中在增黏剂与基体树脂的匹配性^[3]、增

收稿日期:2005-10-26

作者简介:张国利,1964年出生,副教授,主要从事纺织结构复合材料成型理论与加工技术的研究

黏剂涂敷工艺与预制件性能、增黏成型复合材料制件断裂韧性^[4-5]等方面,在低成本 RFI增黏成型层合板复合材料基础理论与实验研究方面尚存在不足,本文选用 PT 500粉末状环氧树脂为增黏剂,利用增黏预成型技术和 RFI成型工艺,制备了增黏成型碳纤维/环氧树脂基 RFI层合板复合材料,并对其力学性能进行了研究。

2 实验测试与增黏成型制件的制备

2.1 材料

PT 500粉末状环氧树脂,3M公司;M18环氧树脂膜(面密度为 600 g/m²),Hexcel Composites;RC275H5碳纤维增强织物(经纬纱束细度为 3 K;经纬纱束密度为 67根/10 cm;织物组织为 5枚经面缎,面密度为 276 g/m²,厚度为 0.25 mm),Colan Products Ltd.

2.2 仪器设备

Instron 5567 材料试验机;Bohlin CSR10型圆盘式流变仪;Leitz型光学显微镜;MHP-1型热压罐。

2.3 性能测试

孔隙含量按 GB 3365—82《碳纤维增加塑料孔隙含量检验方法(显微镜法)》规定的方法测试。

弯曲强度和层间剪切强度分别按 ASTM D790-03、ASTM D3846-02规定的方法测试。

2.4 PT 500粉末状、M18环氧树脂膜动态黏度测试

采用 Bohlin CSR10型圆盘式流变仪分别对 PT 500粉末状树脂和 M18环氧树脂膜的动态黏度测试,其中升温速率设定为 3 /min,振动频率设定为 10 Hz,测试结果如图 1、图 2所示。

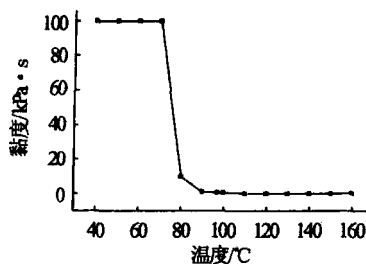


图 1 PT500增黏剂动态黏度曲线

Fig 1 Dynamic viscosity curve of PT500 tackifier

由图 1可知在 40 下,黏度达到 100 kPa·s;由 97 升高到 120 时,黏度由 1 kPa·s下降到 563 Pa·s;在 120~140 时,PT 500增黏剂黏度达到最低,为 9~10 Pa·s。基于增加增黏预制件层间接粘强度、降低加热过程中 PT 500增黏剂化学反应程度的考虑,选定增黏预成型加热温度范围为 90~97。

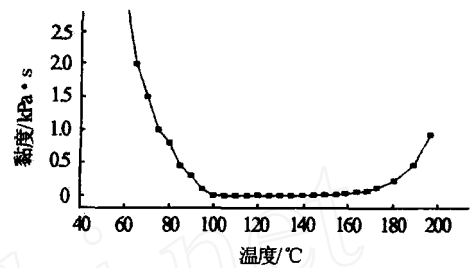


图 2 M18树脂膜恒温黏度曲线

Fig 2 Dynamic viscosity curve of M18 resin film

由图 2可知,当温度升高到 120,树脂膜黏度达到最小值 1.1 Pa·s,根据树脂膜融渗过程中树脂黏度值应保持最低的原则,确定该温度为树脂膜融渗温度。

2.5 增黏成型预制件制备

利用固态粉末涂布工艺分别在 G926碳纤维增强织物表面涂覆质量分数为 2%、4%、6%、8%、10%、12%、14%和 16%的 PT 500增黏剂,然后放置在温度为 92 的烘箱中加热 2 min,待增黏织物冷却后,采用 [0°/45°/90°/45°]s的铺层形式,在真空度为 -76 kPa,加热温度为 93~100、加热时间为 20~25 min的工艺条件下,利用真空袋成型工艺制备了 300 mm ×140 mm的增黏成型层合板预制件。

2.6 增黏成型 RFI制件的制备

为使树脂充分浸润纤维增强体,确保 RFI制件的纤维体积分数和尺寸精度达到设计要求,根据 RFI成型工艺特点、PT 500粉末状树脂和 M18环氧树脂的动态黏度特性,设计了如图 3所示的成型工艺曲线。利用热压罐制备了 300 mm ×140 mm增黏成型层合板 RFI制件。

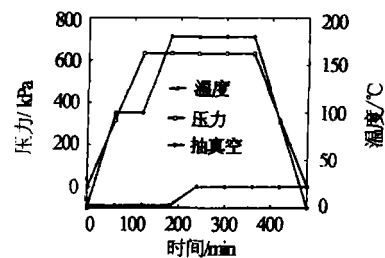


图 3 RFI成型工艺曲线

Fig 3 Technological curves of RFI process

由图 4所示的增黏剂涂覆量与制件厚度关系曲线得,当增黏剂涂覆量 6%时,与未涂覆增黏剂制件的厚度相比,制件厚度的变化幅度较小,最大值仅为 0.16 mm。而当增黏剂涂覆量分别为 8%、12%、16%时,厚度增加幅度较大,分别达到 0.16 mm、0.22 mm、0.46 mm,由于增黏预制件厚度方向

的压缩模量随着增黏剂涂覆量的增加而增加,在相同的压力成型条件下,预制件厚度方向压实程度不同,RFI制件的厚度不同。

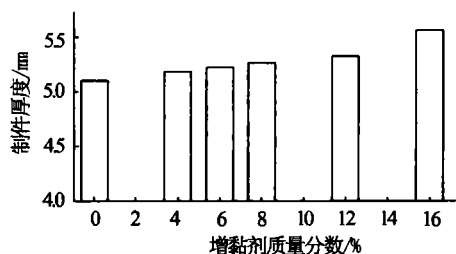


图 4 增黏剂涂覆量与制件厚度的关系

Fig 4 Relationship of adding amount of tackifier with part thickness

3 结果与分析

3.1 增黏剂涂覆量对 RFI 制件孔隙含量的影响

由图 5 可知,当增黏剂涂覆量在 2% ~ 8% 时 RFI 制件的孔隙含量较低,最大值为 1.86%、最小值为 1.65%,因此在织物表面涂覆 2% ~ 8% 的增黏剂对 RFI 制件的孔隙含量无明显的影响。

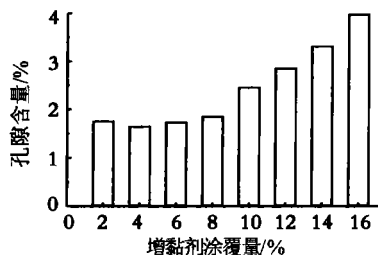


图 5 增黏剂涂覆量与孔隙含量的关系

Fig 5 Relationship of adding amount of tackifier with void content

当增黏剂涂覆量分别为 10%、12%、14%、16% 时,RFI 制件的孔隙含量显著增加,分别达到 2.46%、2.86%、3.32%、3.96%。这主要是由于织物表面涂覆增黏剂后,一部分颗粒状增黏剂随机分布在织物的纤维束间和纤维间,当纤维束间及纤维间增黏剂分布体积与数量超过某一量值时,树脂在预制件中的宏观和微观流动规律可发生变化并造成一定数量的空气残留在预制件中,因此随着增黏剂涂覆量的增加,RFI 制件的孔隙含量逐渐增加。

3.2 增黏剂涂覆量对 RFI 制件弯曲强度和剪切强度的影响

由表 1 可知,当增黏剂涂覆量分别为 4% 和 6% 时,与未涂覆增黏剂的 RFI 层合板制件相比,其弯曲

强度、剪切强度降低幅度较小;当增黏剂涂覆量增加到 8%、12%、16% 时,弯曲强度分别降低 5.7%、14.3%、19.6%,层间剪切强度分别降低 13.1%、18.6%、26.7%。由于当增黏剂涂覆量达到 8% 时,制件厚度明显增加,相应地降低了纤维含量;当增黏剂涂覆量 10% 时,制件的厚度和孔隙含量会同时增加,因此增黏成型 RFI 层合板制件弯曲强度、剪切强度随着增黏剂涂覆量的增加而降低。

表 1 增黏剂涂覆量对 RFI 层合板制件弯曲强度、剪切强度的影响

Tab 1 Effect of adding amount of tackifier on flexural and shear strength of RFI laminated composites

增黏剂质量分数 /%	弯曲强度 /MPa	层间剪切强度 /MPa
0	526	23.6
4	512	22.2
6	508	21.2
8	496	20.5
12	451	19.2
16	423	17.3

4 结论

(1) 当增黏剂涂覆量 8%, 随着增黏剂涂覆量的增加,增黏预制件厚度方向的压缩模量增加,导致在相同的热压罐压力条件下所制备的 RFI 制件厚度有所增加,并造成纤维含量的降低。(2) 当增黏剂涂覆量 10% 时,由于增黏剂对树脂融渗过程中宏观和微观流动规律的影响,随着粉末状增黏剂涂覆量的增加,RFI 制件的孔隙含量亦相应增加。(3) 当增黏剂涂覆量 8% 时,随着增黏剂涂覆量的增加,由于制件孔隙含量的增加及其纤维含量的降低,RFI 制件的弯曲强度和层间剪切强度逐渐降低。

参考文献

- 1 包建文,陈祥宝. 电子束固化树脂基复合材料进展. 高分子通报, 2000; 13 (2): 69 ~ 71
- 2 陈绍杰. 先进复合材料的近期发展趋势. 材料工程, 2004; 256 (9): 9 ~ 12
- 3 Vivek Rohatgi, James Lee. Moldability of tackified fiber preforms in liquid composites molding. Journal of Composites Materials, 1997; 31 (7): 721 ~ 741
- 4 Hillemeier R W, Seferis J C. Interlayer toughening of resin transfer molding composites. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 2001; 32 (5): 721 ~ 729
- 5 Hillemeier R W, Hayes B S, Seferis J C. Tackifier/binder toughened resin transfer molding composites. Journal of Advanced Materials, 2000; 32 (3): 27 ~ 34

(编辑 李洪泉)