

三维玻璃纤维织物增强不饱和树脂的力学性能研究

盛江峰¹,俞 峰²,朱 舜²,陆海泉¹,姚玉元²

(1. 振石集团华美复合新材料有限公司,浙江桐乡 314500;

2. 浙江理工大学先进纺织材料与制备技术教育部重点实验室,杭州 310018)

摘要:以不饱和树脂为基体,三维玻璃纤维织物为增强体,采用手糊/模压工艺,制得三维玻璃纤维增强复合材料,并对其力学性能进行了研究。结果表明,当增强材料的质量分数为10%时,复合材料的拉伸强度和弯曲强度分别为89.38MPa和147.45MPa。与二维玻璃纤维织物增强复合材料相比,其拉伸强度和弯曲强度分别提高了37.46%和21.91%,与短纤维增强复合材料相比,其拉伸强度和弯曲强度分别提高了64.30%和35.83%。另外,为进一步改善基体的力学性能,还考察了刚性粒子(碳酸钙)对复合材料的影响。结果表明,碳酸钙能提高复合材料的韧性,且当碳酸钙质量分数达到20%时韧性最佳。

关键词:不饱和树脂;三维玻璃纤维织物;硬颗粒;力学性能

中图分类号:TS101.921.2 文献标志码:A 文章编号:1009—265X(2013)01—0009—04

Study on Enhancement of Mechanical Properties of Unsaturated Polyester Resin by Three-Dimensional Glass Fiber Fabric

SHENG Jiangfeng¹, YU Feng², ZHU Shun², LU Haiquan¹, YAO Yuyuan²

(1. Huamei New Composite Materials Co., Ltd, Zhenshi Group, Tongxiang 314500, China;

2. Key Lab of Advanced Textile Materials and Manufacturing Technology, Ministry of Education, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: This study prepares three-dimensional glass fiber reinforced composite using hand lay-up/mould pressing process with unsaturated polyester resin as the matrix and three-dimensional glass fiber fabric as the reinforcement and study its mechanical properties. The result indicates that the tensile strength and flexural strength of the composite are respectively 89.38 MPa and 147.45 MPa when the mass content of reinforcing material is 10%. Compared to the reinforced composite of two-dimensional glass fiber fabric, its tensile strength and flexural strength respectively increase by 37.46% and 21.91%; while they respectively increase by 64.30% and 35.83% compared to the reinforced composite of staple fiber. In addition, this paper also investigates the influence of rigid particle (calcium carbonate) on composite material in order to further improve the mechanical properties of matrix. The result shows that calcium carbonate can improve the toughness of composite material which is optimal when the content of calcium carbonate reaches 20%.

Key words: unsaturated polyester resin; three-dimensional glass fiber fabric; rigid particle; mechanical properties

0 引言

三维纺织复合材料具有优异的整体受力性能,其比强度、比模量高,力学性能和功能表现良好,因

收稿日期:2012-10-17

基金项目:桐乡市科技计划重点项目(201101009)

作者简介:盛江峰(1980—),男,博士,高级工程师,主要从事玻璃纤维增强复合材料研究。

通讯作者:姚玉元,E-mail:yyy0571@126.com

此近年来越来越受到研究者的广泛关注^[1-3]。Stig等^[4]研究了三维碳纤维织物增强复合材料,采用数值模型预测了复合材料的力学行为。Archer等^[5]制备了三维机织碳纤维增强热塑性聚合物基复合材料,研究了纤维取向和穿透厚度对材料力学性能的影响。Piezel等^[6]研究了三维纤维增强聚合物基复合材料的弯曲强度,并利用材料的非线性计算来评估材料的分层失效行为。Tsai等^[7]制备了三维碳纤维增强沥青基复合材料,研究了其力学性能及影响材料力学性能的因素。Pankow等^[8]制备了三维

机织物增强环氧树脂复合材料,建立了弯曲强度和降解模型,研究了材料受到高负荷时的力学性能。目前,国内外研究中,将三维玻璃纤维织物增强复合材料与二维玻璃纤维织物、短玻璃纤维增强复合材料进行力学性能比较的报道较少。因此,本文制得三维玻璃纤维织物增强复合材料,研究了其力学性能,并与二维玻璃纤维织物、短玻璃纤维增强复合材料进行比较。无机刚性粒子可以改善材料的韧性和模量,在此基础上,为了进一步改善基体的力学性能,论文还考察了碳酸钙刚性粒子对三维玻璃纤维织物增强复合材料力学性能的影响。

1 试验部分

1.1 原料

不饱和树脂 1520、树脂 9893(AR,常州华科树脂有限公司);过氧化苯甲酸叔丁酯(TBPB,AR,上海泌威化工有限公司);对苯醌(PBQ,AR,盐城凤阳化工有限公司);MgO(AR,无锡市恒懋科贸有限公司);丙酮(AR,振石集团华美复合新材料有限公司);CaCO₃(AR,长兴恒大粉体材料有限公司)。

1.2 复合材料的制备

按表 1 的配比制备了树脂糊,利用手糊/模压工艺,分别以质量分数均为 10% 的三维玻璃纤维织物、二维玻璃纤维织物和短玻璃纤维作为增强相,制得三种不同结构的复合材料。

表 1 树脂糊配方

树脂糊参数	参数值	质量比
树脂	不饱和树脂 1520	80
低收缩剂	树脂 9893	20
引发剂	过氧化苯甲酸叔丁酯	2
阻聚剂	对苯醌	0.75
增稠剂	MgO	2.5

按照表 1 的树脂糊配方分别添加质量分数为 10%、20%、30%、40% 的 CaCO₃,制得 5 种碳酸钙含量不同的复合材料。

1.3 力学性能测试

拉伸试验参照标准 GB/T 1447—2005,试件加工成哑铃状。复合材料的拉伸测试在微机控制电子万能试验机 RGM-3050 上进行,测试速度为 5mm/min,有效样本数为 5。

弯曲实验参照标准 GB/T 1449—2005,试件加工成长条状。复合材料的弯曲测试在微机控制电子

万能试验机 RGM-3050 上进行,采用三点弯曲法进行测试,跨距为 96mm,试件长度应适当长于跨距。弯曲强度的测试速度为 10mm/min,有效样本数为 5。

冲击强度的测试标准参照 GB/T 1043—1993,试件加工成长条状(同弯曲测试的试件)。复合材料的冲击强度测试在液晶显示简支梁冲击试验机 RXJ-5013 上进行,采用无缺口冲击方式,冲击速度快速,有效样本数为 5。

2 结果与讨论

2.1 三种增强复合材料的力学性能

2.1.1 三种增强复合材料的拉伸性能

图 1 是三种形态增强材料制备的复合材料的拉伸强度测试结果。从图 1 中可以看出,三维玻璃纤维增强复合材料的拉伸强度明显高于二维玻璃纤维织物、短纤维增强的复合材料。三维玻璃纤维织物增强不饱和树脂的拉伸强度为 89.38MPa,比二维增强复合材料的拉伸强度高 37.46%,比短纤维增强的复合材料高 64.30%。这是由于三维织物增强复合材料,树脂与纤维增强体的界面结合优良,玻璃纤维和树脂之间结合成一牢固的整体。受拉伸应力时,基体首先受力开裂,同时基体通过界面将力传递给纤维增强体,随着基体大面积的断裂,传递作用减弱,纤维增强体承担主要拉力,直至断裂。

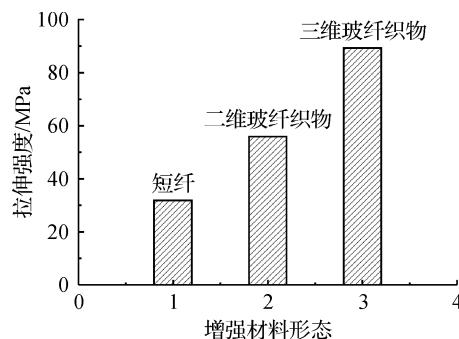


图 1 不同增强材料形态的复合材料的拉伸强度

2.1.2 三种增强复合材料的弯曲性能

图 2 是三种增强材料制备的复合材料的弯曲强度。从图 2 中可以看出,三维玻璃纤维织物增强复合材料的弯曲强度最高,短纤维增强复合材料的弯曲强度最低。三维玻璃纤维织物增强不饱和树脂复合材料的弯曲强度为 147.45MPa,比二维玻璃纤维增强复合材料和短纤维增强复合材料分别高 21.91% 和 35.83%。这是由于三维玻璃纤维织物

存在Z方向的绑定纱线,能有效阻止纱线的弯曲起拱^[9],同时三维织物由于其整体性和连续性好,能提高试件的承载能力。但是与拉伸强度相比较,三维织物增强复合材料对弯曲强度的影响没有对拉伸强度的影响大。这是由于三维织物增强复合材料的内部存在一定量的空隙,材料在受拉伸应力时,纤维束作为一个整体被拉断,拉伸强度主要取决于纤维增强体的拉伸强度,空隙对其影响较小,而受弯曲应力时,空隙导致应力的传递受到影响,会降低一定的弯曲强度^[10],故没有表现出比二维织物和短纤维增强复合材料更大的弯曲强度。

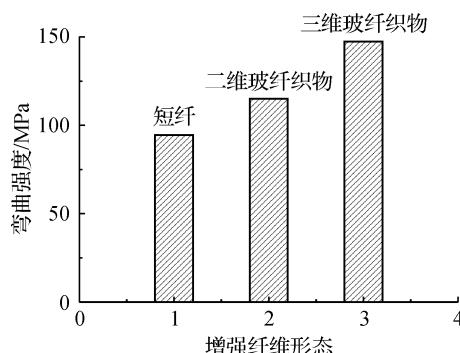


图2 不同增强材料形态的复合材料的弯曲强度

2.1.3 三种增强复合材料的冲击强度

图3是三种形态增强材料制备的复合材料的抗冲击强度。从图3可以看出,三维玻璃纤维织物增强复合材料的抗冲击强度最大,表现出试件的韧性最好。这主要是由三维织物的结构所决定的。相比于二维织物和短纤维,三维织物的整体化结构可以使试件在受到冲击载荷时吸收更多的能量,表现出一定的韧性。

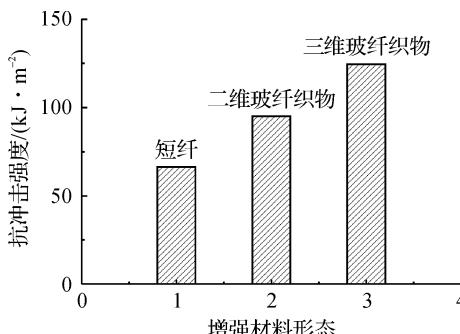


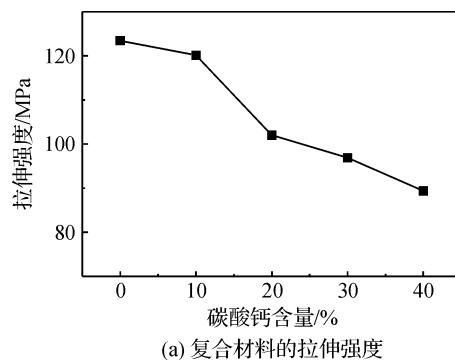
图3 不同增强材料形态的复合材料的抗冲击强度

2.2 刚性粒子(碳酸钙)对复合材料的影响

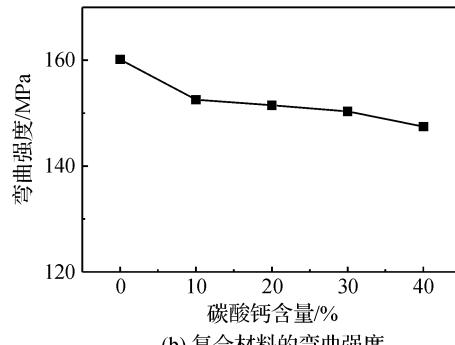
三维玻璃纤维织物增强复合材料虽然赋予复合材料极好的抗层间分层能力,更高的强度,但是材料

的韧性往往得不到进一步的改善,使得三维玻璃纤维织物增强复合材料在抗冲击性领域得不到广泛的应用。增韧但又不降低其强度甚至提高强度显得尤为重要。为此,考察了碳酸钙刚性粒子对复合材料力学性能的影响。

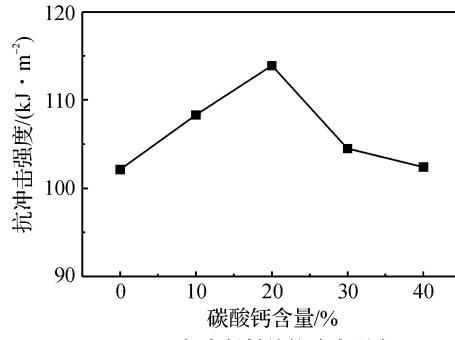
图4是不同碳酸钙含量制备的复合材料的力学性能。从图4可以看出,随着碳酸钙含量的增加,材料的拉伸强度和弯曲强度均呈现下降趋势。当碳酸钙含量从0增强到40%时,抗拉强度从123.45MPa下降到89.38MPa,下降幅度为27.60%,弯曲强度由160.14MPa下降到147.45MPa,下降幅度为7.92%。这主要是由于碳酸钙表面活化能低,与树脂的相容性不良。随着碳酸钙含量的增加,树脂与增强材料间形成的界面层的粘结力下降,材料在受到外力作用时,不能有效地传递应力,导致材料较早地出现断裂。随着碳酸钙含量的增加,材料的冲击强



(a) 复合材料的拉伸强度



(b) 复合材料的弯曲强度



(c) 复合材料的抗冲击强度

图4 碳酸钙含量对复合材料力学性能的影响

度先上升后下降,当碳酸钙含量为20%时,材料表现出最佳韧性。这是由于材料在手动冲击载荷时,粉末状的碳酸钙填料起到应力集中的作用^[11],易引发周围树脂基体的开裂,吸收一定的能量,同时无机填料使树脂裂纹扩展受阻或钝化,不致使树脂产生破坏性开裂,因而材料的韧性得到提高。但是当碳酸钙的含量超过一定值时,容易引起碳酸钙的团聚,在基体内部分散不均匀,在材料受到冲击载荷时,直接导致破坏性的裂缝产生,因而材料变脆,抗冲击强度下降。

3 结语

a) 采用手糊/模压工艺成功制得了三维玻璃纤维增强不饱和树脂复合材料,在增强材料含量相同的条件下其拉伸强度、弯曲强度和抗冲击强度明显高于二维玻璃纤维织物、短纤维增强复合材料。

b) 在三维玻璃纤维织物增强的复合材料中,添加刚性粒子碳酸钙能提高复合材料的韧性,且当含量为20%时韧性最佳。

参考文献:

- [1] Gerlach Robert, Sivior Clive R, Wiegand Jens, et al. In-plane and trough-thickness properties, failure modes, damage and delamination in 3D woven carbon fibre composites subjected to impact loading [J]. Composites Science and Technology, 2012, 72(3):397-411.
- [2] Fang Guodong, Liang Jun, Wang Baolai, et al. Effect of interface properties on mechanical behavior of 3D four-directional braided composites with large braid angle subjected to uniaxial tension [J]. Applied Composite Materials, 2012, 18(5):449-465.

(上接第8页)

3 结语

初步建立了在一定生产工艺条件下,棉色纺织物“素色”效果的预控制理论:色纺织物混色时,“素色”效果的色差宽容值为 $\Delta E_{CMC(2:1)} \leqslant 10$ 。

参考文献:

- [1] 陶海滨.浅析混色棉纱的生产工艺[J].现代纺织技术,2005,13(1):36-37.
- [2] 章友鹤.色纺纱线的生产现状与生产技术要点[J].现代纺织技术,2004,12(5):7-9.

- [3] May Michael, Kichert Sebastian, Hiermaier Stefan. 3D modeling of fracture in brittle isotropic materials using a novel algorithm for the determination of the fracture plane orientation and crack surface area [J]. Finite Elements in Analysis and Design, 2012, 56:32-40.
- [4] Stig Fredrik, Hallstrom Stefan. A modeling framework for composites containing 3D reinforcement [J]. Composites Structure, 2012, 94(9):2895-2901.
- [5] Archer E, Mulligan R, Dixon D, et al. An investigation into thermoplastic matrix 3D woven carbon fibre composites [J]. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2012, 31(13):863-873.
- [6] Piezel B, Mercatoris B C N, Trabelsi W, et al. Bending effect on the risk for delamination at the reinforcement/matrix interface of 3D woven fabric composite using a shell-like RVE [J]. Composite Structures, 2012, 94(8):2343-2357.
- [7] Tsai Shuocheng, Jen Hanya, Kai Jijung, et al. Microstructural evolutions of three-dimensional carbon-carbon composite materials irradiated by carbon ions at elevated temperatures [J]. Progress in Nuclear Energy, 2012, 57:32-37.
- [8] Pankow M, Waas A M, Ghiorse S, et al. Modeling the response, strength and degradation of 3D woven composites subjected to high rate loading [J]. Composite Structures, 2012, 94(5):1590-1604.
- [9] 戎琦,邱夷平.二维和三维机织复合材料的力学性能实验研究[J].国际纺织导报,2006(11):13-16.
- [10] 廖晓玲,李贺军.3DC/C复合材料的弯曲行为[J].材料工程,2006(6):54-57.
- [11] 魏立东,徐艺,林润雄,等.ABS增韧PC/CF复合材料加工流变行为与力学性能[J].中国塑料,2011,25(11):16-22.

(责任编辑:许惠儿)

- [3] 章友鹤.我国色纺纱线的生产现状与发展趋势[J].纺织导报,2005(5):78-81.
- [4] 孙秀如,林志定,张家英,等.中国人眼对表色色差辨别 的实验研究[J].心理学报,1996,28(1):9-15.
- [5] Warburton P, Lund G V. Colour and textiles III colour theory in relation to the size of colour units used in textiles[J]. Journal of Textile Institute, 1956, 47: 347-360.
- [6] Guthrie J C, Moir J, Oliver P H. Two problems associated with the blending of coloured fibres [J]. Journal of the Society of Dyers and Colourists, 1962, 78: 27-34.

(责任编辑:许惠儿)