

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2020.12.023

SMC 与 PCM 复合材料模压件力学性能

吴凤楠^{1,2}, 刘阔^{1,2}, 贾志欣², 李继强², 刘立君², 王少峰³, 彭河³

(1. 浙江大学机械工程学院, 杭州 310012; 2. 浙大宁波理工学院, 浙江宁波 315100; 3. 宁波益普乐模塑有限公司, 浙江宁波 315615)

摘要: 通过模压成型工艺制备了玻璃纤维增强的环氧树脂基片状模塑料 (SMC) 和预压料模压法 (PCM) 盒子状制品, 研究了两种复合材料模压成型制品不同部位试样的力学性能并分析了微观断面形貌。PCM 制品试样的拉伸和弯曲力学性能均优于 SMC, 不同部位的试样的力学性能有差异, 两种制件所表现出的力学性能各向异性与两种材料的微观断面形貌表征相符合。

关键词: 玻璃纤维增强复合材料; SMC 和 PCM 成型工艺; 力学性能

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2020)12-0118-05

The Mechanical Properties of SMC and PCM Compression Molding Parts

Wu Fengnan^{1,2}, Liu Kuo^{1,2}, Jia Zhixin², Li Jiqiang², Liu Lijun², Wang Shaofeng³, Peng He³

(1. School of Mechanical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310012, China; 2. Ningbo Tech University, Ningbo 315100, China; 3. Ningbo City EPL Mould & Plastic Co., Ltd., Ningbo 315615, China)

Abstract: The box-shaped parts were made of SMC and PCM materials through compression molding. The mechanical behaviors, tensile and bending strength, bending modulus of elasticity were determined and compared. The fractures of the SMC and PCM specimen were analyzed. The tensile and bending strength of the PCM parts are better than those of the SMC parts. The mechanical behaviors of specimens obtained from different location parts were varied. The anisotropy of mechanical properties of the parts is consistent with the microscopic fracture morphology of the two materials.

Keywords: glass fiber reinforced composite; SMC and PCM compression molding; mechanical property

复合材料具有各组分独自所不具有的优良性能, 凭借其力学性能好、密度小、比强度高的优点在汽车车身、航空航天及建材领域展现出良好的应用前景^[1-3]。复合材料的制备、成型工艺、制品是近年研究的热点。

模压成型^[4]是复合材料成型方法^[5]中非常重要的一种, 它是指将特定形态如粉末态、纤维态或颗粒态的原料铺放于预热好的模具中, 使其在一定温度和压力下固化成型的一种成型工艺, 其多用于含热固性塑料材料的成型, 与其它成型方法相比, 它具有材料利用率高、制件性能好、尺寸精度高、模具损耗小等一系列优点。

片状模塑料 (SMC) 是短切纤维与树脂混合获

得的片状模塑料, SMC 模压是根据所需成型的模压制件, 裁剪出相应质量和形状的 SMC 片材; 在模具预热完成后, 将片材铺覆于模具下模表面, 进行合模加压, 使 SMC 片材熔融流动, 充满型腔, 经过一定时间的保压, 开模取出制件。

预压料模压法 (PCM) 是采用编织的连续玻璃纤维布, 在纤维布上均匀喷涂树脂基体, 使两者充分浸润并在一定温度下获取预制件, 再将预制件置入预热后的模具进行合模加压获得制件。PCM 工艺适合用于复杂结构制件的成型, 且具有生产效率高、制品尺寸误差小等特点。

随着复合材料的应用不断扩展, 受复合材料本身具有的可设计性和成型工艺的影响, 从复合材料

基金项目: 宁波市“科技创新 2025”重大专项 (2019B10053)

通信作者: 贾志欣, 教授, 研究方向为复合材料模压成型工艺 E-mail: jzx@nit.zju.edu.cn

收稿日期: 2020-10-12

引用格式: 吴凤楠, 刘阔, 贾志欣, 等. SMC 与 PCM 复合材料模压件力学性能 [J]. 工程塑料应用, 2020, 48(12): 118-122.

Wu Fengnan, Liu Kuo, Jia Zhixin, et al. The mechanical properties of SMC and PCM compression molding parts[J]. Engineering Plastics Application, 2020, 48(12): 118-122.

本身和成型制品试样两个角度展开制品的力学性能研究成为研究的热点。王启强等^[6-7]对配置的复合材料进行压制,分析了其力学性能,张志坚等^[8]研究了SMC用高力学性能的玻璃纤维。马伟强等^[9]通过冷压烧结成型工艺制备了玻璃纤维(GF)填充改性PTFE复合材料,以提高摩擦磨损性能。卢军凯等^[10-11]研究了连续纤维增强的复合材料的力学性能。陈海霞等^[12-14]分析了玻璃纤维增强材料的拉-拉疲劳性能、失效和纤维分布对疲劳性能的影响,曾帅等^[15]对碳纤维-玻璃纤维层内混杂单向增强环氧树脂复合材料拉伸性能进行了研究。笔者研究了SMC和PCM模压制件的拉伸与弯曲力学性能。

1 实验部分

1.1 主要原材料

SMC料:0400 H-14 NAT 01150,律通复合材料(上海)有限公司;

PCM复合材料:EV101-UL-40%-EWR400-400 gsm,江苏恒神股份有限公司。

1.2 仪器

万能试验机:SANS CMT4204型,最大力20 kN,深圳新三思试验设备有限公司;

场发射扫描电子显微镜(SEM):FEI QUANTA 250 FEG型,美国FEI公司。

1.3 试样制备

分别采用玻璃纤维增强的环氧树脂基SMC和PCM复材通过模压成型方法成型出如图1所示的盒状模压制件。制件外形总体尺寸为520 mm×320 mm×69.5 mm,盒子顶部外圆角为R6.5,侧面圆角为R11.5,拔模斜度为3°,壁厚为1.5 mm,如图1所示。

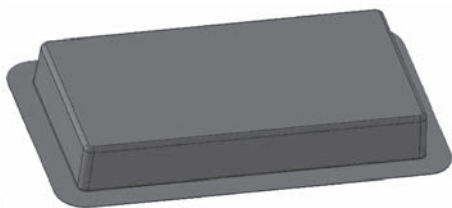


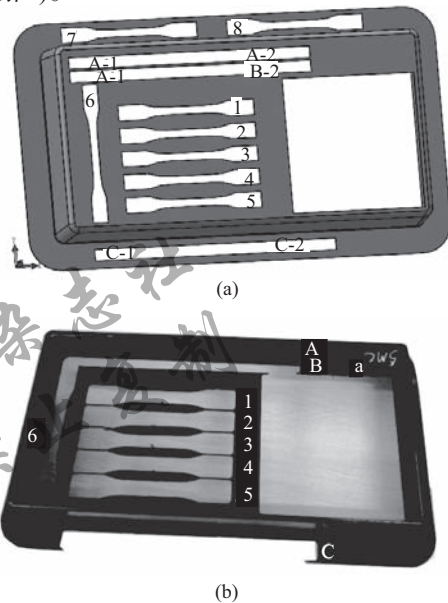
图1 模压制件外形图

针对制备的SMC和PCM两个盒型件,通过数控铣床加工出测试试样。分别按照GB/T 1447-2005, GB/T 1449-2005进行试样的切割,切割方案如图2所示。

拉伸试样8个,5个试样取自盒子顶部X方向、

1个试样盒子顶部Y向和2个试样在盒子边缘沿X向取向,在测试结果中分别以SMC-1, ..., SMC-8, PCM-1, ..., PCM-8表示,如图2a所示。

弯曲试样共3组,2组试样位于盒子顶部,1组试样位于盒子边缘。在测试结果中以SMC-A1、SMC-A2、SMC-B1、SMC-B2、SMC-C1、SMC-C2和PCM-A1, ..., PCM-C2表示(编号SMC-A则代表取SMC-A1与SMC-A2中间段作为实验材料,以此类推)。



a—试样切割方案;b—切割后的试样制件

图2 试样切割

1.4 测试方法

拉伸强度按照GB/T 1447-2005测试。对试样以2 mm/min的速度进行匀速加载,当试样发生破坏后,压力机自动停止加载,通过自动记录装置记录下加载过程中的最大负载。

弯曲强度按照GB/T 1449-2005测试,跨距采用20倍的壁厚,对试样以2 mm/min的速度进行连续加载。

对拉伸和弯曲断裂试样表面做喷金处理后,采用SEM进行断面形貌表征。

2 结果与讨论

2.1 复合材料拉伸性能测试结果及分析

(1) 拉伸载荷-伸长量曲线。

由于所使用的万能试验机带有自动记录装置,故获得了材料的连续拉伸载荷-伸长量曲线,如图3所示。

由图3可知,两种材料均没有明显的线弹性变形阶段,故该种材料的尺寸稳定性较差^[12],一旦受

到一定的外力就会发生不可逆的塑性变形,使制件尺寸发生变化,且变形量越大越难发生变形。对比两类材料可知 PCM 制件的拉伸力学性能显著优于 SMC。

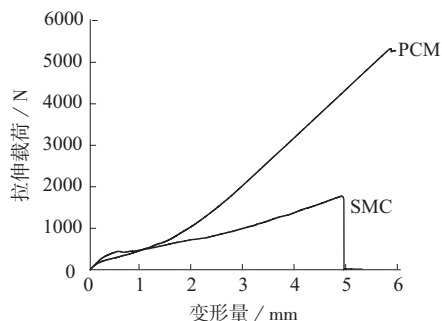


图3 试样拉伸载荷-变形量曲线图

(2) 拉伸性能测试结果。

SMC 制件的拉伸性能测试结果见表1。根据实验数据可以看出, SMC 制件在不同方向上的力学性能有较大差异,表现出明显的各向异性。由 SMC1~SMC5, SMC7~SMC8 号制件可以看出,制件在 X 向上的拉伸强度基本在 50~80 MPa,而取向为 Y 向的 6 号制件的拉伸强度达到了 125.3 MPa。同时可以看到位于制件边缘的试样其力学性能略低于位于制件顶部的试样。

PCM 拉伸性能测试结果见表2。

表1 SMC 制件拉伸性能测试结果

试样编号	拉伸强度 / MPa
SMC-1	62.3
SMC-2	60.1
SMC-3	49.1
SMC-4	76.7
SMC-5	64.8
SMC-6	125.3
SMC-7	59.57
SMC-8	54.33
平均值	69.02

表2 PCM 拉伸性能测试结果

试样编号	拉伸强度 / MPa
PCM-1	485.50
PCM-2	454.60
PCM-3	445.20
PCM-4	483.55
PCM-5	453.85
PCM-6	348.45
PCM-7	432.00
PCM-8	432.00
平均值	441.89

同样根据实验数据可以看出, PCM 制件在不同方向上的力学性能存在差异,表现出一定的各向异性。制件在 X 向上的拉伸强度基本为 430~480 MPa,而 Y 向取向试样的拉伸强度则为

348.45 MPa。同时也可以看到,制件边缘的试样力学性能略低于制件顶部的试样。

对比两类制件可以看出,不同取向的试样的拉伸强度有变化,均表现出显著的各向异性。SMC 基本为 50~120 MPa, PCM 拉伸强度为 340~480 MPa, PCM 制件拉伸强度是 SMC 制件的 4~7 倍。

2.2 复合材料弯曲性能测试结果及分析

(1) 弯曲载荷-变形量曲线。

由于所使用的万能试验机带有自动记录装置,故获得了材料的连续弯曲载荷-变形量曲线,如图4所示。

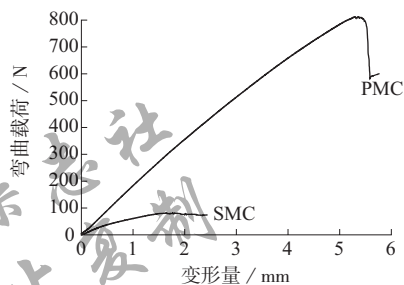


图4 试样弯曲载荷-变形量曲线图

由图4可知,两类材料的弯曲变形曲线为明显的凸曲线,设曲线的函数表达式为 $f(x)$,则 $f(x)$ 的导数 $[f'(x)]$ 随着横坐标的增大而减小,因材料的弯曲弹性模量与曲线的导数即 $f'(x)$ 正相关,可知材料的弯曲弹性模量随着变形量的增大而减小,但由图4可知,减小的幅度不明显。对比两类材料可知, PCM 制件的弯曲力学性能显著优于 SMC。

(2) 弯曲性能测试结果。

SMC 制件与 PCM 制件的弯曲性能测试结果见表3、表4。

表3 SMC 制件弯曲性能测试结果

试样编号	弯曲强度 / MPa	弯曲弹性模量 / GPa
SMC-A	191.920	12.82
SMC-B	158.122	11.24
SMC-C1	158.623	9.74
SMC-C2	157.747	9.32
平均值	166.603	10.78

由表3可知, SMC 制件顶部的弯曲弹性模量大于制件边缘处,弯曲强度基本一致; PCM 制件弯曲强度和弯曲弹性模量各处都基本一致。对比两类不同材料可知, SMC 制件的弯曲强度为 150~190 MPa, PCM 制件的弯曲强度为 400~450 MPa, PCM 制件弯曲强度是 SMC 制件的 2~3 倍; SMC

制件的弯曲弹性模量为 9~13 GPa, PCM 制件的弯曲弹性模量为 19~24 GPa, PCM 制件弯曲弹性模量是 SMC 制件的 2 倍左右。

表 4 PCM 制件弯曲性能测试结果

试样编号	弯曲强度 / MPa	弯曲弹性模量 / GPa
PCM-A	427.674	19.29
PCM-B1	416.500	19.33
PCM-B2	442.163	21.13
PCM-C1	447.518	21.53
PCM-C2	404.850	24.23
平均值	427.741	21.10

2.3 断面形貌表征

图 5 为 SMC 试样断面的 SEM 照片。由图 5 可知,对于 SMC 制件,成型时的材料流动使得玻璃纤维局部呈现规则分布,具有一定的取向一致性,但整体呈无规则杂乱分布。图 6 为 PCM 试样的断面 SEM 照片。由图 6 可知,对于 PCM 制件,由于使用规则结构的连续纤维预制件成型,纤维总体呈正交规则排布,且材料断面处呈现出明显的分层现象,由此可以解释两者呈现出力学性能的各向异性。由断面形貌可知,两类材料的玻璃纤维与树脂基体均为脆性断裂,断面处玻纤粘连少量树脂,表明玻璃纤维与树脂基体的界面结合强度不高,尤其对于 PCM 制件可以观察到两者的分离界面光滑。

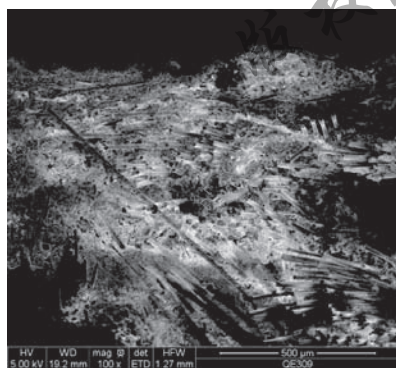


图 5 SMC 试样断面 SEM 照片

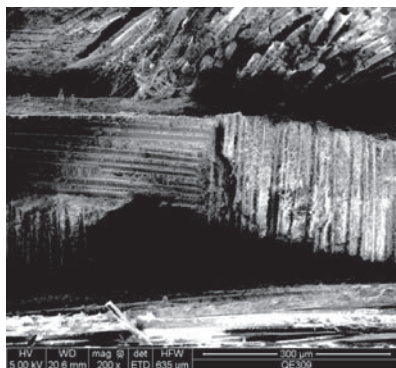


图 6 PCM 试样断面 SEM 照片

3 结论

(1) 取自制品不同位置的试样,两种材料的拉伸强度有显著变化。SMC 制件的拉伸强度基本为 50~120 MPa, PCM 制件的拉伸强度在 340~480 MPa, PCM 制件拉伸强度是 SMC 制件的 4~7 倍。

(2) 取自制品不同位置的试样,两种制件材料的弯曲强度有变化。SMC 制件的弯曲强度为 150~190 MPa, PCM 制件的弯曲强度为 400~450 MPa, PCM 制件的弯曲强度是 SMC 制件的 2~3 倍。SMC 制件的弯曲弹性模量为 9~13 GPa, PCM 制件的弯曲弹性模量为 19~24 GPa, PCM 制件的弯曲弹性模量是 SMC 的 2 倍左右。

(3) 对于 SMC 制件和 PCM 制件,试样截取的方向和位置对拉伸强度、弯曲强度均有较大影响。

(4) 由 SMC 制件的拉伸、弯曲断面 SEM 看出,玻璃纤维总体呈现杂乱分布状态,小局部由于成型过程的纤维呈现一定的取向一致性,SMC 试样力学性能为各向异性。

(5) 由 PCM 制件的拉伸试样断面 SEM 看出,连续玻璃纤维总体呈现正交规则分布状态,PCM 试样力学性能呈现出明显的各向异性。

参考文献

- [1] 刘海江,刘娜,肖丽芳.面向轻量化的高强度 SMC 保险杠碰撞性能研究[J].机械科学与技术,2011,30(5):813-817,822.
Liu Haijiang, Liu Na, Xiao Lifang. A study of the impact performance of a high-strength sheet molding compound (SMC) bumper for lightweight[J]. Mechanical Science and Technology, 2011,30(5):813-817,822.
- [2] 李浩,邵将,张研珂,等.连续玻璃纤维/丙纶纤维混纺织物增强聚丙烯复合材料模压成型工艺[J].塑料工业,2017,45(11):134-138.
Li Hao, Shao Jiang, Zhang Yake, et al. Molding process of polypropylene composites reinforced by continuous glass fiber / polypropylene fiber blended fabrics[J]. China Plastics Industry, 2017,45(11):134-138.
- [3] 范子杰,桂良进,苏瑞意.汽车轻量化技术的研究与进展[J].汽车安全与节能学报,2014,5(1):1-16.
Fan Zijie, Gui Liangjin, Su Ruiyi. Research and development of automotive lightweight technology[J]. Journal of Automotive Safety and Energy, 2014,5(1):1-16.
- [4] 沃西源,薛芳,李静.复合材料模压成型的工艺特性和影响因素分析[J].高科技纤维与应用,2009,34(6):41-44.
Wo Xiyuan, Xue Fang, Li Jing. Analysis on the process properties and influencing factors of composites molding[J]. Hi-Tech Fiber &

- Application, 2009, 34(6):41-44.
- [5] 何亚飞, 矫维成, 杨帆, 等. 树脂基复合材料成型工艺的发展 [J]. 纤维复合材料, 2011, 28(2):7-13.
He Yafei, Jiao Weicheng, Yang Fan, et al. The development of polymer composites forming process[J]. Fiber Composites, 2011, 28(2):7-13.
- [6] 王启强, 彭龙贵. 玻璃纤维增强环氧树脂复合材料的力学性能研究 [J]. 化工时刊, 2016, 30(7):4-7.
Wang Qiqiang, Peng Longgui. Mechanical properties of glass fiber reinforced epoxy resin composites[J]. Chemical Industry Times, 2016, 30(7):4-7.
- [7] 刘家余, 王双双, 于晓燕. 玻璃纤维增强环氧树脂基复合材料的性能研究 [J]. 胶体与聚合物, 2017, 35(1):20-21, 31.
Liu Jiayu, Wang Shuangshuang, Yu Xiaoyan. Properties of epoxy resin toughened by adding fiberglass[J]. Chinese Journal of Colloid and Polymer, 2017, 35(1):20-21, 31.
- [8] 张志坚, 陆琦, 章建忠, 等. SMC 用高性能玻璃纤维的研究 [J]. 玻璃纤维, 2019(3):21-24.
Zhang Zhijian, Lu Qi, Zhang Jianzhong, et al. Study on high-performance fiberglass used for SMC[J]. Fiber Glass, 2019(3):21-24.
- [9] 马伟强, 侯根良, 苏勋家, 等. 玻璃纤维填充改性 PTFE 复合材料的摩擦磨损性能 [J]. 工程塑料应用, 2017, 45(9):33-37.
Ma Weiqiang, Hou Genliang, Su Xunjia, et al. Friction and wear properties of GF doped PTFE composites[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(9):33-37.
- [10] 卢军凯, 王之冰. 连续玻璃纤维增强聚氨酯复合材料的力学性能 [J]. 工程塑料应用, 2017, 45(3):31-35.
Lu Junkai, Wang Zhibing. Mechanical properties of continuous glass fiber reinforced polyurethane composites[J]. Engineering Plastics Application, 2017, 45(3):31-35.
- [11] 刘小祥, 刘翼, 安珈璇, 等. 连续长玻璃纤维 / 聚氨酯复合材料的制备与力学性能 [J]. 复合材料学报, 2019, 36(3):617-622.
Liu Xiaoxiang, Liu Yi, An Jiaxuan, et al. Preparation and mechanical properties of continuous long glass fiber / polyurethane composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2019, 36(3):617-622.
- [12] 陈海霞, 刘菲, 祁文军, 等. 玻璃纤维层合板拉-拉疲劳特性研究 [J]. 机械设计与制造, 2017(12):56-59.
Chen Haixia, Liu Fei, Qi Wenjun, et al. Research on the fatigue properties of glass fiber composite laminates[J]. Machinery Design & Manufacture, 2017(12):56-59.
- [13] 习年生, 于志成, 陶春虎. 纤维增强复合材料的损伤特征及失效分析方法 [J]. 航空材料学报, 2000(2):55-63.
Xi Niansheng, Yu Zhicheng, Tao Chunhu. Damage characterization and failure analysis in fiber reinforced composites[J]. Journal of Aeronautical Materials, 2000(2):55-63.
- [14] Tang Haibin, Chen Zhangxing, Zhou Guowei, et al. Effect of fiber orientation distribution on constant fatigue life diagram of chopped carbon fiber chip-reinforced sheet molding compound (SMC) composite[J]. International Journal of Fatigue, 2019, DOI:10.1016/j.ijfatigue.2019.04.016.
- [15] 曾帅, 贾智源, 侯博, 等. 碳纤维-玻璃纤维层内混杂单向增强环氧树脂复合材料拉伸性能 [J]. 复合材料学报, 2016, 33(2):297-303.
Zeng Shuai, Jia Zhiyuan, Hou Bo, et al. Tensile properties of unidirectional carbon fiber-glass fiber hybrid reinforced epoxy composites in layer[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2016, 33(2):297-303.