

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.06.014

细长变截面复合材料构件模压成型工艺设计

罗美兰, 高清

[航空工业成都飞机工业(集团)有限责任公司, 成都 610092]

摘要: 针对细长变截面中温固化环氧玻璃布预浸料 (3233 / EW180B) 复合材料构件模压成型工艺制备中表面出现的贫富树脂、铺层皱折、凹坑、凸起、积瘤、层间开裂等缺陷问题, 通过对构件的制造难点分析, 系统地研究并对细长变截面复材构件成型工艺中铺叠方案、组装方案进行设计, 以层间剪切强度和弯曲强度作为力学性能评价指标, 考察了模压成型温度、模压成型压力、模压成型时间对成型质量的影响。确定了 3233 / EW180B 预浸料的细长变截面复合材料构件成型工艺参数。成型工艺参数为: 成型压力 0.6 MPa、成型温度 120℃、成型时间 90~100 min, 在此工艺条件下制备的细长变截面复合材料构件层间剪切强度为 54.6 MPa、弯曲强度为 558.7 MPa。满足了细长变截面类复合材料构件的制造要求。

关键词: 中温固化环氧玻璃布预浸料; 细长变截面; 复合材料构件; 模压成型

中图分类号: V261.97 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)06-0065-05

Compression Molding Forming Process Design of Elongated Variable Section Composite Component

Luo Meilan, Gao Qing

[Aviation Industry Chengdu Aircraft Industrial (Group) Co. Ltd., Chengdu 610092, China]

Abstract : In view of the defects such as rich and poor resin, ply wrinkles, pits, bumps, bugs and delamination on the surface of medium temperature curing epoxy glass fabric prepreg (3233 / EW180B) composite component was made by compression molding, the difficulty of this component manufacturing were analyzed, and systematically were studied and the plan of overlay and assembly in the forming process of elongated variable section composite components was designed. By taking the interlaminar shear strength and bending strength as the evaluation indexes of kinetic performance, the effects of molding temperature, molding pressure and molding time on molding quality were investigated. The molding parameters of 3233 / EW180B prepreps were determined. The forming process parameters and mechanical performance are as follows: forming pressure of 0.6 MPa, forming temperature of 120℃, forming time of 90-100 min, interlaminar shear strength of 54.6 MPa, bending strength of 558.7 MPa. The manufacturing requirements of the elongated variable section composite materials are satisfied.

Keywords : medium temperature curing epoxy glass fabric prepreg ; elongated variable section ; composite component ; compression molding

中温固化环氧玻璃布 (3233 / EW180B) 预浸料制备的细长变截面复合材料构件是一种典型的热固性材料制件, 具有良好的力学性能、较好的耐热性以及优异的工艺性, 能确保飞机的气动外形, 为飞机上下翼面提供良好的过渡连接, 现已被应用于飞机翼面部件的后缘位置最薄处, 作为蒙皮的支撑。但是

由于此复合材料构件内外型面均为变截面结构, 成型时表面易出现贫富树脂、铺层皱折、凹坑、凸起、积瘤、层间开裂等问题, 加之其尺寸精度要求高, 其成型难点已成为制约推广应用的瓶颈问题。

复合材料构件的成型工艺主要有热压罐成型、模压成型、缠绕成型、树脂传递模塑 (RTM) 等方法,

通讯作者: 罗美兰, 硕士, 工程师, 主要从事树脂基复合材料构件方面的研究 E-mail: 1793721894@qq.com

收稿日期: 2018-03-16

引用格式: 罗美兰, 高清. 细长变截面复合材料构件模压成型工艺设计 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(6):65-69.

Luo Meilan, Gao Qing. Compression molding forming process design of elongated variable section composite component[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(6):65-69.

而目前手工铺层+热压罐固化和模压成型仍然是国内航空航天领域复合材料构件生产最重要的两种工艺方法。对于细长变截面的 3233/EW180B 复合材料构件,表面尺寸精度要求高,需要采用模压成型的工艺方法制备。针对复合材料构件模压成型,文献[1-7]分析了影响模压成型工艺质量的主要因素,文献[8]分析了模压成型工艺中加压点的优化选择,文献[9]建立了非稳态温度场与固化动力学数学模型。文献[10]着重研究了模压成型模具的数字化设计制造技术。因模压时工作压力较大,且需保持一段时间,制品在成型过程中可能产生较大应力,甚至出现材料纤维断裂、层间开裂等典型破坏形式^[11-15],且国内目前公开的关于细长变截面 3233/EW180B 复合材料构件模压成型的研究文献资料较少,相应的工艺成型方法无处借鉴,故细长变截面复合材料构件模压成型工艺的研究迫在眉睫。

笔者以细长变截面 3233/EW180B 复合材料构件为研究对象,从构件的制造难点、铺叠方案、组装技术等方面着手展开研究,并探讨了加热温度、保温时间、保压压力这 3 个模压工艺参数对 3233/EW180B 复合材料构件成型质量的影响,得出最优模压制备工艺参数,获得最高构件力学性能。

1 复合材料构件结构特点及成型难点分析

1.1 结构特点

复合材料构件尺寸:2800 mm×51 mm×(1.2~10) mm,长宽比约为 50:1,属于细长变截面结构,其局部示意图如图 1 所示。该复合材料构件厚度尺寸变化急剧,从 10 mm 减小至 1.2 mm,形成台阶和锐角,且厚度尺寸公差严格,仅为 ±5%,其外形难以控制,故研制过程中存在诸多制造难点。

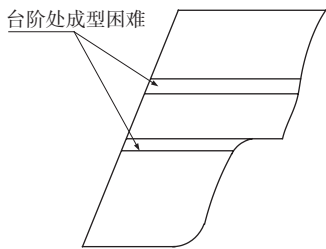


图 1 细长变截面复合材料构件局部示意图

1.2 成型难点

(1) 构件的外形复杂(如图 1),内外型面均为变厚度截面,按照理论厚度设计的铺层铺覆成型后,制件表面出现贫胶、富胶和层间开裂等缺陷,需要研究出所需铺覆的合适填料量。

(2) 构件型面为双曲面,激光定位投影存在误差,加之模具制造时的误差累积,给构件的尺寸精度控制带来困难。

(3) 构件在铺叠过程中,由于倒角过于尖锐,预浸料在真空加压过程中易架桥,在保证预浸料不被切断的前提下,无论是预抽还是用铝片进行预压实,都无法完全填实。

2 铺叠、组装方案设计

鉴于细长变截面 3233/EW180B 复合材料构件的结构特点和制造的难点,需制定构件的模压成型工艺流程和设计成型的铺叠、组装方案,提高构件模压成型的质量。

根据细长变截面的结构特点和成型的难点分析,制定整个模压成型复合材料构件的工艺流程,其示意图如图 2 所示。

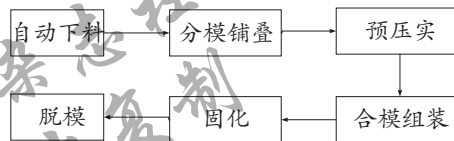


图 2 复合材料构件模压成型工艺流程

2.1 铺叠方案的设计

对于变截面的复合材料构件,模具贴模面的处理和大小铺层的铺覆顺序直接影响构件的表面质量。模具贴模面可刷脱模剂或贴一层带胶脱模布,铺层的顺序可依次铺覆大小铺层或从小铺层铺至大铺层,经试验摸索确定:

(1) 在模具贴模面铺贴一层带胶脱模布,脱模布在原模具尖锐的 R 角处会自然形成小 R ,再加之胶液在脱模布上的流动性好于胶液在涂抹脱模剂后工装表面的流动性,固化时 R 角可被填实。

(2) 为保证预浸料成型后的表面质量,对铺叠方案进行比较,如表 1 所示。铺叠时,用激光投影仪投出铺层的轮廓位置。第一层、第二层铺全铺层,第一层铺完后抽真空压实,以保证零件表面质量,第三层开始按从小铺层到大铺层的顺序铺覆,预压实 12 h 后再组装进罐。

表 1 铺叠方案对比

方案	铺叠方法	质量情况
铺叠方案 1	按铺层设计的顺序,进行铺叠 先铺小铺层,再铺全铺层	构件贴模面局部小铺层有未能施加压力情况,表面局部缺胶
铺叠方案 2	先铺叠两层全铺层,再从小铺层到大铺层的顺序进行铺叠	构件表面质量和内部质量均满足设计要求

2.2 台阶处锐角的补偿

台阶处两个面尺寸变化急剧形成锐角 R ,3233

/EW180B 玻璃纤维预浸料固化时,树脂在贴模面流动性较差,出现严重贫胶的现象,加之该复合材料构件的铺层设计与工艺实施方案密切相关,且构件是细长变截面结构,难以从理论角度设计铺层,需要根据实际工况确定铺叠方案,填料多则模具合模后上下模出现对缝间隙,真空压力不能通过模具传递到构件,造成构件局部不能被完全压实,层间出现分裂缺陷,填料少则构件固化后台阶处锐角 R 将出现贫胶缺陷。经试验摸索,铺叠时,需首先在贴模面铺叠一层全铺层,然后在台阶处分别铺叠一层宽度 16 mm 和 13 mm 的预浸料填料对锐角 R 进行补偿,台阶处填料补偿示意图如图 3 所示。固化成型后台阶处无贫胶现象。

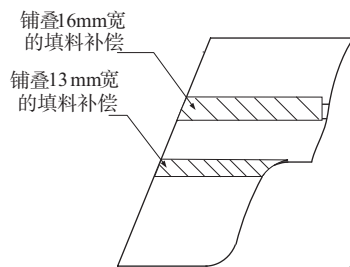


图3 台阶处填料补偿示意图

2.3 组装方案的设计

(1) 脱模用挡条材料的选用及放置方法

在构件厚度均匀的余量边局部安放长度 20 mm、宽度 2 mm 的未硫化 AIRPAD 挡条,如图 4 所示。未硫化的挡条挡胶效果好、流动性强、可压缩性好,缺点是在去除挡条时容易造成纤维撕裂,且挡条难清理干净。硫化过的挡条可压缩性差,对于此构件结构形式的对合模模具,必须考虑合模加压后的效果,如选用硫化的挡条,挡条放置的高度影响构件成型的表面质量,坯料固化后高度压缩,挡条高出坯料,对合模被挡条垫高,上下模铺贴的坯料未接触,压力仅能施加在挡条上,构件内部和表面都将产生故障,故选择未硫化的挡条,高度与坯料齐平即可。

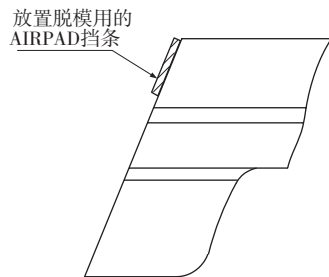


图4 放置 AIRPAD 挡条组装

(2) 合模组装技术。

模具合模时,合模速度不能太快,以便排除内部的小分子气体。合模组装后留 3 ~ 5 mm 间隙,使用脱模布在合模对缝处铺贴平整,避免真空袋吸入模体内腔,造成破袋,最后在合模对缝处放置透气毡完全覆盖对缝缝隙即可。

3 模压工艺参数对复合材料构件力学性能和表面质量的影响

依据固化后零件的表观质量、力学性能来表征 3233 /EW180B 复合材料构件固化后的质量。其中表观质量主要看构件内外表面有无明显的贫富树脂、铺层皱折、凹坑、凸起、积瘤、层间开裂现象。力学性能是表征质量的一个重要参数,弯曲强度按 ASTM D 790-2010 进行测试,层间剪切强度按 ASTM D 2344-2006 进行测试。

3.1 模压成型温度对复合材料构件力学性能和表面质量的影响

为研究成型工艺温度对复合材料构件成型温度和对固化后构件质量的影响,在 110, 120, 130℃ 成型温度下进行试验,不同温度下制备的复合材料构件表面质量不同。

表 2 是不同成型温度的构件固化后力学性能和表面质量。由表 2 及试验过程可以看出,在 110℃ 成型时,零件台阶处有明显的贫胶现象,且层间出现开裂,但随着成型温度的提高,120℃ 成型时台阶处表面光滑,无贫富胶现象,构件的物理性能和力学性能明显提高。但是温度高至 130℃ 时,构件出现变形,原因是温度过高,预浸料由于固化速度太快其流动性迅速降低而引起充模不满,温度过高时构件外层固化比内层固化快得多,致使内层挥发物难以排除,反而使构件力学性能降低。

表 2 不同温度成型的构件的力学性能和表面质量

成型温度 /℃	弯曲强度 /MPa	层间剪切强度 /MPa	表面质量
110	525.6	51.2	贫富树脂、铺层皱折、凹坑、凸起、积瘤、层间开裂
120	558.7	54.6	表面光滑
130	483.1	48.7	表面光滑

3.2 模压成型压力对复合材料构件力学性能和表面质量的影响

表 3 为不同成型压力的制得的构件的力学性能和表面质量。从表 3 可以看出,成型压力对模压成型复合材料构件力学性能影响很大,随着压力的增大呈先升高后下降趋势,且成型压力在 0.6 MPa 时力学性能表现最佳。增大模压加速预浸料在模腔内流动,增加密度,克服树脂基体缩聚反应时放出的低

分子物产生的压力,构件表面光滑、无层间开裂等现象,同时模压压力也可使工装模具闭合,紧密降低材料的孔隙率,但压力过大,会导致纤维结构破坏和熔融树脂外溢,造成力学性能下降,构件表面出现贫胶现象。

表3 不同成型压力的构件的力学性能和表面质量

成型压力 / MPa	弯曲强度 / MPa	层间剪切强度 / MPa	表面质量
0.5	510.1	49.8	贫富树脂、铺层皱折、凹坑、凸起、积瘤、层间开裂
0.6	558.7	54.6	表面光滑
0.7	487.6	47.6	贫富树脂、铺层皱折、凹坑、凸起、积瘤、层间开裂

3.3 模压成型时间对复合材料构件力学性能和表面质量的影响

表4为不同模压成型时间制得的复合材料构件的力学性能和表面质量。从表4可以看出,模压成型时间的长短对构件性能影响很大,随着成型时间的延长,构件的力学性能呈先升后降的趋势,表面质量呈先好后差的现象,其主要原因是模压时间太短,固化不完全,构件物理和力学性能低,表面粗糙度差、构件易出现变形。模压时间增加可降低构件收缩率和变形,但模压时间过长,树脂交联过度,树脂出现老化,构件内应力会增加,因此适当的模压时间为100 min左右。

表4 不同模压成型时间的构件的力学性能和表面质量

成型时间 / min	弯曲强度 / MPa	层间剪切强度 / MPa	表面质量
80	520.2	48.5	贫富树脂、铺层皱折、凹坑、凸起、层间开裂等
100	558.7	54.6	表面光滑
120	490.2	49.1	贫富树脂、铺层皱折

3.4 模压成型工艺参数的确定

通过制备3233/EW180B预浸料试验件,经过充分的工艺试验,检测层间剪切强度和弯曲强度两项力学性能评价指标,得出细长变截面结构的复合材料构件模压成型工艺固化参数,见表5。

表5 固化工艺参数

项目	工艺参数
成型压力 / MPa	0.6
成型温度 / °C	120
成型时间 / min	90 ~ 100

4 结论

针对3233/EW180B预浸料细长变截面的结构特点,研究了细长变截面3233/EW180B复合材料构件的成型工艺技术,通过对铺叠和组装方案的设计,成功探索出细长变截面3233/EW180B玻璃纤维预浸料的复合材料构件模压成型工艺,成

型压力为0.6 MPa,成型温度是120 °C,成型时间是90~100 min。经过试验摸索确定后的复合材料构件制造技术和质量控制技术稳定。该研究为类似结构相同材料的复合材料构件模压成型提供了有效的工艺方法参考依据。

参考文献

- [1] 顾轶卓,李敏,李艳霞,等. 飞行器结构用复合材料制造技术与工艺理论进展[J]. 航空学报,2015,36(8):2 773-2 797.
Gu Yizhuo, Li Min, Li Yanxia, et al. Progress on manufacturing technology and process theory of aircraft composite structure[J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2015, 36(8):2 773-2 797.
- [2] 徐英凯,朱姝,袁象恺,等. 纺织结构碳纤维增强尼龙6(CFF/PA6)复合材料的模压成型工艺[J]. 塑料工业,2015,43(7):48-51.
Xu Yingkai, Zhu Shu, Yuan Xiangkai, et al. Compression molding processing of carbon fiber fabric reinforced nylon6 (CFF / PA6) composites[J]. China Plastic Industry, 2015, 43(7):48-51.
- [3] Shen Hongwang, He Lei, Fan Chunhua, et al. Improving the integration of HDPE / UHMWPE blends by high temperature melting and subsequent shear[J]. Mater Lett, 2015, 138:247-250.
- [4] 唐荣华,杨旭静,郑娟. 长玻璃纤维增强聚丙烯复合材料热模压成型工艺的研究[J]. 玻璃钢/复合材料,2016(8):62-67.
Tang Ronghua, Yang Xujing, Zheng Juan. Research of hot molding press on long glass fiber reinforced polypropylene composite[J]. Fiber Reinforced Plastics / Composites, 2016(8):62-67.
- [5] Mozaffari S M, Beheshty M H, Mirabedini S M. Microencapsulation of 1-menthylimidazole using solid epoxy resin: Study on microcapsule residence time and properties of the system[J]. Iranian Polymer Journal, 2016, 25(4):385-394.
- [6] 吴海,肖加余,荆素丽,等. 耐高温缩水甘油胺型环氧树脂的化学流变特性[J]. 复合材料学报,2016,33(4):741-748.
Wu Hai, Xiao Jiayu, Xing Suli, et al. Chemorheological characteristics of high-temperature resistant glycidyl amine type epoxy[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2016, 33(4):741-748.
- [7] 陈晓明,郑林,赵瑛. HTPB推进剂模压成型工艺探索[J]. 固体火箭技术,2013(6):795-798.
Cheng Xiaoming, Zheng Lin, Zhao Ying. Research of molding press on HTPB propellant[J]. Journal of Solid Rocket Technology, 2013(6):795-798.
- [8] 杨涛,申艳娇,杨素君,等. 预浸带铺放过程温度场动态仿真与实验研究[J]. 固体火箭技术,2015,38(3):410-414.
Yang Tao, Shen Yanjiao, Yang Sujun, et al. Dynamic finite element simulation and experimental study on heat transfer in prepreg placement process[J]. Journal of Solid Rocket Technology, 2015, 38(3):410-414.
- [9] 宋清华,肖军,文立伟,等. 模压工艺对玻璃纤维增强聚丙烯复合材料层合板力学性能的影响[J]. 复合材料学报,2016,

- 33(12):2 740-2 748.
- Song Qinghua, Xiao Jun, Wen Liwei, et al. Influence of molding press on mechanical properties of glass fiber reinforced polypropylene composite laminates[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2016, 33(12):2 740-2 748.
- [10] Lyu M Y, Choi T G. Research trends in polymer materials for use in lightweight vehicles[J]. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2015, 16(1):213-220.
- [11] 左龙彦, 田杰, 诸静, 等. 复合材料异型构件成型技术 [J]. 宇航材料工艺, 2015(2):77-79.
- Zuo Longyan, Tian Jie, Zhu Jing, et al. Forming technology of special-shaped component[J]. Aerospace Materials & Technology, 2015(2):77-79.
- [12] 江青松, 柳和生. 长纤维增强聚合物注塑纤维长度分布三维数值模拟 [J]. 玻璃钢 / 复合材料, 2016(10):32-37.
- Jiang Qingsong, Liu Hesheng. Three-dimensional numerical simulation on the fiber length distribution in injection molding of long fiber reinforced polymer[J]. Fiber Reinforced Plastics / Composites, 2016(10):32-37.
- [13] 高红成, 黄其忠, 马帅, 等. 温度载荷对复合材料热力学性能的影响 [J]. 玻璃钢 / 复合材料, 2016(10):42-49.
- Gao Hongcheng, Huang Qizhong, Ma Shuai, et al. The Influence on the thermodynamics properties of composites[J]. Fiber Reinforced Plastics / Composites, 2016(10):42-49.
- [14] 胡章平. 长玻纤维增强聚丙烯复合材料模压成型工艺的研究 [D]. 长沙: 湖南大学, 2015.
- Hu Zhangping. Research of molding press on long glass fiber reinforced polypropylene composite[D]. Changsha: Hunan University, 2015.
- [15] 赵伟, 朱波, 施正堂, 等. C/C-SiC 复合材料模压成型工艺与性能研究 [J]. 功能材料, 2015(zl):152-155.
- Zhao Wei, Zhu Bo, Shi Zhengtang, et al. Study on moulding process and properties of C / C-SiC composites[J]. Journal of Functional Materials, 2015(zl):152-155.

欢迎订阅 2018 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

也可直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社订阅《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘, 请注明订阅期刊 / 光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物, 月刊, 大 16 开本, 每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊, 是中国合成树脂供销协会会刊, 荣获首届、第二届、第三届国家期刊奖等多项国家、省部级优秀期刊奖, 入选美国化学文摘 (CA) 千种表。2018 年定价 15 元 / 期, 全年 180 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存, 如需订阅, 请联系杂志社。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物, 双月刊, 大 16 开本, 单月 20 日出版。本刊为中国科技核心期刊, 荣获多项省部级优秀期刊奖, 入选美国化学文摘 (CA) 千种表。2018 年定价 15 元 / 期, 全年 90 元。目前杂志社尚有部分 2000 年以来的单册和合订本库存, 如需订阅, 请联系杂志社。

《工程塑料应用》、《化学分析计量》合订本光盘 杂志社已将《工程塑料应用》自创刊号 (1973 年) 至 2017 年底共 45 卷 338 期的期刊电子化, 并制成合订本光盘, 现公开发售; 同时也将《化学分析计量》自创刊号 (1992 年) 至 2017 年底

共 26 卷 121 期的期刊电子化, 并制成合订本光盘, 现公开发售。合订本光盘既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅各期刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文, 又可根据读者自定义的关键词进行全文检索, 非常方便、实用。《工程塑料应用》合订本光盘优惠售价 550 元;《化学分析计量》合订本光盘优惠售价 250 元。

邮局汇款:

收款地址: 济南市天桥区田庄东路 3 号

收款单位: 《工程塑料应用》杂志社

邮编: 250031

电话: (0531)85878223 85878057 85878278

传真: (0531)85947355

银行汇款:

户 名: 山东非金属材料研究所

开户银行: 济南市工商银行经十一路支行

账 号: 1602001229014425546

网上订阅: <http://www.epa1973.com>