

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.03.017

耐压夹芯复合板制备工艺

谢绍祥,王虎,郑永,金盼盼,黄河,王红丽

(株洲时代新材料科技股份有限公司,湖南株洲 412007)

摘要:介绍了一种耐压夹芯复合板的穿纱及树脂传递模塑(RTM)制备方法,选用橡胶为芯材,复合材料为蒙皮,通过RTM成型方法制备,研究了穿纱工艺及RTM工艺参数对制品的影响。结果表明,通过穿纱增强的RTM成型制品不仅外观质量良好,且具有优异的界面粘结性能,实现了承载吸声结构功能一体化设计,适用于深水压力环境。

关键词:树脂传递模塑工艺;穿纱;橡胶;夹芯复合板;吸声

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2017)03-0078-04

Preparation Process of Load Bearing Sandwich Composite

Xie Shaoxiang, Wang Hu, Zheng Yong, Jin Panpan, Huang He, Wang Hongli

(Zhuzhou Times New Materials Technology Co. Ltd., Zhuzhou 412007, China)

Abstract : A kind of yarn threading and resin transfer molding (RTM) forming process of sandwich composite were introduced. The sandwich composite with rubber as core, composite as covering was obtained by RTM technology. The effects of yarn threading and RTM forming process parameters on the product were studied. The results show that the RTM product formed by the yarn is not only of good quality, and excellent interfacial bonding property, which realizes the integrated design of the structure of the load absorbing structure, and is suitable for deep water pressure environment.

Keywords : resin transfer molding process ; yarn threading ; rubber ; sandwich composite ; sound absorbing

目前关于夹芯复合材料在潜艇结构中的应用情况及相关性能报道较少,其中,德国海军潜艇结构中复合材料的应用最为广泛也最具有代表性。复合材料在德国海军潜艇结构中成功应用已有34年的历史了,应用的部位也由最初的舵、稳定翼等附属结构发展到潜艇上层建筑和非耐压壳体等主船体结构^[1-2]。国内最早研究的是复合材料声纳导流罩,达到了很好的透声效果。徐尚仁等^[3]在钢板上粘贴吸声橡胶,外加玻璃钢保护层,总厚度为14 mm,成功应用在尾翼上,缺点是隐身效果有限,工艺复杂,结构整体性差。鲁先孝^[4]公布了一种厚度方向增强的水下吸声夹芯复合材料,通过真空灌注工艺成型制备,重点介绍了一种吸声环氧芯材夹芯板的制备方法,虽然提到橡胶作为吸声芯材,但未对橡胶与复合材料蒙皮的界面粘接性能进行研究,而且真空灌注成型压力较低,制备的产品在深水大压力下存在渗水的可能,容易腐蚀吸声芯材。

纤维复合材料或三明治夹芯复合材料在潜艇结构中的应用逐年增加,复合材料主要是起到减轻质量、防止腐蚀、降低振动辐射噪声和磁隐身等作用^[5-7]。而利用复合材料的透声性能与吸声夹芯组

成夹芯结构吸收入射的声纳波,可以替代现有消声瓦结构,必将成为未来水下声隐身结构的发展趋势^[8-10]。笔者采用自制的改性橡胶作为吸声芯材,并在芯材内部引入吸声空腔结构,通过采用RTM工艺在一定的成型压力下制备出夹芯复合板。制备的产品整体性好,实现了承载吸声结构功能一体化设计。该制品的研制将对未来水下隐身结构的发展起一定的推动作用。

1 耐压夹芯复合板成型制备

1.1 原材料

玻璃纤维(GF)斜纹布:面密度300 g/m²,常州宏发纵横新材料科技股份有限公司;

环氧树脂:860H/866E,陶氏化学公司;

改性吸声橡胶:自制。

1.2 设备

轻质树脂传递模塑(RTM)注塑机:Spartan型,厦门宥德材料科技有限公司;

四柱液压机:YQ32-315型,滕州宏冠锻压机械有限公司;

联系人:谢绍祥,硕士,工程师,复合材料的工艺研究

收稿日期:2016-12-17

多功能手枪钻:TSB5500型,博世电动工具公司;

电热恒温干燥箱:DY881-TG型,吴江东远电热器头厂。

1.3 试样制备

选用GF斜纹布作为增强材料,EP为基体材料,制备蒙皮材料,改性吸声橡胶作为芯层材料。

制备的蒙皮材料、芯层材料的力学性能及吸声芯材性能如表1、表2所示。

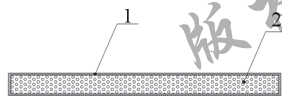
表1 蒙皮材料力学性能

试验项目	纤维方向	试验结果
拉伸强度/MPa	90°或0°	423
拉伸弹性模量/GPa	90°或0°	23.7
弯曲强度/MPa	90°或0°	536
弯曲弹性模量/GPa	90°或0°	20.2
压缩强度/MPa	90°或0°	322
层间剪切强度/MPa	90°或0°	59.7
冲击强度/(J·m ⁻²)	缺口方向与布层平行	29
	缺口方向与布层垂直	10
损耗因子		最小值0.021

表2 芯层材料力学性能

试验项目	试验结果
拉伸强度/MPa	12.3
压缩弹性模量/MPa	10.67

夹芯复合材料板是由面层和声学耐压橡胶板组成的三明治结构材料板。具体结构如图1所示。



1—面层(玻璃钢蒙皮);2—声学耐压橡胶板

图1 夹芯复合材料板结构示意图

制备过程主要包括以下2个部分:夹芯预制件的制备,RTM树脂注射及固化。工艺流程图如图2所示。

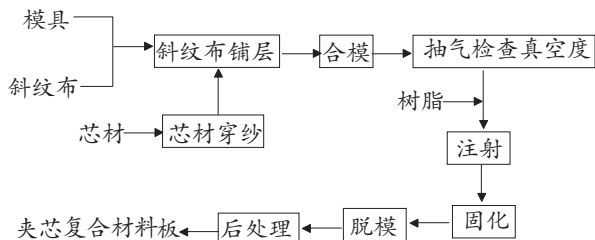


图2 夹芯复合材料工艺流程图

(1) 夹芯预制件的制备。

芯材打孔:芯材固定于打孔工装内,使用带钻花手动电钻对芯材进行钻孔。

芯材穿纱与缝合:将预先裁剪好的斜纹布,逐层铺放和包覆芯材,接口进行对接和缝合处理,层与

层之间接口错开;包覆完成后,用穿有高强纱线的缝合针一次穿过钻孔进行穿纱缝合。

芯材预成型体铺放:确保四方形的侧面纤维层铺放秩序稳定的条件下,将芯材预成型体铺放入模具中,压平整。

(2) RTM树脂注射及固化。

按树脂与固化剂质量配比为100:28在RTM注塑机上设置好树脂/固化剂比例参数。

树脂注射:开启RTM注塑机,设置合适的注塑压力及注射量开始浇注,出胶一定时间后停止注射,并密封浇注口。

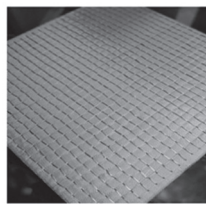
固化:注射完成后,依据固化制度进行固化。

脱模:模具冷却至室温,连接设置的气口,采用气脱模进行脱模。

2 结果与讨论

2.1 预制件成型工艺

预成型技术是RTM工艺的一个重要环节,尤其对质量要求高、性能稳定、结构复杂的复合材料制品来说该技术尤为重要。预制件的制备直接影响最终制品的声学 and 力学性能。夹芯预制件的制备分为两个步骤:一是芯材的钻孔,二是夹芯预制件的穿纱缝合。夹芯预制件的穿纱缝合是指采用穿刺缝合的方法将斜纹布和带孔芯材缝合成一整体,制成夹芯预制件,斜纹布对芯材形成全包覆,保证产品的整体密封性。穿纱示意图如图3所示。



1—GF斜纹布;2—吸声芯材;3—穿纱缝合线

图3 穿纱示意图

夹芯预制件穿纱缝合作用是提高制品芯层与蒙皮层之间的粘结强度,但芯材打孔可能会影响制品的声学性能,因此,需要对孔径、孔密度、孔分布、缝合线等参数进行优化设计,以保证既满足声学性能的要求,又满足粘结强度的要求。综合考虑声学及力学性能要求,芯材孔径定为3~5mm,孔间距10~20mm,钻孔时保证孔垂直于芯材平面。不穿纱与穿纱情况下最终制备的制件粘结强度的对比数据见表3、表4。

不穿纱与穿纱粘合后制件的拉拔破坏照片见

图4、图5。

表3 不穿纱制件的粘结强度

试样序号	粘结强度 /MPa
1	2.72
2	2.81
3	2.64
4	2.74
平均	2.72

表4 穿纱制件的粘结强度

试样序号	粘结强度 /MPa	纱间距 /mm	穿纱层厚度 /mm
1	5.81	10	4
2	7.04	10	4
3	6.89	10	4
4	7.05	10	4
平均	6.7		



图4 不穿纱粘合制件的拉拔破坏照片



图5 穿纱后粘合制件的拉拔破坏照片

对比表3、表4,以及图4、图5可知,穿纱后蒙皮与芯层的粘结强度得到很大的提高,不穿纱的制件断裂发生在蒙皮与橡胶的粘合面,这主要是因为环氧树脂与橡胶基体的差异性,两者匹配性不佳。穿纱后,断裂发生在穿纱纤维层与未穿纱纤维层之间,断裂面黑点是穿纱加强筋被拔断,受到拉伸作用力时,穿纱增强筋能够承受一定的拉力,这说明穿纱增强筋能够起到很好的增强作用。此外,穿纱不仅能够加强蒙皮与芯层的粘合强度,还能提高夹芯复合板的耐压强度。

2.2 RTM 树脂注射及固化工艺

RTM 工艺控制决定制品表现是否平整光滑,整体力学性能是否满足指标要求。通过不断探索工艺,改进模具设计,调整合适的注塑压力、注射速度、树脂黏度、真空辅助等,保证制备的制品满足要求。

(1) 模具设计优化。

RTM 模具直接关系到制品的表观质量,浇注口

及出胶口的设计决定纤维的浸胶质量,气泡的排除彻底。通过对模具的优化改进,于进胶口与出胶口设置插板,保证预制件浸胶充分。

图6、图7为改进前模具与改进后模具,以及对应制备的制品外观图。

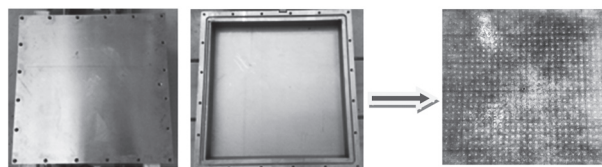


图6 改进前模具及对应制品外观图

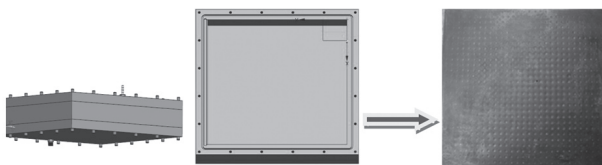


图7 改进后模具及对应制品外观图

改进前后最大的区别是在模具浇注口与出胶端增加了浇注端插板和出胶端挡板,由于产品具有一定的厚度,从一端进胶,另一端出胶。如果不加挡板,这样浇注或者出胶就不是从制品厚度方向的中间开始浸润纤维,这就造成一部分纤维先完成浸润,而另一部分后完成,影响纤维中气体的顺利排出,导致制品表面出现白斑或者气泡。模具改进后大大改善了制品的表观质量及综合性能。

(2) 树脂注射工艺优化。

RTM 注塑压力对于排除纤维内气泡至关重要,注塑压力过大,树脂流动过快,纤维不能浸润完全,注塑压力过小,纤维流动困难,探索出合适的注塑压力对于制品质量非常关键。

通过多次试制,采用分段增压的注射技术,能够保证气泡充分排出。将注塑压力设置为0.1 MPa,开启RTM 注塑机,将前5枪树脂胶液打入废液桶;然后将RTM 注塑机枪口与模具浇注口连接,开启真空泵,开始浇注,保持0.1 MPa 注塑压力注射数枪;将注塑压力调至0.2 MPa,注射数枪;停止抽真空,将出胶口与大气相通,将注塑压力调至0.3 MPa,注射数枪;最后将注塑压力调至0.5 MPa,注射数枪,停止注射,密封浇注口。

(3) 固化工艺优化。

由于橡胶与玻璃钢的热膨胀系数不一致,固化后易产生收缩应力。收缩应力通过穿纱增强筋拉伤穿纱层与外包覆层,导致纤维分层,出现白斑。图8为改进固化工艺前制品外观图。

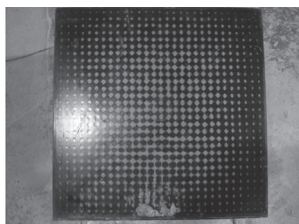


图8 改进固化工艺前制品外观图

按照树脂的固化制度为 70℃ 固化 7 h, 通过不断的试制, 摸索总结出合适复合板的固化工艺即: 注射完成后, 室温下静置 12 h, 将模具放入模压机工作面, 平放, 设置模压机压力为 5 MPa, 设置固化温度为 80℃, 加热固化 8 h, 模具周边采用保温棉保温, 压机下自然冷却至室温, 脱模。图 9 为改进固化工艺后制品外观图。与改进前相比, 穿纱处白斑消失, 纤维层未发生拉伤脱层破坏。

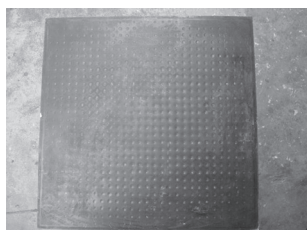


图9 改进固化工艺后制品外观图

2.3 制品性能

表 5 为客户对夹芯复合板所做测试的各项性能要求, 测试结果均满足指标要求。

表 5 夹芯复合板性能测试结果

项目	试验结果	
	数据	判定
夹芯复合材料声管性能 (吸声系数)	0.7	满足要求
夹芯结构回波性能 / db	6	满足要求
夹芯复合材料表观密度 / (g · cm ⁻³)	1.3	满足要求
夹芯复合材料耐久性 / mm	0.853	满足要求
夹芯复合材料弯曲刚度 / (N · mm ⁻²)	1.4 × 10 ⁸	满足要求
夹芯复合材料干湿交变试验后 弯曲刚度 / (N · mm ⁻²)	1.6 × 10 ⁸	满足要求
夹芯复合材料承受循环水压试验 弯曲刚度 / (N · mm ⁻²)	1.28 × 10 ⁸	满足要求
夹芯复合材料承受静水压 24 h 试验 弯曲刚度 / (N · mm ⁻²)	1.29 × 10 ⁸	满足要求
48 h 静水压试验吸水率 / %	< 2	满足要求

3 结论

(1) 通过穿纱制备夹芯预制件, 采用真空辅助 RTM 工艺实现橡胶夹芯复合材料板的制备, 能充分保障蒙皮层间、蒙皮与夹芯间的粘结性能, 制件整体性能良好, 工艺简单, 操作方便, 质量可控。

(2) 在模具进、出胶口设置挡板可改善制件表面质量及综合性能。制备过程表明, 浇注、出胶流道设计合理, 制品外观、尺寸、质量良好。

(3) 夹芯复合板各型材料选择恰当, 工艺可行,

制品性能满足要求。

参考文献

- [1] Mouritza P, Gellert E, Burch I P, et al Review of advanced composite structures of naval ships and submarines[J]. Composite Structures, 2001, 53(1):21-42.
- [2] 王勇, 鲁克明, 余广平, 等. 国外潜艇声隐身技术的现状及发展方向 [J]. 舰船电子工程, 2010, 30(1):1-4.
Wang Yong, Lu Keming, Yu Guangping, et al. A present situation and development of noise control for submarines abroad[J]. Ship Electronic Engineering, 2010, 30(1):1-4.
- [3] 徐尚仁. 潜艇指挥室围壳和尾翼的降噪声隐身 [C] // 第八届全国船舶水下噪声学术讨论会论文集. 温州: 中国造船工程学会, 2001.
Xu Shangren. The noise reduction of submarine command room surround and tail[C] // Proceedings of the eighth national symposium on the ship underwater noise. Wenzhou: China Shipbuilding Engineering Society, 2001.
- [4] 鲁先孝. Z 向增强水下吸声夹芯复合材料及其制备方法: CN, 201210368665[P], 2013-02-13.
Lu Xianxiao. Z-direction enhanced underwater sound - absorbing sandwich composite material and method of preparation: CN, 201210368665[P], 2013-02-13.
- [5] 朱锡, 石勇, 梅志远. 夹芯复合材料在潜艇声隐身结构中的应用及其相关技术研究 [J]. 中国舰船研究, 2007(3):34-39.
Zhu Xi, Shi Yong, Mei Zhiyuan. Laminated compound and technologies in the development of acoustic stealth structure in submarine[J]. Chinese Journal of Ship Research, 2007(3):34-39.
- [6] 韦璇, 马玉璞, 孙社营. 舰船声隐身技术和材料的发展现状与展望 [J]. 舰船科学技术, 2006(6): 22-27.
Wei Xuan, Ma Yupu, Sun Sheying. The present status and prospect of acoustic stealth techniques and materials on warships[J]. Ship Science and Technology, 2006(6): 22-27.
- [7] 何琳. 潜艇声隐身技术进展 [J]. 舰船科学技术, 2006 (Z2):9-17.
He Lin. Development of submarine acoustic stealth technology[J]. Ship Science And Technology, 2006(Z2): 9-17.
- [8] 罗忠, 朱锡, 梅志远, 等. 基于背衬影响的水下声隐身夹芯复合材料结构设计 [J]. 海军工程大学学报, 2008(4): 97-102
Luo Zhong, Zhu Xi, Mei Zhiyuan, et al. Structural design on underwater acoustic stealth sandwich composite based on effect of backing[J]. Journal of Naval University of Engineering, 2008(4): 97-102.
- [9] 李涛, 高兴, 商伟辉, 等. 船舶用复合材料的性能研究 [J]. 玻璃钢 / 复合材料, 2011(2): 32-35.
Li Tao, Gao Xing, Shang Weihui, et al. Research on the properties of marine composites[J]. Fiber Reinforced Plastics / Composites. 2011(2): 32-35.
- [10] 朱锡, 石勇, 李永清, 等. 夹层复合材料舵结构设计与声隐身性能的研究 [J]. 武汉理工大学学报, 2008, 30(9):36-39.
Zhu Xi, Shi Yong, Li Yongqing, et al. Structure design and sound stealth property test on sandwich composites rudder[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2008, 30(9):36-39.