

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.07.014

水溶性轻质砂芯模性能与应用

刘天涛,刘新东,杨兰华,陈克锋

(西安航天复合材料研究所,西安 710025)

摘要:以聚乙烯醇(PVAL)水溶液作为基体材料,以模型砂为增强材料,经过热烘干工艺制作了一种水溶性砂芯模材料,着重对水溶性轻质砂芯模的制备工艺特点、力学性能和水溶性进行研究,并将所制得的水溶性轻质砂芯模成功用于树脂基复合材料结构件的制造中。结果表明,水溶性轻质砂芯模较纯砂芯模(1.60 g/cm^3)轻24%,比金属模具的钢材密度(7.85 g/cm^3)轻84.5%;水溶性轻质砂芯模的压缩强度随着温度的升高而降低,当温度为 150°C 时,轻质砂芯模的压缩强度为 4.09 MPa ;水溶性轻质砂芯模的各项性能满足复合材料结构件制造的要求。

关键词:水溶性轻质砂芯模;力学性能;成型工艺;应用

中图分类号: TQ325.9 文献标识码: A 文章编号: 1001-3539(2017)07-0069-04

Application and Properties of Water Soluble Lightweight Sand Core Mould

Liu Tiantao, Liu Xindong, Yang Lanhua, Chen Kefeng

(Xi'an Aerospace Composites Research Institute, Xi'an 710025, China)

Abstract : Using aqueous solution of polyvinyl alcohol (PVAL) as matrix material, model sand as the reinforced material, a kind of water soluble core material that was used to mold a composite case through drying process at high temperature was produced. The preparation process characteristics, mechanical properties and water solubility of water soluble lightweight sand core mould were studied. The water soluble lightweight sand core mould was successfully used to manufacture a composite structure with a typical features. The results show that the water soluble lightweight sand core mould is lighter than sand core mould (1.60 g/cm^3) 24%, lighter than steel density of metal mould (7.85 g/cm^3) 84.5%. The compressive strength of water soluble lightweight sand core mould decreases with the increase of temperature. When the temperature is 150°C , the compressive strength of the water soluble lightweight sand core mould is 4.09 MPa . The properties of the water soluble lightweight sand core mould meet the need of composite moulding.

Keywords : water soluble lightweight sand core mold ; mechanical property ; molding technology ; application

纤维复合材料与传统金属材料相比具有许多优势,如强度高、模量高、热膨胀系数小和可设计性强等,因此在各行各业中得到广泛的应用,并已成为航天航空领域四大结构材料之一^[1]。复合材料产品的制造技术不同于常规金属材料车、钳、刨、铣、磨等冷加工制造方法和铸、锻等热加工制造方法,复合材料产品的制造工艺种类多,常见的有真空袋成型、热压罐成型、模压成型、缠绕成型、拉挤成型、软膜膨胀成型、喷射成型、电子束固化法、RTM成型等,成型方法不同所对应成型模具材料和结构形式也不相同,但成型方法的改进又推动模具技术不断发展^[2]。复合材料成型模具一般包括金属芯模、砂芯模、石膏芯模、橡胶气囊芯模^[3-5]。金属芯模组装拆卸困难,特别对于小开口容器类复合材料,如果采用金属材料制作成型模具,在产品制造成型后,金属芯模脱模难以实现甚至模具无法脱出^[6]。另外金属模具所

用一般钢材的密度为 7.85 g/cm^3 ,造成成型模具较重。橡胶气囊芯模尺寸难以控制,很难使用在精度要求较高的复合材料产品。重量轻、成型简单、尺寸精度较高是石膏芯模具有的优势,但石膏芯模也有较大的局限性,如模具骨架零部件较多,石膏层脆且常出现裂纹等缺点。传统砂芯模重量较大,其密度为 1.6 g/cm^3 ,限制了现有砂芯模在大型复合材料产品中的使用^[7]。因此,开发一种性能优良的水溶性轻质砂芯模用于制造大型复合材料产品以及复杂奇异的复合材料零部件具有极其深远的意义^[8]。笔者采用一种特殊的水溶性材料,研制的水溶性轻质砂芯模热稳定性满足复合材料使用要求。并研究了水溶性材料的制作工艺,并测试了其密度、力学性能

联系人: 刘天涛,工程师,主要从事复合材料成型模具、成型材料研究

收稿日期: 2017-05-03

和水溶解性能,在实际生产中制作了一种弯管结构件^[9]。

1 实验部分

1.1 主要原材料

聚乙烯醇(PVAL):088-50,中国石化集团四川维尼纶厂;

模型砂:巩义市中鑫铸材有限公司;

空心玻璃微珠:N20,秦皇岛玻璃微珠有限公司。

1.2 主要设备及仪器

电热恒温鼓风干燥箱:GY-64型,成都天宇试验设备有限公司;

压缩试样成型机、拉伸试样模具、刮平尺:自制;

电子天平:ES3200型,上海信衡电子有限公司;

混砂机:S202型,保定铸机成套设备厂;

材料试验机:5500R型,英斯特朗中国有限公司。

1.3 制作工艺

考虑到水溶性轻质砂芯模的流动性能,该制作工艺采用热烘干成型工艺,其成型工艺方法过程如图1所示。

准备模具(模具设计、表面处理)→预成型捣实(砂芯混制、捣实成型)

↓
表面处理(表面修补、表面密封)→加热烘干→脱模

图1 水溶性轻质砂芯模成型工艺

(1) 成型模具准备。

水溶性轻质砂芯模试样采用西安航天复合材料研究所标准试样规格制作,水溶性轻质砂芯模压缩试样采用 $\varnothing 30\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ 的钢制成型模具制备,水溶性轻质砂芯模拉伸试样采用 $25\text{ mm} \times 25\text{ mm} \times 110\text{ mm}$ 的钢制成型模具制备。其中试样模具设计制作完成后,需要对模具表面进行处理,以清除模具表面的杂质、油污等。

(2) 预成型捣实。

首先将模型砂、空心玻璃微珠、PVAL胶液按给定比例在混砂机内混制成芯砂。然后,在压缩试样成型过程中,一次性装填轻质芯砂45 g,然后在压缩试样成型机上按制作规程成型,即可成型水溶性轻质砂芯模压缩试样。在拉伸试样成型过程中,分多次填充轻质芯砂并捣实,最后用自制刮平尺沿模具上缘将模具表面多余芯砂除去。

(3) 烘干。

将成型后的水溶性轻质砂芯模试样放入烘箱中,设置烘干温度为 80°C 及烘干时间8 h,并随炉冷却到室温。烘干完毕后,即可将芯模从烘箱中取出。

(4) 脱模及表面处理。

压缩试样由压缩试样成型机直接成型。拉伸试样烘干后,将拉伸试样两端螺栓松开后直接将成型模具对半打开后即可取出拉伸试样。脱模后的试样如果表面浮砂、毛刺等表观问题,用180目砂纸将毛刺打磨去除,并用毛刷将浮砂扫除。

1.4 性能测试

(1) 密度测量的环境条件温度: $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$,湿度: $(50 \pm 10)\%$ 。

(2) 采用GB/T1041—1992压缩性能的测定标准对压缩试样在不同温度下的压缩性能进行测试分析,采用GB/T1040—1992拉伸性能试验方法测试常温条件下拉伸试样拉伸性能。

(3) 将压缩试样放在静止的自来水中测试其水溶性。

2 结果与讨论

2.1 砂芯模密度

在干燥的状态下,准确称量自制的10件压缩试样的质量,试样的外形尺寸为 $\varnothing 30\text{ mm} \times 30\text{ mm}$ 。经过计算其密度范围为 $1.195 \sim 1.264\text{ g/cm}^3$ 。水溶性芯模的平均密度为 1.218 g/cm^3 ,比纯砂的砂芯模(1.60 g/cm^3)轻23.9%左右,比金属模具的钢材密度(7.85 g/cm^3)轻84.5%,可见其密度小,质量轻,更有利于大长径比纤维增强复合材料产品成型模具设计制作。水溶性轻质砂芯模材料的密度具有分散性,这是由水溶性轻质芯模是多孔材料造成的,该种材料的孔隙率一般是 $5\% \sim 15\%$ ^[10-12]。

2.2 砂芯模力学性能

水溶性轻质砂芯模的压缩性能、拉伸性能见表1。

表1 水溶性轻质芯模的拉伸强度与压缩强度

组号	拉伸强度/MPa	压缩强度/MPa
1 [#]	2.52	17.30
2 [#]	2.22	17.38
3 [#]	1.93	17.92
平均值	2.22	17.53

从表1可以看出,轻质砂芯模的拉伸强度和压缩强度分别为2.22,17.53 MPa。虽然比纯砂的砂芯模的拉伸强度(3.98 MPa)和压缩强度(26.7 MPa)

有所降低,但复合材料零部件的成型压力一般小于 1 MPa^[4],因此轻质砂芯模的力学性能满足复合材料零部件制作中对压力的要求。

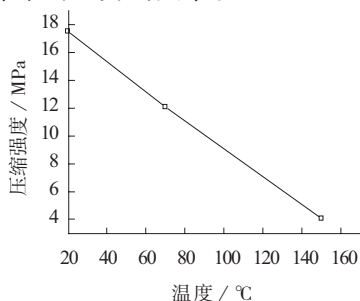


图2 轻质砂芯模压缩强度随温度变化曲线

从图2可以看出,轻质砂芯模的压缩强度随着温度的升高而降低,当温度为 150℃时,轻质砂芯模的压缩强度为 4.09 MPa。而纤维增强热固性复合材料零部件成型温度一般小于 160℃,成型压力一般小于 1 MPa^[4]。因此,高温下的轻质砂芯模力学性能仍满足纤维增强热固性复合材料零部件制作中对压力的要求。

2.3 砂芯模水溶性

将制作好的压缩试样放置到静止的常温自来水中,试样需要 128 min 才能完全溶解。但如果将制作好的压缩试样放置到 40℃的静止自来水中,试样需要 5 min 就能完全溶解,比常温自来水溶解速度提高 96.1%。说明轻质砂芯模的水溶性随着水温的升高而提高。

在轻质砂芯模实际制作过程中,其溶解速度与诸多因素相关,如水的温度、水的压力、外界给予的压力等。实际生产过程中,为了提高生产效率、缩短水溶时间,减小水分对纤维复合材料零部件的影响,在其溶解过程中,会通过提高水温加速其溶解,一般将水温提高到 40℃左右,以提高其溶解速度。

3 应用实例

为研究水溶性轻质砂芯模在中高温成型过程中的使用性能,设计了一种弯管砂芯模成型模具如图3所示。采用水溶性轻质砂芯模作为弯管的芯模,并采用纤维干法缠绕成型后固化工艺,制作了该小开口薄壁碳纤维增强热固性树脂基复合材料弯管,该砂芯模使用性能优良,制作出来的产品尺寸满足设计要求,产品如图4所示。

采用水溶性轻质砂芯模制作此弯管有以下三方面的优势:(1)跟采用金属模具成型相比,水溶性轻质砂芯模为简单整体结构,避免多段金属模具组

合而成带来的装配间隙,减少了影响产品质量的装配间隙问题。(2)产品成型完成后用 40℃的温水即可快速将芯模溶解溃散从而实现脱模,解决了金属芯模成型后脱模困难的问题。(3)采用阴阳模具组合成型轻质砂芯模,保证了砂芯模的外径尺寸,进而保证了产品的内型面尺寸。并且采用轻质砂芯模质量较传统砂芯模轻 24% 左右,如果在大型砂芯模上使用,会极大减少芯模的质量。

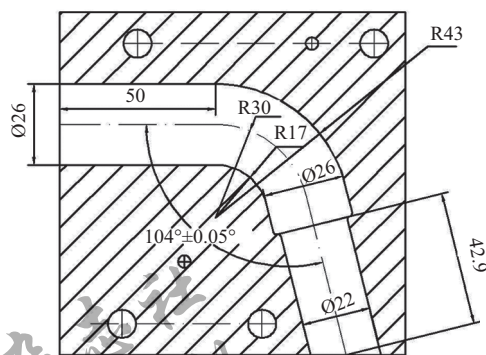


图3 轻质砂芯模成型模具示意图



图4 轻质砂芯模成型的产品

4 结论

(1)研究了水溶性轻质砂芯模的制作工艺方法和性能,其制作方法易于实现,满足纤维增强热固性复合材料零部件制作过程中的温度和压力的要求。

(2)使用水溶性轻质砂芯模作为模具,采用缠绕成型的工艺方法成功制备了小开口壁薄的复合材料弯管,避免了金属芯模不易脱模的问题,产品的内型面尺寸精度高。

(3)水溶性轻质砂芯模较纯砂芯模轻 24% 左右,可以扩大其应用范围特别是在大长径比树脂基复合材料产品中的应用范围。

参考文献

- [1] 殷永霞,张芳.水溶性芯模在复合材料研制中的应用[C]//成都:第十届中日复合材料学术会议,2012:195-199.
Yin Yongxia, Zhang Fang. Application of water soluble core to the manufacturing of composite materials[C]// Chengdu : CJCC-10, 2012:195-199.

- [2] 章令晖,李甲申,韩宇,等. 复合材料成型模具研究进展[J]. 航天制造技术,2013(1):13-17.
Zhang Linghui, Li Jiashen, Han Yu, et al. The progress of research on composite forming mould[J]. Aerospace Manufacturing Technology, 2013(1):13-17.
- [3] 朱飞宇. 复合材料成型模具的开发与应用[J]. 湖南农机,2014, 41(8):42-43.
Zhu Feiyu. Development and application of composite forming die[J]. Hunan Agricultural Machinery, 2014, 41(8):42-43.
- [4] 刘海鑫,唐泽辉,刘归,等. 复合材料发射箱的模具设计[J]. 玻璃钢/复合材料,2016(3):75-78.
Liu Haixin, Tang Zehui, Liu Gui, et al. Mould design of the composite launch box[J]. FRP/CM, 2016(3):75-78.
- [5] 石磊,徐晋伟,柴朋军. 复合材料变截面进气道模具设计及工艺方案研究[J]. 玻璃钢/复合材料,2016(5):91-93.
Shi Lei, Xu Jinwei, Chai Pengjun. Study on mould design and process plan of the variable cross section composite inlet duct[J]. FRP/CM, 2016(5):91-93.
- [6] 杜志龙,邱佳斌,闵小俊. 新型水溶芯材料的研制[J]. 塑料工业, 2004, 32(11):55-56.
Du Zhilong, Qiu Guibin, Min Xiaojun. Investigation of neo-water-soluble core formulation for investment casting[J]. China Plastics Industry, 2004, 32(11):55-56.
- [7] 张胜利,韩建平等. 大长径比壳体芯模防裂技术[J]. 玻璃钢/复合材料,2013(3):84-88.
Zhang Shengli, Han Jianping. Crack preventing technology of the large L/D ratio case mandrel[J]. FRP/CM, 2013(3):84-88.
- [8] 仝建峰,王玲等. 用于复杂形状复合材料制造的水溶性芯模材料[J]. 航空制造技术,2009(14):94-97.
Tong Jianfeng, Wang Ling. Water soluble core material for manufacturing of the complex composite component[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2009(14):94-97.
- [9] 张芳,殷永霞,谭放,等. 一种新型水溶性芯模的制备和性能[J]. 宇航材料工艺,2013(4):55-66.
Zhang Fang, Yin Yongxia, Tan Fang, et al. Preparation and properties of a new water soluble core[J]. Aerospace materials & Technology, 2013(4):55-66.
- [10] Ma Li. Water soluble tooling materials technology for the manufacturing of hollow-structure parts[J]. Sampe Journal, 2007, 43(5):24-33.
- [11] Vaidyanathan R. Water soluble tooling materials for complex polymer composites components and honeycombs[J]. Sampe Journal, 2007, 43(5):24-33.
- [12] 孟祥武,郑志才,孙士祥,等. 水溶性砂芯模材料在成型复合材料壳体中的应用[J]. 工程塑料应用,2016(12):43-47.
Meng Xiangwu, Zheng Zhicai, Sun Shixiang, et al. Application of water soluble core material in molding a composite case[J]. Engineering Plastics Application, 2016(12):43-47.
- =====
- (上接第 64 页)
- [4] You C S, Kim D, Cho S, et al. Impact behavior of composite antenna array that is conformed around cylindrical bodies[J]. Composites Science and Technology, 2010, 70:627-632.
- [5] 戴福洪,王广宁. 埋微带天线蜂窝夹层结构的力电性能分析[J]. 复合材料学报,2011,28(2):231-234.
Dai Fuhong, Wang Guangning. Analysis of mechanical and electric performance of honeycomb sandwich structures embedded with the micro strip antenna[J]. Acta Material Composite Sinica, 2011, 28(2):231-234.
- [6] 刘杰,郝巍,孟江燕. 蜂窝夹层结构复合材料应用研究进展[J]. 宇航材料工艺,2013(3):25-29.
Liu Jie, Hao Wei, Meng Jiangyan. Progress in applied research of honeycomb sandwich composites[J]. Aerospace Materials & Technology, 2013(3):25-29.
- [7] Roy R, Nguyen K H, Park Y B, et al. Testing and modeling of Nomex™ honeycomb sandwich panels with boltinsert[J]. Composites Part B:Engineering, 2014, 56:762-769.
- [8] 赵鹏成. 含缺陷复合材料蜂窝夹层结构力学性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学,2009.
- Zhao Pengcheng. Mechanical properties of honeycomb sandwich composite material with debond [D]. Harbin: Harbin Engineering University, 2009.
- [9] 富明慧,尹久仁. 蜂窝芯层的等效弹性常数[J]. 力学学报,1999, 31(1):113-118.
Fu Minghui, Yin Jiuren. Equivalent elastic parameters of the honeycomb core[J]. Acta Mechanica Sinica, 1999, 31(1):113-118.
- [10] Rene R, Sung-Jun P, Jin-Hwe K, et al. Characterization of nomex honeycomb core constituent material mechanical properties[J]. Composite Structures, 2014(117):255-266.
- [11] 陈祥宝. 聚合物基复合材料手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004:328-333.
Chen Xiangbao. Manual polymer-based composite[M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004:328-333.
- [12] 王毅,韩光平,冯锡兰. 复合材料层合板疲劳损伤研究[J]. 热加工工艺,2013,42(10):129-130.
Wang Yi, Han Guangping, Feng Xilan. Fatigue damage evolution of composite laminate[J]. Hot Working Technology, 2013, 42(10):129-130.