

水溶性芯模性能和应用研究

张 芳 殷永霞 谭 放

(北京空间机电研究所, 北京 100076)



摘要: 采用热压注成型工艺制备了一种新型水溶性芯模材料, 研究了其密度、力学性能和水溶性能等, 分析了影响该芯模材料力学性能的因素。结果表明, 当固体填料石英砂为 150 目左右时, 可获得性能最优的水溶性芯模。并将所制得的水溶性芯模成功地用于树脂基复合材料结构件的制造中。

关键词: 水溶性芯模; 力学性能; 树脂基复合材料; 石英砂

The Study of Properties and Application of the Water Soluble Core Tooling

Zhang Fang Yin Yongxia Tan Fang

(Bjing Institute of Space Mechanics & Electricity, Beijing 100076)

Abstract: The hot pressure casting technology is used to prepare the water soluble core. The density, mechanics properties and water-solubility are studied, and the results show that when quartz sand is 150 item, the obtained water soluble cores had high strength. The water soluble core is successfully used to manufacturing a composite structure with typical features.

Key words: water soluble core tooling; mechanics properties; polymer matrix composite; quartz sand

1 引言

复合材料具有许多优良的性能, 例如, 可以实现复杂异型的几何形状的制造, 减少结构件零件的数目, 简化制造成型的工序, 减少产品的质量和降低生产成本, 而且具有比强度和比刚度、疲劳寿命长等结构效率高的优点^[1], 因此广泛应用于航空航天领域。一般来说, 金属模具是复合材料成型制造中主要使用的模具, 但对于一些结构复杂的复合材料产品, 如复杂封闭型腔结构、中空内凸结构、出口小内腔大或者不允许有拔模斜度的制品^[2-3], 如果采用传统的金属模具, 就需要将模具多块组合而成或者必要时将复合材料产品分割成多块分别制造然后粘接在一起, 这样不仅使制造过程复杂化而且影响着产品的强度性能指标。这时, 水溶性芯模材料便应运而生。

水溶性芯模材料是用水溶性胶粘剂将一种或几种固体填料按照一定的比例粘接在一起, 并根据使用要求制备成具有一定形状, 在使用时满足产品成型压

力和固化温度要求并仍可保持原有形状, 最后使用水等溶剂使其溃散脱模获得产品的一种芯模材料^[2]。因此, 研制一种综合性能良好的水溶性芯模用于制造各种复杂异型的复合材料结构件具有非常重要的意义。本文以某种型号的胶粘剂和固体填料石英砂作为原材料, 制备了一种综合性能良好的新型水溶性芯模材料, 能够满足复合材料结构件成型的要求。

2 水溶性芯模的制备

2.1 主要原料与实验仪器

主要原料: 石英砂, 细度 (150 目、90 目和 50 目); 某种型号的水溶性胶粘剂。

实验仪器: 鼓风干燥箱; 万能材料试验机; 自制模具。

2.2 水溶性芯模的制备

根据芯模材料预混料流动性, 水溶性芯模的成型制备方法可分为浇注成型和热压注成型。预混料流动

性能较好的可采用浇注成型，若流动性能较差则可采用热压注成型^[4]。根据本文所选用的水溶性芯模材料的特点，成型制备的方法为热压注成型，其成型工艺流程图如图1所示。根据水溶性芯模的形状尺寸大小准备成型母模，将石英砂和水溶性胶粘剂按照一定比例混合后在金属母模中预成型捣实，然后放入烘箱中加热固化，其中固化温度为135℃，固化时间随着芯模尺寸的增大而延长，固化完成后脱模即可。

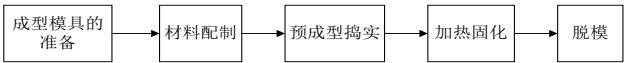


图1 水溶性芯模的成型工艺流程图

3 水溶性芯模的性能

用于制造复合材料结构件的模具材料种类繁多，在模具材料的选用时一些性能指标是必须考虑的，本

文主要对水溶性芯模的密度、强度、加工性能和水溶解性能等进行了测试分析，其中强度性能按照GB/T17671—1999进行测试。

3.1 水溶性芯模的密度及分析

在干燥的状态下，准确称量水溶性芯模试样的质量，其中试件的尺寸为40mm×40mm×160mm，数量为12件。通过分析计算其密度如表1所示。

由表1可知，水溶性芯模的密度变化范围为1.47~1.55g/cm³，其平均密度为1.511g/cm³，可见其密度小，质量轻，在复合材料结构件的成型制备中便于操作。通过分析计算，芯模密度的标准偏差为0.0288，离散系数为1.89%。芯模的密度具有一定的分散性，是由于水溶性芯模是多孔材料^[5, 6]。

表1 水溶性芯模的密度

编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
密度/g cm ⁻¹	1.49	1.48	1.50	1.47	1.51	1.56	1.55	1.54	1.52	1.53	1.51	1.47

3.2 水溶性芯模的力学性能

本实验分别测试了不同粒径的石英砂（150目、90目和50目）的水溶性芯模在室温、80℃、130℃和

180℃时的弯曲性能和压缩性能，其结果如图2、图3所示。

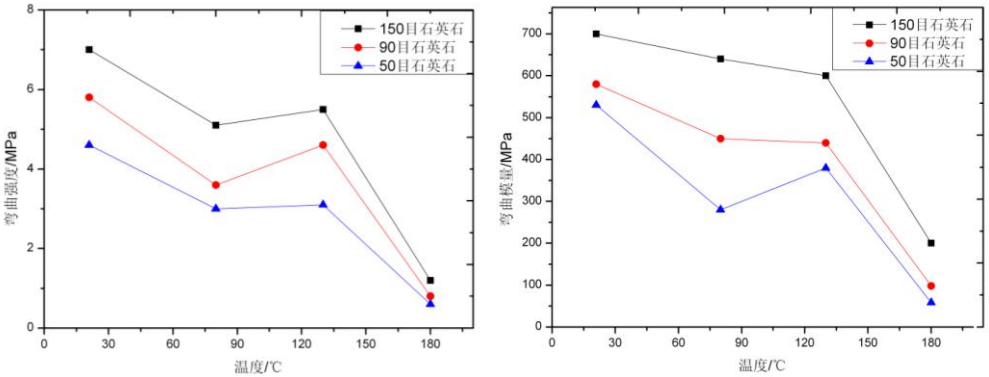


图2 不同粒径石英砂芯模的弯曲性能随温度变化曲线

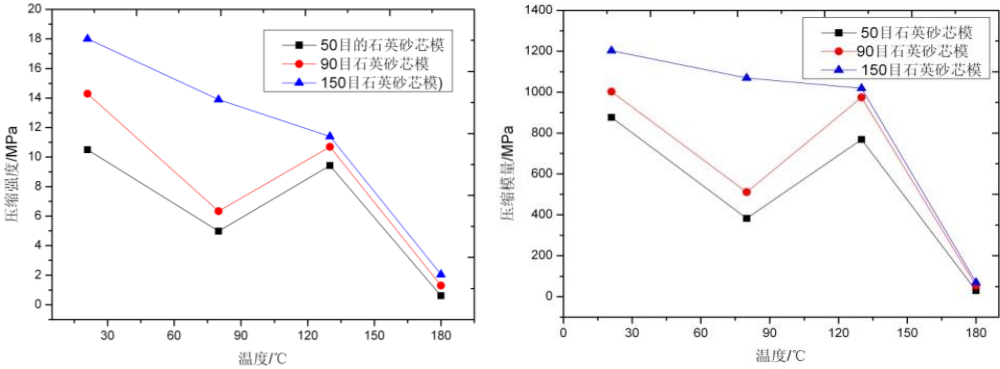


图3 不同粒径石英砂芯模的压缩性能随温度变化曲线

3.2.1 石英砂粒径对水溶性芯模力学性能的影响

由图 2、图 3 可知，随着固体填料石英砂粒径的减小水溶性芯模的力学性能增大，当石英砂粒径为 150 目左右时，水溶性芯模的力学性能最优。发生这种现象主要有两种原因：第一，石英砂粒径影响着水溶性芯模的孔隙率，当胶粘剂和石英砂的质量比一定时，石英砂的粒径越大，一定体积内的石英砂与胶粘剂的粘接面积越小，堆积的空隙也就越大，对胶砂之间的粘接产生了一定的影响，从而使水溶性芯模的力学性能降低；第二，当石英砂粒径增大时，石英砂颗粒形状的不均匀也随之增大，从而影响着石英砂与胶粘剂之间的粘接面积。因此，石英砂粒径越小，颗粒之间越为紧密，制成的砂模粘结强度也越高^[7]。

3.2.2 温度对水溶性芯模力学性能的影响

从图 2、图 3 还可以得知，随着温度的升高水溶性芯模的力学性能有所下降。主要是因为温度对水溶性胶粘剂的影响。当温度升高时，水溶性胶粘剂的强度随之下降，因此水溶性芯模的强度下降。而中高温条件下水溶性芯模的强度仍然能够满足复合材料成型压力的要求。

3.3 水溶性芯模的水溶机理及水溶溃散速率

3.3.1 水溶性芯模的水溶机理

本实验所制得的水溶性芯模材料是由某型号的水溶性胶粘剂与固体填料石英砂组成的。水溶性胶粘剂不仅起着粘结固体填料石英砂，传递填料之间的应力的作用，而且提供了芯模材料的水溶性。将本文的水溶性芯模放入水中，作为高分子的水溶性胶粘剂，在水中的溶解过程可主要分为两步进行：第一步，水分子渗入胶粘剂内部，使水溶性胶粘剂体积膨胀，即溶胀过程；第二步，水溶性胶粘剂被分散在水中，即整个水溶性胶粘剂和水混合，即溶解过程。最终芯模材料在水中发生溃散，完成脱模^[8]。

3.3.2 水溶性芯模的水溶速率

本实验中将尺寸为 40mm×40mm×50mm 的水溶性芯模材料分别放在静止的常温自来水中或静止的常温的乙酸乙酯中让其自然溶解，其溶解过程如图 4 和图 5 所示。结果显示在 20s 时水溶性芯模材料开始溶解，7min 左右水溶性芯模可以完全溶解。而在乙酸乙酯溶剂中，水溶性芯模基本上没有溶解的反应。可见在复合材料产品生产制造过程中使用的溶剂对水溶性芯模没有影响，产品固化完成后使用常温自来水可以快速实现脱模。

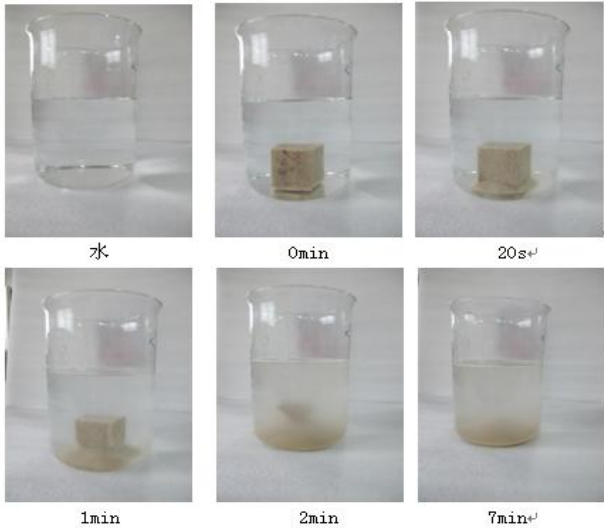


图 4 水溶性芯模材料在常温自来水中的溶解

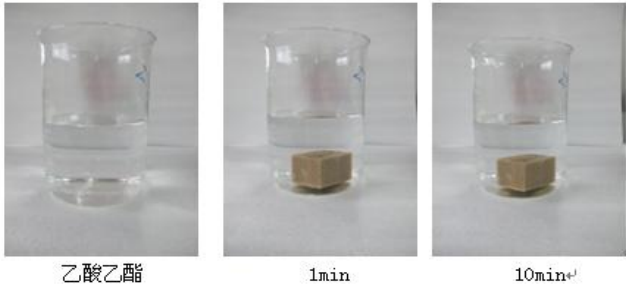


图 5 水溶性芯模材料在乙酸乙酯溶剂中的溶解

3.4 水溶性芯模的可加工性

由于复合材料产品有一定的尺寸和精度要求，当初次成型制备的水溶性芯模有一定的尺寸偏差时，就需要对其进行必要的机械加工。经试验验证，本实验制备的水溶性芯模试样可以进行一些简单的机械加工，如切、削、铣和磨等，以保证其尺寸精度，如图 6 所示。经加工完成的水溶性芯模表面光整，无凹坑，且尺寸能够达到设计的要求。



图 6 水溶性芯模的加工性能

4 水溶性芯模在树脂基复合材料制备方面的应用

为了研究水溶性芯模材料的适用性，本课题设计了一典型罩形结构件，该罩形结构件具有内腔大，开口小的结构特点，如图 7 所示。如果使用普通的刚性模具成型，则会遇到脱模困难或者成型工艺复杂等问题。本文采用粒径为 150 目的水溶性芯模作为模具材料，为防止加热固化时水溶性胶粘剂和复合材料中树脂的相互迁移，预先在芯模表面贴一层单面带胶聚四氟乙烯薄膜。成型时先在水溶性芯模阳模上糊制预浸玻璃布到一定层数进行预压实，然后在底部放置铝制加强环，继续糊制预浸玻璃布到一定层数，加阴模进压机进行固化。玻璃钢固化冷却后，将水溶性芯模放在自来水中溶解脱模。其中所用材料采用 0.2mm 预浸玻璃布。其工艺流程如图 8 所示。

采用水溶性芯模并用模压整体成型工艺制备了该玻璃纤维增强树脂基复合材料罩形结构件（如图 9 所示），在成型制造过程中操作简单，尺寸能够得到保证，有效地减少了装配问题，并且罩形结构件的质量能够达到要求。水溶性芯模在模压成型工艺制造玻璃纤维增强环氧树脂复合材料罩形结构件的成功应用，对于扩大树脂基复合材料在航天器结构中的应用

范围、提升航天器的研制能力具有重大意义，经济效益和社会效益显著。

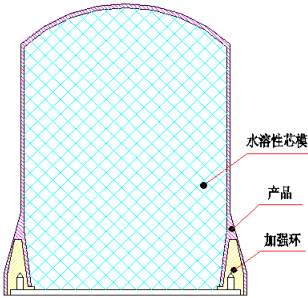


图 7 罩形结构件示意图

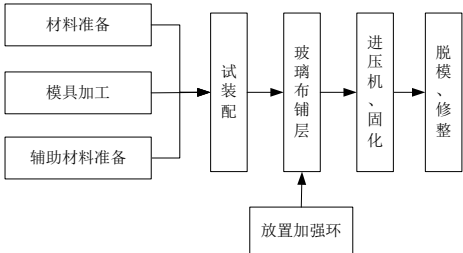


图 8 罩形结构的工艺流程图



图 9 罩形结构件水溶性芯模和复合材料产品

5 水溶性芯模的使用对复合材料结构件的影响

水溶性芯模的使用对复合材料结构件的影响主要表现为水溶过程中水对结构件的影响，即结构件在脱模过程中的吸湿性对其力学性能的影响。本文通过模拟使用水溶性芯模制备复合材料结构件的过程制备 T700/环氧 648 复合材料单向板，并分别测试其在自然状态下（即不放在水中浸泡）、放在常温自来水中浸泡 4 小时后自然阴干和放在常温自来水中浸泡 4 小时后马上烘干的试件的弯曲性能和层间剪切性能，每种状态下分别测试 10 件，然后取平均值，其结果如表 2 所示。结果表明，水溶性芯模的使用对复合材料结构件的弯曲性能和层间剪切性能的影响很小。

表 2 水溶性芯模的使用对复合材料弯曲性能和层间剪切性能的影响

	自然状态	放在水中浸泡 4 小时后自然阴干	放在水中浸泡 4 小时后马上烘干
弯曲性能/MPa	1391.94	1393.06	1462.07
层间剪切性能/MPa	75.53	81.04	78.48

（下转第 60 页）

