

用于复杂形状复合材料制造的水溶性芯模材料

Water Soluble Core Material for Manufacturing of the Complex Composite Component

北京航空材料研究院先进复合材料国防科技重点实验室 全建峰 王 岭 益小苏 陈大明

[摘要] 提出了一种能够用于树脂基复合材料成型用的水溶性型芯模材料,该材料既能满足树脂基复合材料成型时的温度要求,又能在复合材料成型完成后进行水溶去除。主要研究了水溶性型芯模材料的组成、制备工艺与耐温性、易去除等相关性能,并对水溶性芯模材料的水溶性作了评价和表征。

关键词: 树脂基复合材料 水溶芯模

[ABSTRACT] Proposed a water soluble coring and tooling material used for polymer matrix of composite parts. This material can be satisfied with the temperature requirement of process and also be removed from cured composite parts. The influences of composition and fabrication process on the heat resistance and washout capability are investigated in detail.

Keywords: Polymer matrix composite Water soluble core

随着飞机性能的不断提高,作为现代飞机主要结构材料之一的复合材料的发展特别引人注目。目前,复合材料在飞机上的应用已由小型、简单的次承力构件发展到大型、复杂的主要承力构件;从单一的结构件发展到结构/吸波、结构/透波和结构/防弹等多功能一体化的结构;从粘合、连接的结构发展到整体化结构^[1]。

在树脂基复合材料的制造过程中,通常选用金属作为模具材料,因为金属材料有高的热导率和良好的刚度,而且金属材料可以加工出良好的表面粗糙度,这样制造出的复合材料也具有较好的表面光洁度。但是,金属材料作为模具材料也存在一些缺点。例如,对于大尺寸构件而言,模具重量太大难以操作;此外,加工一件大型金属模具要求的加工条件较高,耗时长,而且造价也较高。特别是对于复杂中空结构,含有多个台阶甚至是倒台阶的中空结构,金属模具的脱模更是变得十分困难。水溶性芯模材料可以顺利解决这个问题,由于它具有良好的耐温性,在复合材料制造领域正逐步被应用^[2-4]。国内魏方正^[5]采用磷酸酯淀粉作为粘结剂,采用玻璃微珠和青沙作为填料制备出了压缩强度在

10MPa左右、温度在80℃下水溶速率为0.1g/min的水溶性芯模材料,并研究了填料种类、固相体积分数对坯体压缩强度和水溶性的影响规律。该体系的缺点是室温下坯体水溶溃散性缓慢,需要在加热条件下水溶才能进行。国际上,水溶性芯模材料的研究工作开始于2003年,R.Vaidyanathan^[6]等人制备出了水溶性芯模材料,并在航空帽形材上得到了验证。

本课题基于水基凝胶陶瓷材料技术,提出兼具高温力学、结构稳定与常温水溶溃散双功能的无机聚合物复合材料的新概念、新技术和新方法,并将这种材料运用在先进复合材料大型整体结构的制造领域^[7]。还提出了一种系统集成设计和整体制造航空复合材料结构的新概念,它包括空心帽型材、加筋、加肋,甚至纵横加筋加肋等组合或复杂结构,广泛适合于航空构件的热压罐、缠绕和树脂液态成型(RTM)等的制造。

1 试验过程与研究方法

水溶性芯模材料由粘结剂和陶瓷填料组成。粘结剂为自制粘结剂,该粘结剂具有脱水固化、遇水溶解的可逆特性。陶瓷填料采用氧化铝和高岭土,陶瓷料浆的固相体积分数使该粘结剂具有良好的水溶性和高的热分解温度($\geq 350^\circ\text{C}$),所以选择陶瓷粉末作为填料。水溶性芯模及其复合材料制备工艺流程包括配料、制浆、浇铸、固化、烘干和修饰等过程。

2 结果与讨论

2.1 水溶性芯模的密度和热膨胀系数

水溶性芯模材料的密度是可调的,它取决于陶瓷填料的比重以及料浆的固相体积分数。水溶性芯模经过烘干处理后,密度范围为 $0.9\sim 1.1\text{g}/\text{cm}^3$,离散系数为0.43%,密度的测量值是10个试样的平均值。水溶性芯模热膨胀系数的范围为 $4.0\times 10^{-6}\sim 5.0\times 10^{-6}/^\circ\text{C}^{-1}$ 。离散系数范围为3.06%。表1为水溶性芯模密度与热膨胀系数的测量值和离散系数。

2.2 水溶性芯模的压缩强度

在树脂基复合材料的许多成型工艺中,芯模材料承

表1 水溶性芯模密度与热膨胀系数的测量值

试样编号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
密度 / (g·cm ⁻³)	0.96	1.02	1.05	1.08	1.02	1.05	0.99	0.97	1.05	1.07
热膨胀系数 $\alpha \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	4.28	4.36	4.25	4.56	4.62	4.53	4.36	4.28	4.55	4.46

受的是一种压应力,所以材料的压缩强度是一个十分重要的性能参数。不同的烘干温度,对应材料的压缩强度也有所不同。图1为烘干温度对水溶性芯模材料压缩强度的影响规律(烘干时间:48h)。从图中可以看出,随着烘干温度的升高,材料的压缩强度也逐渐增加,可见,要想使芯模材料获得足够高的机械性能,必须在足够高温下进行烘干,保证水分充分脱除(注:鉴于烘箱使用温度局限,本试验只进行到250℃)。图2为水溶性芯模材料在不同温度下的压缩强度测试值。从图中我们可以看出,当温度 $\leq 250^\circ\text{C}$ 时,试样的压缩强度与弹性模量随着温度的升高变化并不明显;当温度高于300℃时,试样的压缩强度与弹性模量略有下降。这是由于高温下材料内部各组份热膨胀系数的失配,导致材料压缩强度开始下降。这与文献[8]报道的试验结果不一样,因为文献[8]中采用的是有机粘结剂,而本课题采用的是无机粘结剂,所以温度对材料的影响机理完全不同。

2.3 水溶性芯模的水溶溃散性

在干燥前,水溶性芯模的溶解较为缓慢,但是经过烘干处理后的试样,可以在水中很快溶解,但不溶于油、

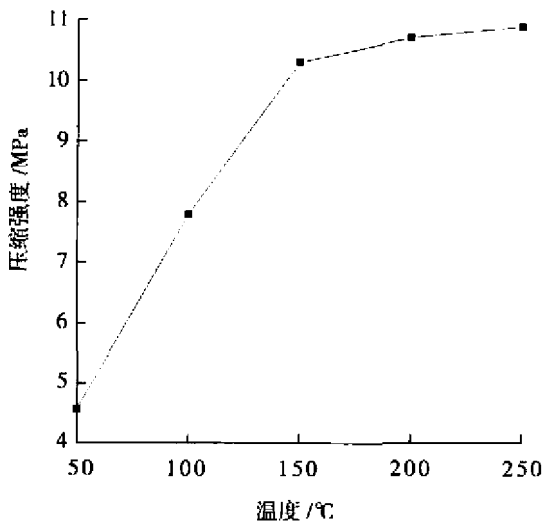


图1 烘干温度对水溶性芯模材料压缩强度的影响规律

Fig.1 The effect of drying temperature on the compressing strength of the water soluble core

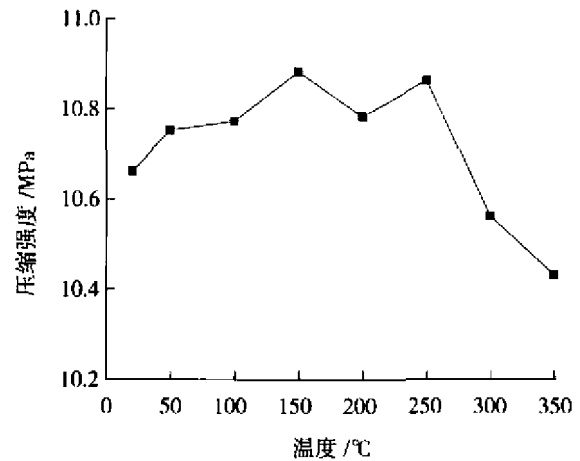


图2 测试温度对水溶性芯模材料压缩性能的影响规律

Fig.2 The effect of testing temperature on the compressing strength of the water soluble core

树脂以及溶剂中。为了观察水溶性芯模材料的水溶过程,我们制备了 $\phi 20\text{mm} \times 20\text{mm}$ 的试样,并让它自由站立在中性静止水中进行了观察,水溶过程如图3所示,经过80s,芯模材料就已经完全溃散。而且,水溶性芯模溃散后,经过30min可以实现完全沉淀,便于回收利用。图4(a)为水溶性芯模材料自由表面的微观照片,图4(b)为水溶性芯模材料内部的微观照片。从图中可以看出,水溶性芯模材料的表面十分光滑,原因是芯模材料在烘干后表面自然形成了一层胶衣,所以致密均匀。从内部微观结构来看,芯模材料的内部存在很多通道,这样在水溶过程中,随着表面胶衣的溶解,水分就顺着通道进行流动,为进一步的溶解、溃散提供了方便。

2.4 水溶性芯模与树脂的相容性

水溶性芯模在树脂基复合材料成型工艺温度下,应该与相应树脂基体无任何相容或亲和反应,这样才能保证成型工艺完成后,树脂基材料能够顺利完全脱除。本课题试验了水溶性芯模与环氧树脂材料在100℃下的相互作用,浸泡时间为48h。试验结果显示浸泡后水溶性芯模保持完好,没有与环氧树脂发生任何亲和反应(见图5)。

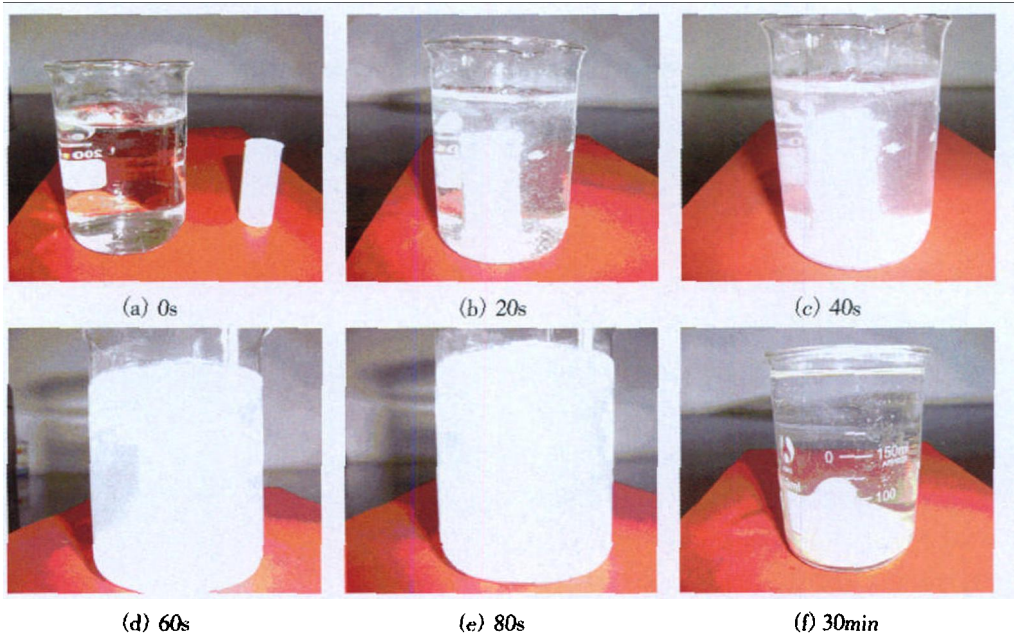


图3 水溶性芯模材料的水溶过程

Fig.3 The dissolved procedure in water of the water soluble core

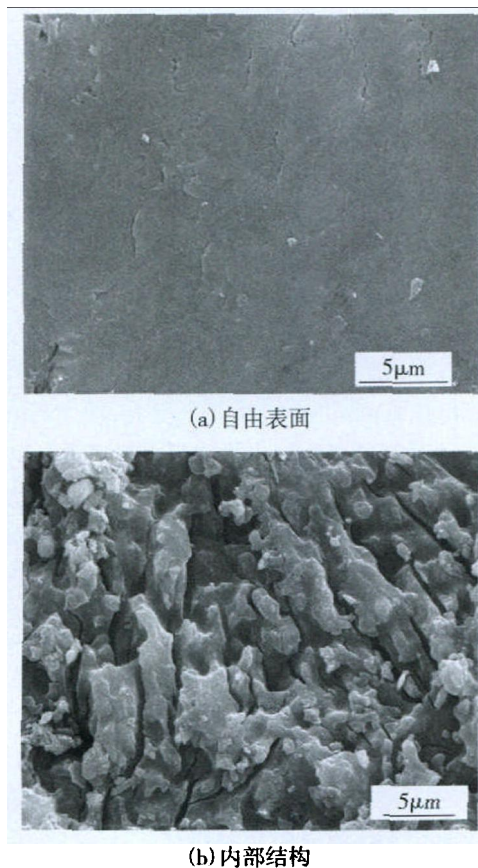


图4 水溶性芯模的微观结构

Fig.4 The microstructure of the water solubele core

2.5 水溶性芯模的耐溶剂特性

许多树脂基复合材料在成型时,都要用到丙酮、四

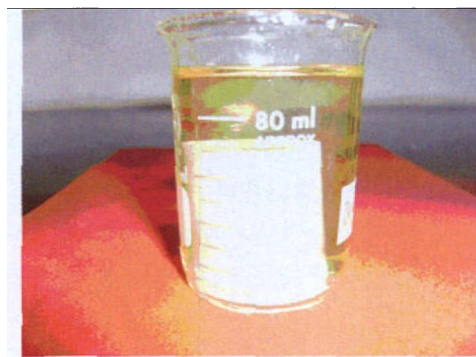


图5 水溶性芯模与环氧树脂的作用

Fig.5 The infusibility between the water soluble core and epoxy

氢呋喃等溶剂,所以水溶性芯模的耐溶剂特性也应引起关注。我们将水溶性芯模材料浸泡在了丙酮溶剂中,浸泡时间为48h,结果显示水溶性芯模也保持完好,并且没有任何亲和反应(见图6),说明本试验采用的体系溶于水,但不溶于丙酮溶剂。

2.6 水溶性芯模在树脂基复合材料制备方面的应用

利用水溶性材料作为芯模,通过RTM工艺制备出的玻璃纤维增强环氧树脂复合材料,获得了整体化中空复合材料结构,如图7所示。帽形材是航空工业上普遍采用的一种结构形式,针对目前某型号飞机的应用需求,制备出了用于复合材料帽形材的水溶性芯模材料,成功实现了帽形材的制备,如图8所示。

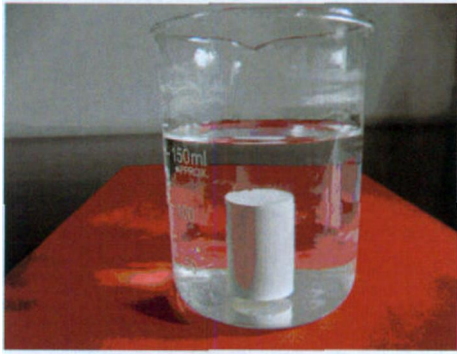


图6 丙酮对水溶性芯模的作用

Fig.6 The infusibility between the water soluble core and acetone

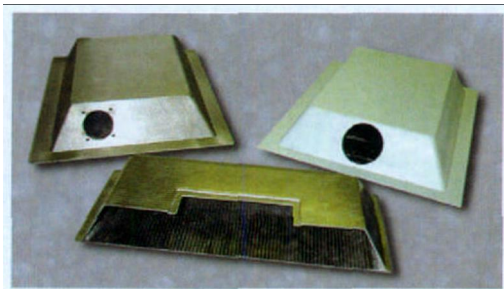


图7 整体化中空复合材料结构

Fig.7 A-shape hollow-structure beam of unitary aerospace composite part



图8 采用水溶性芯模材料制备的复合材料帽形材

Fig.8 Hollow-structure composite beam prepared by water soluble core

3 结论

(1) 采用自制粘结剂体系,基于水基凝胶技术,制备出了具有室温固化、良好耐温性($\geq 350^\circ\text{C}$)以及与树脂相容性良好的用于复合材料制造的水溶性芯模材料。

(2) 水溶性芯模材料的体积密度、热膨胀系数等物理参数具有可设计性,耐压强度可以达到 10MPa 以上。

(3) 采用水溶性芯模材料实现了中空大尺寸复合材料制件的整体化制造,为航空复杂构件的整体化制造提供了一条简便易行、安全可靠的设计思路。

参 考 文 献

- [1] 严瑞瑄. 水溶性高分子材料. 北京:北京化工出版社, 1998.
- [2] 吴金章,宣银华. PEG 可溶芯在熔模精铸中的应用. 宇航材料工艺,1997,27 (1): 60.
- [3] 杜志龙,邱桂斌. 新型水溶芯的研制. 塑料工业,2004, 32 (11): 55.
- [4] 马洪芳,刘志宝. 金属注射成型用水溶性胶粘剂的研究. 化学与粘合,2003,39 (5): 228.
- [5] 魏方正. 新型水溶性芯模材料的研制. 粘结,2007,28 (2): 3.
- [6] Vaidyanathan R. Water soluble tooling materials for complex polymer composites components and honeycombs. Sampe Journal, 2003, 39 (1): 22.
- [7] Ma Li. Water dispersible core technology for the manufacturing of hollow-structure parts. Sampe Journal, 2007, 43 (5): 24-33.
- [8] 益小苏,王岭,全建峰. 一种水溶性模芯的制备方法:中国,200710306024. X[P]. 2007-12-29. (责编 玉龙)

.....
(上接第 93 页)

应算法和程序后就可完成铸件毛坯模型中缘板余量的添加,同理,随着其他特征间的映射和转化,就可完成涡轮导向叶片精铸模型的转换和设计。

5 结束语

本课题针对叶片模型转换困难、可修改性差、零件的设计模型可重用性或部分可重用性难以实现的问题,将特征映射理论应用于导向叶片模型递增转换中,将模型间的转换分解为特征间的操作,将特征间的操作分解为对几何元素的相应操作,从而实现了导向叶片精铸模型的自动转换,提高了精铸模型的设计效率,减少了人为出错率,具有一定理论及工程实践价值。

参 考 文 献

- [1] 汪文虎,隗英昌,张琳,等. 基于知识推理的导向器类零件精铸模具单元体智能切分. 铸造,2006 (11): 1152-1154.
- [2] 张跃宏,沈金良. CAD 应用中基于特征参数化设计. 交通与计算机,2003 (3): 51-53.
- [3] 吴卓,李田田. 基于 UG 的特征映射器的开发. 机械制造,2007 (3): 38-40.
- [4] 唐耀红,王凤歧,郭伟,等. 夹具设计中的特征映射及其应用. 组合机床与自动化加工技术,2007 (7): 25-27.
- [5] 王继锋,卜昆,张丹. 基于位移场的涡轮叶片模具型腔优化设计. 航空制造技术,2006 (10): 73-75.
- [6] 常凤海. 并行工程环境下铁路货车铸钢件模具的三维设计. 中国铸造装备与技术,2001 (6): 56-58. (责编 卞卫)