

树脂基复合材料吸胶工艺研究进展

Advance in Bleeding Technology of Resin Matrix Composites

中航复合材料有限责任公司
中航工业复合材料技术中心

曹霞 万喜伟 蒋蔚 陈静

[摘要] 本文对热压罐成型过程中的吸胶工艺、吸胶材料和吸胶量计算进行了综述,为复合材料的制备提供了重要依据。

关键词: 复合材料 吸树脂量 吸胶材料

[ABSTRACT] The bleeding technology, materials and constant's formula are summarized and reviewed in autoclave molding process, it is an important guide to composites preparation.

Keywords: Composites Bleeding constant Bleeder

热压罐工艺是先进树脂基复合材料成型的主要方法之一,其成型过程的控制对复合材料的内部质量有直接影响。其中,吸胶工艺是成型过程中的一个重要环节,出胶量过多容易造成零件贫胶,过少又容易造成零件富脂。所以选择合适的吸胶工艺和吸胶材料尤其重要。本文针对近年来国内吸胶工艺、吸胶用材料和吸胶量的计算方法等方面的进展情况展开分析。

1 吸胶工艺

复合材料成型时,一般预浸料树脂含量在36%~43%之间,而所制成的复合材料制件含量均在60%~66%之间。因此在固化过程中多余的树脂必须排除。排除树脂一般在两个阶段进行,一是复合材料制件在进行铺叠成毛坯后进行预吸胶,也叫预压实。它的作用是在固化工序之前先在一定温度和压力条件下,排除预浸料毛坯中多余的树脂、空气和低沸点物质,使毛坯致密并基本达到预定厚度。经过预吸胶后的毛坯在固化时不允许有大量树脂流出。这对于控制复合材料制件树脂含量、厚度,尤其是其共固化成整体结构构件中的几何尺寸的协调是十分有利的。二是毛坯固化过程中还有少量的树脂排入吸胶材料中。一般预吸胶工艺组合如图1所示。

吸胶材料的用量可根据下式计算:

$$N_b = \frac{m_p - SNm_{pf}(1 + \frac{\rho_r}{\rho_f \cdot V_f} - \frac{\rho_r}{\rho_f})}{Sm_b}$$

式中, N_b 为吸胶材料层数; m_p 为制件坯料质量, g; S

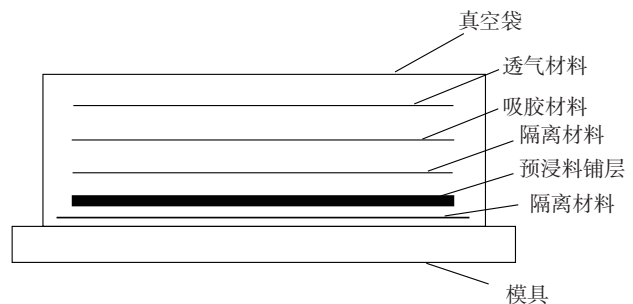


图1 预吸胶工艺组合

Fig.1 Packaging order of pre-bleeding process

为制件面积, cm^2 ; N 为制件设计层数; m_{pf} 为预浸料单位面积纤维质量, g/cm^2 ; m_b 为单位面积吸胶材料吸胶量, g/cm^2 ; ρ_r 为树脂密度, g/cm^3 ; ρ_f 为纤维密度, g/cm^3 ; V_f 为复合材料设计纤维体积含量, %。

预吸胶是热固性复合材料热压罐成型过程中的一个阶段,施加最终固化温度和压力之前,在某个温度和压力状态(或抽真空)所保持一段较长时间,使制件中的空气或低分子挥发物排尽,以尽量减少孔隙率,又不至于将过多树脂压出制件,造成贫胶。预吸胶阶段,树脂体系一般能形成一定程度的交联,使铺层制件的压力得到均匀分布,制件能很好地贴伏在模板上,最后压制成的制件不至于出现皱折、纤维错位等缺陷,预吸胶过程对厚制件的成型非常重要,有助于将厚层板压制密实,并能得到合理的纤维体积含量和最低的孔隙率。

王科等^[1]针对一种国外产碳纤维/环氧预浸料提出了零吸胶工艺,研究表明零吸胶工艺树脂流动受到一定限制,预浸料树脂含量不均匀容易造成所成型层板厚度不均、表面不平整。另外,预浸料树脂流动性小的体系在层间容易出现明显富脂现象;零吸胶工艺夹杂空气主要在真空作用下通过铺层内的通道排出,因此预浸料气体渗透率和成型封装方式对孔隙缺陷有重要影响。

2 吸胶材料

吸胶材料是复合材料成型过程中用的一种辅助材料,在制件成型过程中吸出过剩的树脂并带出气泡,使制件达到设计规定的树脂含量和挥发份含量,以保证

表1 各种吸胶材料的透气度及吸胶量

吸胶材料品种	生产厂家	材料单位面积的重量 / (g·m ⁻²)	透气度 / (m ³ ·m ⁻² ·s ⁻¹)	4211 树脂体系吸胶量 / (10 ⁻² g·cm ⁻²)	5222 树脂体系吸胶量 / (10 ⁻² g·cm ⁻²)
热压法涤纶无纺布	上海无纺布厂	40	2.7	1.4	1.4
		70	1.5	1.7	1.7
		90	7.6 × 10 ⁻³	1.5	1.7
滤纸	杭州新华造纸厂	120	6.1 × 10 ⁻³	1.9	2.2
		170	12 × 10 ⁻³	3.1	3.3
Airweave FR	美国 Airtech 公司	100	0.5		1.8

表2 几种常用吸胶材料吸取QY8911时的D_{吸j}

吸胶材料	玻璃布 (厚 0.1mm)	中性滤纸 (杭州造纸厂)	可剥布 (Airtech INC)	吸胶毡 (Airweave S)
D _{吸j} / (g·m ⁻²)	90~100	120~140	70~80	170~200

制件的质量。董云明等^[2]将国内的吸胶材料与国外成熟的吸胶材料进行了性能对比研究,结果见表1。

通过研究发现,滤纸的透气度可以满足复合材料成型用吸胶材料的要求,但其柔韧性差,不适于成型面较复杂的复合材料构件;上海无纺布厂生产的热压法涤纶无纺布无论从透气性或工艺性来说都优于美国的 Airweave FR;杭州新华造纸厂生产的 90g/m² 滤纸可作为复合材料平板成型用吸胶材料,而上海无纺布厂生产的 40g/m² 及 70g/m² 热压法涤纶无纺布可作为复合材料复杂构件成型用吸胶材料。

梁宪珠等^[3]认为吸胶材料能够吸取树脂是必要条件。首先树脂必须能够流动,树脂的粘度应较低;其次必须有气路,吸胶材料内的压力比树脂内的压力小,两者缺少任何一个条件,此过程都将停止。吸胶材料单位面积吸树脂量,两层或两层以上不是单层的倍数,其吸树脂量与树脂流动性及气路有关,应分别测定。常用的吸胶材料有玻璃布、滤纸、吸胶毡和可剥布等。设单层吸胶材料单位面积吸取的饱和树脂质量为 D_{吸j},那么,以上吸胶材料吸取 QY8911 时的 D_{吸j} 见表 1^[4]。

3 吸胶量的计算方法

吸胶系统理论吸胶树脂量的计算。梁宪珠^[4]对吸胶系统计算公式进行了推导。

如图 2 所示,对应于叠层块点 A 处吸胶材料为 m 层,任一层单位面积吸掉饱和树脂质量为 D_{吸j},则在点 A 处 m 层单位面积吸掉的饱和树脂质量为:

$$\sum_{j=1}^m D_{吸j} \quad \circ$$

设 Q 为单个排气孔树脂流出质量; L 为叠层块边界单位长度树脂流出质量,盖板排气孔为 q_k,叠层块边界长度为 l_k,则 S_k 区域内周边与排气孔单位面积跑掉

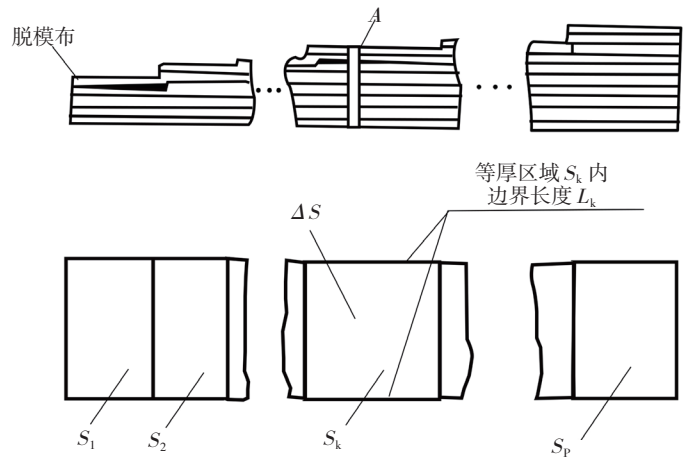


图2 待固化或预吸胶的不等厚叠层块

Fig.2 Unequal thickness laminated blocks of be cured or pre-bleeding process

的树脂量为:

$$\frac{q_k Q + l_k L}{S_k}$$

则有:

$$\sum_{j=1}^m D_{吸j} + \frac{q_k Q + l_k L}{S_k} = D_f \sum_{i=1}^n \left(\frac{1 - W'_{hi}}{1 - W'_i} - \frac{1}{W_f} \right) = D_f \sum_{i=1}^n \left(\frac{1 - W'_{hi}}{1 - W'_i} \right) - \frac{n D_f}{W_f}$$

式中, W_f 为纤维质量分数; n 为叠层块层数; D_f 为单位面积纤维质量; m 为吸胶材料层数; D_{吸j} 为单层吸胶材料单位面积吸取的饱和树脂质量; i 为叠层块中预浸料任一层; j 为吸胶材料中任一层。

上式适用于各种混杂复合材料任意形状和厚度叠层块吸胶系统的计算。公式中 D_f, W'_{hi} 和 W'_i 可从预浸料上测得, W_f 由设计给出。此式为工程上经常使用的吸胶系统计算公式。

表3 叠层板厚度及沿厚度方向树脂含量

叠层块	24层			36层			46层			66层			备注
	理论厚度/mm	实际厚度/mm	树脂含量/%	理论厚度/mm	实际厚度/mm	树脂含量/%	理论厚度/mm	实际厚度/mm	树脂含量/%	理论厚度/mm	实际厚度/mm	树脂含量/%	
1		2.81	28		4.40	30		5.60	30		8.12	31	无损检测合格孔隙含量<1.5%
	2.88			4.32			5.52			7.92			
2		2.77	27		4.44	31		5.46	28		8.16	31	

梁宪珠等^[3]还对该公式进行了实验验证,固化后叠层板厚度及制件沿厚度方向树脂含量见表3。从区域厚度看,吸胶材料实际吸树脂量与设定的基本相符,相对厚度误差 ≤ 0.05 ,说明设定的吸胶材料比较准确,同时也证明吸胶系统公式比较可靠。

4 结束语

(1) 预吸胶过程对厚制件的成型非常重要,有助于将厚层板压制密实,并能得到合理的纤维体含量和最低的孔隙率。针对不同树脂,可以采用零吸胶工艺。

(2) 针对不同的树脂基体和成型构件结构应选用不同的吸胶材料。同时,吸胶材料单位面积吸树脂量,两层或两层以上不是单层的倍数,其吸树脂量与树脂流动性及气路有关,应分别测定。

(3) 吸胶系统计算公式对吸胶材料的选择有重要的参考价值。

参考文献

[1] 王科,顾轶卓,李敏,等.零吸胶工艺复合材料层板成型质量与预浸料特性关联分析.玻璃钢/复合材料,2011(3):28-33.
 [2] 董云明,倪荣根.复合材料成形工艺用吸胶材料应用研究.材料工程,1994(12):37-38.
 [3] 梁宪珠,谢向莉,韩立军,等.叠层成型用吸胶材料吸树脂量分析.玻璃钢/复合材料,1997(4):15-20.
 [4] 梁宪珠.热压罐法复合材料成形吸胶系统的计算及预浸料树脂含量的选择.航空工艺技术,1996(1):5-8. (责编 深蓝)

(上接第102页)

的第6组的开孔压缩强度更高,其原因是褶皱的边缘离开孔位置较远,因而褶皱边缘处受压时的失稳对孔的影响较小。

3 结论

本次试验用褶皱的宽高比来表征复合材料褶皱的状态。运用新型HFVI工艺制得了带所设计宽高比褶皱的试样。共考察了5组不同宽高值的褶皱以及不同

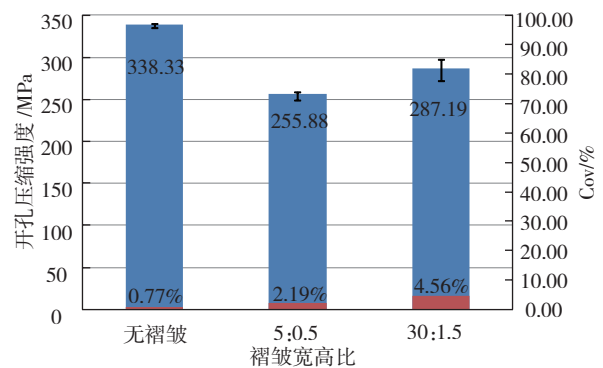


图6 相同宽高比,不同宽高值

Fig.6 Open hole compression strength of samples with the same length/height ration but different length/height value

宽高值下褶皱位置对开孔压缩强度的影响,并对各种不同情况下试样的破坏模式进行了分析。

(1) 本研究提出了用褶皱的宽高比来衡量复合材料褶皱的状态。当预制体褶皱的中心位于试验件中心时,试件的开孔压缩强度最低,下降了约21%~24%;

(2) 当固定褶皱的高度 h ,增加褶皱的宽度 l ,试件的开孔压缩强度随褶皱宽度的增加而提高;

(3) 当固定褶皱的宽度 l ,增加褶皱的宽度 h 时,随着褶皱高度的升高,褶皱的坡度增加,开孔压缩强度随之降低。

参考文献

[1] Fish J, LeMonds J, Shek K L. Modeling and simulation of wrinkling in compression molding process of fiber reinforced composites. Rensselaer Polytechnic Institute, General Electric Company.
 [2] Guillaume S. Finite element-based failure models for carbon/epoxy tape composites. Georgia Institute of Technology, 2009:1-73.
 [3] Cloude B, Kevin O S, Scott S. Process for reducing wrinkles in composite laminated structure. United State Patent, US8.206.526 B2, Jun 26, 2012.
 [4] Chris A. Evaluation the effects of wrinkle bends[EB/OL]. www.Pipelineandgas technology.2009[2014-5].
 [5] 刘强,赵龙,曹正华.VARI工艺成型纤维增强树脂复合材料层板厚度和纤维体积分数的影响因素.复合材料学报,2013,30(6):90-95. (责编 杰一)