

辅助工装在解决复合材料制件表面质量问题中的应用

赵景丽 李河清 张 剑

(西北工业大学 365 所,西安 710072)

摘要 主要研究了橡胶、热收缩塑料用作辅助工装在真空袋/热压罐成型复合材料制件中的应用。结合实验研究总结了在复杂的层压件、管状结构件及蜂窝夹层结构件成型时辅助工装选用材料要点、制作工艺控制要点等,有效地解决了复杂复合材料制件在成型中易出现的表面缺胶、发白、架桥等缺陷,提高了产品的质量。

关键词 复合材料制件 辅助工装 橡胶 热收缩塑料 表面质量

复合材料具有比强度、比模量高及耐湿热性好等优点,因而复合材料制件已逐渐被航空、航天飞行器所采用。在复合材料成型工艺中,真空袋/热压罐成型法是成型高性能复合材料制件的主要方法之一。该成型方法是按设计要求的铺层顺序先将预浸料铺放在模具内,然后用真空袋将尚未成型的制件密封,抽真空,以排除在铺层内的气泡、挥发分 and 袋内的空气,按最佳的固化工艺参数在热压罐内固化成型。

采用这种成型方法加工表面质量优异的复合材料制件是从事复合材料制品设计、工艺人员一直追求的目标之一,但是复合材料制件表面往往因这样那样的原因而出现皱褶、架桥现象。究其原因,主要是复合材料制件在固化封装时使用的诸如真空袋、隔离膜、透气毡等辅助材料在加压时被压缩产生皱褶所致。这些皱褶映印在软化的层压件上,固化后便形成复合材料制件的表面缺陷。而在蜂窝夹层结构件中往往出现蜂窝大面积被压塌的现象,使固化后制件的表面质量变差。为了解决这些问题,许多设计、工艺人员正在研究采用其它成型方法加以解决^[1~3]。笔者主要从辅助工装(软模)材料的选择、使用及工艺控制角度研究了如何解决真空袋/热压罐成型复合材料层压件、蜂窝夹层结构件等制件的表面质量问题。

1 辅助工装的作用

辅助工装是指真空袋/热压罐成型过程中在树脂固化之前置于预浸料铺层表面上的板形件。可用作辅助工装的材料有金属铝板、玻璃纤维层压板、硅橡胶、丙烯酸酯橡胶等。其主要作用为:(1)可以在固化过程中使温度和压力传递均匀,使固化后的复合材料制件的表面平整、光滑;(2)可以避免其它辅助材料如隔离织物、吸胶材料、透气材料、真空袋薄膜等在复合材料制件表面造成皱褶现象或预浸料架

桥现象。传统的辅助工装材料一般选用金属铝,而铝在使用过程中容易变形,且与模具的敷贴性不好,成型后的制件容易在层压件某些部位形成气泡。对于大型尤其是复杂结构的制件,金属显得力不从心。而用玻璃纤维层压板制作的辅助工装则能克服金属辅助工装的不足,但材料的选择和铺层角度的设计尤为关键。否则,成型后的辅助工装与模具的敷贴性不好,且易引起层压板断裂。采用橡胶制作辅助工装的优点是它可以任意赋形,既能克服金属辅助工装难以成型复杂形状制件的缺点,又可弥补玻璃纤维层压板易断裂的缺点。

2 层压件

层压件是复合材料制件常见的结构形式,一般的结构形式为框板、加强筋、薄壁腔体结构、工字梁、波纹梁、盒形件,以及一些复杂的曲面。其中复合材料梁、肋等制件在飞机中属于关键件,对其内外表面的平整度、结构尺寸(参与装配区等)都有严格的要求。根据层压件形状及设计要求(厚度均匀性、表面状态、装配面尺寸控制等)的不同,辅助工装的设计方案也不尽相同,特别是对图 1 所示形状复杂(变截面、尖点、曲面、内圆角)的制件,辅助工装的选择和成型工艺方案的设计是决定制件是否合格的关键。

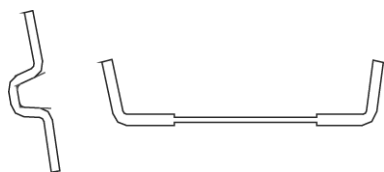


图 1 复杂复合材料制件

2.1 橡胶辅助工装

用橡胶制作辅助工装的优点是,橡胶具有优良的耐高温氧化性,可在 175℃ 以上的温度间断使用

或短时间使用, 这种性能可满足大多数中温固化复合材料的成型工艺要求, 加之其可以任意赋形, 适于用作形状复杂制件的辅助工装, 且制件成型后由于橡胶热胀冷缩的特性, 脱模效果好, 具有不可替代的优势。从长远的发展来看, 人们越来越重视橡胶辅助工装在复合材料成型方面的应用^[4]。根据橡胶的特性, 选用不同的牌号进行了实验研究。表 1 列出几种橡胶的主要性能指标。

表 1 几种橡胶的性能指标

牌号	配比或组成	邵氏硬度	耐热温度 /℃	密度 / g·cm ⁻³	扯断伸长率 /%	硫化参数	生产厂家
Aircast	基体 硫化剂为 10:1	50±5	232	1.32	180	室温 24 h	美国 Airtech 公司
Airpad	丙烯酸酯橡胶片料	65	204		400	170℃ / 2 h / 0.5 MPa	美国 Airtech 公司
R-10301	硅橡胶: 硫化剂为 10:1	30~40	200	1.3	>300	室温 48 h	中蓝晨光化工研究院
Butyl 200	丁基橡胶片料	47~57	200	1.1	>550	157℃ / 10 min	法国 AEROVAC 公司
LTE16-70	硅橡胶片料	70	260		350	66℃ / 8 h	英国 AGC 公司

通过实验研究发现^[5], 使用国产 R-10301 硅橡胶制作辅助工装时在 120~130℃ 的热胀压力可达 0.72~0.85 MPa, 制成的辅助工装经重复使用后, 在 125℃ 时的热胀压力下降了 13.84%。美国产 Aircast 亦可用作辅助工装并已在各大飞机公司得到应用。但是其在制作过程中混合 A、B 组分时需提供最佳的排气效果进行脱泡, 否则制成的辅助工装气泡多, 仅适于用作小型腔制件的辅助工装。而对于大型腔的制件, 因混合时不能一次到位, 因而增加了生产工序和能耗等, 需要选用橡胶片料。另外一次性投入制作样件(与制品厚度、形状一致)后, 如果辅助工装在使用过程中损坏, 可以在最短的时间内以最低的价格(相对于金属而言)翻制一套新的辅助工装, 对生产进度影响最小。

2.2 工艺控制

用复合材料模具直接制作橡胶辅助工装时应注意的主要问题是: (1) 辅助工装与模具的配合间隙要合适。若间隙太大, 则造成成型压力降低, 排气不够, 所成型的复合材料制件表面会出现皱褶、气泡; 而间隙小, 流胶过多, 制件表面则易出现发白、缺胶现象。(2) 应尽量减小橡胶的收缩率。橡胶成型时如果温度太高(达到 202℃)会产生收缩, 且收缩率较大, 为了防止或减少这种收缩, 既可采用环氧树

脂/碳纤维预浸料或环氧树脂/玻璃纤维预浸料进行增强, 也可选用金属丝网进行增强。(3) 橡胶辅助工装上排气孔的设计(孔径、孔距等)对制件的成型质量也有一定的影响。(4) 提高使用寿命。橡胶的撕裂强度大小不一, 应根据使用情况选择合适的橡胶, 建议对有尖角的制件采用硅橡胶, 而不宜采用丙烯酸类橡胶(撕裂强度低)。

制备辅助工装的工艺流程如图 2 所示。首先要根据制件的形状选择合适的橡胶材料, 然后在成型模具上用玻璃布预浸料制作一假件, 脱模之前用砂纸将假件表面打磨光滑。脱模后继续打磨至假件与产品的厚度一致。其中工艺组合与碳纤维复合材料制件工艺组合基本相同, 只是不用吸胶材料。工艺组合材料顺序为: 隔离织物→无孔膜→透气毡→真空袋。

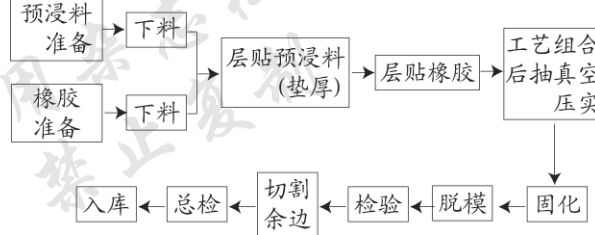


图 2 辅助工装制备工艺路线

3 管状结构件

3.1 橡胶及热收缩塑料辅助工装

碳纤维复合材料管材对内径尺寸精度控制不严, 但对外径要求较高。据此情况, 其一可利用线膨胀系数较大的弹性材料作成型模, 以线膨胀系数小的钢材作辅助模, 成型时通过弹性材料传递压力、施加压力。其二选用一些热收缩塑料或橡胶作为辅助工装, 以钢材作为成型模。这种热收缩塑料是指某些聚合物分子经过电离辐射后, 其分子键间形成化学键, 由线性结构变成三维网状结构。将交联后的结晶高分子材料加热到其熔点以上则成为弹性体橡胶, 在此状态下施加外力作用进行拉伸、扩张并迅速冷却后, 这一拉伸状态就被保留下来。使用时只需将其加热至一定温度, 依靠弹性作用又收缩至扩张前状态^[6,7]。热收缩塑料管起初作为绝缘密封材料使用, 其品种繁多, 大多是针对改进电气性能设计的, 将其应用于复合材料成型, 必须经过相关的性能试验验证, 选材的主要依据是: (1) 热收缩塑料管应满足复合材料的固化工艺条件; (2) 固化过程中达到收缩压紧、改变复合材料表面状态的目的。

表 2 列出部分热收缩管的性能。

表 2 部分热收缩塑料管的性能

项目	聚烯烃	改性聚烯烃	全氟(乙烯/丙烯)共聚物	聚氟丁二烯橡胶
收缩温度/℃	120~130	90~100	>330	175
使用温度/℃	150	150	350	250
横向收缩率/%	80	80	75	70
纵向收缩率/%	<10	<5	<10	<10
拉伸强度/MPa	14.7	13.0	19.6	12.0

3.2 工艺控制

橡胶用作辅助工装存在的问题是,成型过程中橡胶在加热初期显著膨胀,对预浸料挤出胶量大,局部有贫胶现象,而在树脂完全固化之前橡胶压力松弛,其膨胀力减退,纤维层间压力减小,因而使该部位层间性能变差,破坏实验时出现屈曲现象。因此有必要对橡胶辅助工装材料选择、热膨胀铺层等关键技术环节进行深入的研究。对于成型后的制件来说,硫化后的橡胶尺寸偏小,经试验证明,缺少部分可用生胶片填满。

热收缩塑料管应用于复合材料成型时应注意的 2 个问题为:一是热收缩塑料管破裂;二是收缩引起制件表面层纤维错位。前者是由于热收缩塑料管在收缩时环向张力较大,受到硬棱角挤压或划伤时会使裂纹迅速扩展;后者是因为加热方式不当,受热不均匀,收缩量、收缩率不一致所致,所以升温速率要均匀。

4 蜂窝夹层结构件

蜂窝夹层结构件一般采用共固化方式成型,在这种情况下,通过蜂窝传递面板的压力是不均匀的。对于夹层结构件,所设计的结构往往较复杂,存在夹层结构与层压件的混合形式,而且蜂窝需要在梁、框、肋等主体结构部位断开,加之内外蒙皮往往为薄壁结构,内蒙皮较薄,加压不当或辅助工装选择不当,就会出现蜂窝大面积压塌的现象,造成制件报废。

4.1 辅助工装方案

辅助工装在蜂窝夹层/层压件混合结构中通常是置于层压部位的表面上,它除了可以在固化过程中使温度和压力传递均匀,使固化后的复合材料制件在梁、肋、槽位置的表面平整、光滑外,还起到阻挡蜂窝移动的作用。为了满足设计工艺质量的要求,通常根据制件大小及其复杂程度在层压部位选择铝板、玻璃纤维层压板或橡胶制作的辅助工装。表 3 列出 3 种辅助工装的优缺点。当内蒙皮较薄时,需用玻璃纤维层压板制作辅助工装,固化前置于内蒙

皮上起到匀压作用,以避免蜂窝大面积压塌现象。

表 3 3 种不同辅助工装材料优缺点比较

材料	优点	缺点
铝板	适用于小型的夹层结构件,加工难度低,使用寿命长,成型后制件的表面质量好	分段制作、分段定位,易变形,依赖于操作人员的技能,与模具的敷贴性不好,成型后制件在层压部位容易形成气泡
玻璃纤维层压板	可整体制作、分段定位,批量成型费用低,合格率高,寿命较长	与模具的敷贴性不好,易断裂,设计及制造工艺复杂
橡胶	适用于复杂型面的结构件,可整体制作、分段定位,任意赋形	型面尺寸难以保证,刚性差,寿命短,仅适用于小批量生产

4.2 工艺控制

玻璃纤维层压板及橡胶辅助工装的工艺控制要点同 2.2 节所述的要点一致,唯一需注意的是,在板件模上用预浸料垫厚时,由于蜂窝夹层结构处外蒙皮的厚度可变,当层压部位存在纵横交叉时,为了保证垫厚材料的厚度与外蒙皮的厚度一致,整个垫厚材料在铺层时,在纵横交错处层与层间只允许对接,不允许搭接,这样才能保证制作的辅助工装具有准确性与正确性。

5 结语

(1) 大量的研究表明,在真空袋/液压罐成型复合材料制件用的辅助工装中,有必要对橡胶材料的选择、热膨胀设计和预浸料的铺层设计等关键技术环节进行深入的研究。

(2) 热收缩塑料管在复合材料制件成型中的应用,很好地解决了复合材料管状结构件的表面缺陷问题,而且表面糙度大为改善,高温固化后表面未有较大的流淌变形现象,而且经表面处理脱模也比较容易。今后需进一步研究、改善塑料的收缩性能并提高其耐高温性能。

参考文献

1 董云明,刘卫平,翟全胜,等.碳纤维不规则“凹”结构件的研制.宇航材料工艺,1996(4):12

2 李河清,赵景丽.碳纤维机翼环肋的研究.工程塑料应用,2005,33(4):35

3 王永贵,陈永清,侯俊生,等.复合材料构件波纹梁的研究.航空制造工程,2005(7):64

4 李郁忠.橡胶材料及模塑工艺.西安:西北工业大学出版社,1998.

5 李连清.热胀法复合材料成型新工艺.宇航材料工艺,2002(3):32

6 赵成刚.大口径热缩管的制造.塑料科技,1994(1):18

7 靳武刚,高建军,吴利英.热缩塑料在 CFRP 管中的应用.塑料科技,2001(12):9

APPLICATION OF AUXILIARY MOULD IN SOLVING SURFACE
QUALITY PROBLEM OF COMPOSITE PART

Zhao Jingli, Li Heqing, Zhang Jian

(Institute of 365, Northwest Polytechnical University, Xi' an 710072, China)

ABSTRACT The application of auxiliary mould of rubber and thermal contractible plastic in composite parts by vacuum bag/autoclave molding was studied. The points of material selecting and preparation process controlling of auxiliary mould when molding complex laminating parts, tube structural parts and honeycomb sandwich parts. The surface defects such as short molding, blanching and bridging during molding complex parts were solved effectively, and the product quality was improved.

KEYWORDS composite part, auxiliary mould, rubber, thermal contractible plastic, surface quality

欢迎订阅《工程塑料应用》及合订本光盘
《化学分析计量》及合订本光盘
邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

欢迎读者直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社订阅《工程塑料应用》及合订本光盘、《化学分析计量》及合订本光盘, 请注明订阅期刊/光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物, 月刊, 大 16 开本, 每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊, 是中国工程塑料工业协会会刊, 荣获首届、第二届、第三届国家期刊奖等 21 项国家、省部级优秀期刊奖, 入选美国化学文摘(CA)千种表。2006 年定价 8.0 元/期, 全年 96 元。1986 年以来的期刊价目见表 1。欢迎读者来函(附名片) 免费索取样刊。

《工程塑料应用》合订本光盘 我社已将《工程塑料应用》自创刊号(1973 年) 至 2004 年底共 32 卷 181 期的期刊电子化, 并制成合订本光盘, 现公开发售。利用该合订本光盘, 既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅本刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文, 又可根据读者自定义的关键词进行全文检索, 非常方便、实用。该套合订本光盘共 4 张, 可分盘检索也可跨盘检索, 全套光盘优惠售价 500 元。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物, 双月刊, 大 16 开本, 单月 20 日出版。本刊荣获 3 项省部级优秀期刊奖, 被美国化学文摘(CA)收录。2006 年定价 8.0 元/期, 全年 48 元。创刊号以来的期刊价目见表 2。欢迎读者来函(附名片) 免费索取样刊。

《化学分析计量》合订本光盘 我社已将《化学分析计量》自创刊号(1992 年) 至 2004 年底共 13 卷 41 期的期刊电子化, 并制成合订本光盘, 现公开发售。利用该合订本光盘, 既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅本刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文, 又可根据读者自定义的关键词进行全文检索, 非常方便、实用。该合订本光盘优惠售价 150 元。

邮局汇款:

收款单位: 山东省济南市 108 信箱杂志社
邮编: 250031 传真: (0531) 85947355 85878224
电话: (0531) 85878223 85878057 85878278

表 1 《工程塑料应用》单册期刊、合订本价格表

年份	期数	每册单价/元	全年定价/元	合订本/元
1986 ~1989	16	0.825	13.2	19
1990 ~1992	12	1.4	16.8	23
1993 ,1994	10	2.4	24	30
1995	6	2.8	16.8	23
1996	6	3	18	24
1997	6	3.5	21	27
1998	12	3.5	42	48
1999	12	4	48	54
2000	12	5	60	66
2001	12	5.5	66	78(两本)
2002	12	6	72	84(两本)
2003	12	6.5	78	90(两本)
2004	12	7	84	96(两本)
2005	12	7.5	90	102(两本)
2006	12	8	96	108(两本)
合计	164		600(优惠)	600(优惠)

表 2 《化学分析计量》单册期刊、合订本价格表

年份	期数	每册单价/元	全年定价/元	合订本/元
创刊号 ~1998	9	3	27	33
1999	4	3.5	14	60
2000	4	4	16	
2001	6	4	24	
2002	6	5	30	72
2003	6	6	36	
2004	6	7	42	93
2005	6	7.5	45	
2006	6	8	48	
合计	53		248(优惠)	200(优惠)

银行汇款:

户 名: 中国兵器工业集团第五三研究所
开户银行: 中国工商银行济南八一分理处
帐 号: 1602001229014425546