

复合材料J型梁成型工艺研究

陶蕊娜¹ 刘向阳² 田盛羽³ 张钰阳⁴

中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西 西安 710089

摘要: 该文以某型飞机J型梁为研究对象,基于J型梁零件的结构特点,通过对模具设计优化、成型工艺方案的攻关研究,解决了J型梁零件制造过程中存在的厚度均匀性差、孔隙率高、表面质量缺陷等关键问题,实现了J型梁零件的批量稳定生产。

关键词: 复合材料; J型梁; 制造方案

复合材料具有比强度和比刚度高、耐疲劳性、性能可设计和易于整体成形等诸多优点,因此在飞机结构上得到了广泛的应用。复合材料J型梁作为飞机机翼前缘的支撑连接结构件,参与并传递来自翼面的载荷,同时提供对翼型的支撑,为机翼前缘的主承力结构件;J型梁缘条曲面为装配配合面,表面质量、厚度尺寸要求较高,而在实际制造过程中,由于其结构的不对称性,零件易出现内部孔隙率、厚度超差、表面质量缺陷等问题。本文通过优化模具结构和工艺方案,解决了零件制造过程中的技术难点,研制出了满足设计要求的零件。^[1]

1 复合材料J型梁介绍

1.1 J型梁结构

J型梁零件长度约800mm,宽度约150mm,高度约60mm,是典型的J型梁结构,如图1所示。上缘条、下缘条均为曲面形式,与机翼前缘蒙皮装配连接,其中上缘条及腹板厚度1.75mm,下缘条A厚度1.78mm,下缘条B厚度1.75mm,下二面角92.8度,上二面角114.2度。

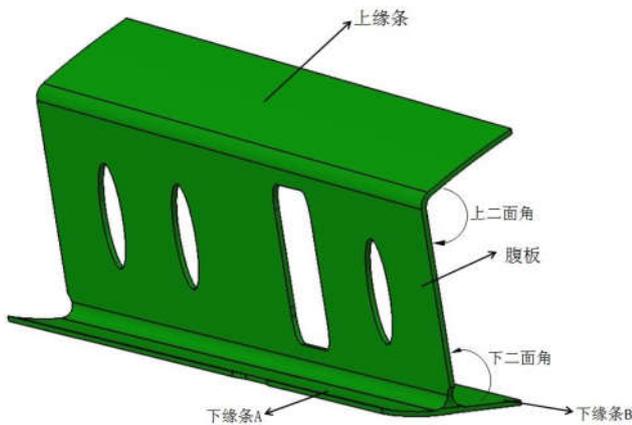


图1 J型梁结构示意图

1.2 J型梁原材料

主材料为:碳纤维预浸料CYCOM 970/PWC T300 3K

ST(CCF),零件外表面铺贴玻璃纤维预浸料:CYCOM 7668/7781 MEDIUM TACK DP,起到防护电化学腐蚀的作用。

1.3 主要技术指标

(1)外观质量:复合材料制件的表面应光滑平整,表面无贫、富树脂,表面纤维被树脂均匀覆盖。

(2)内部质量:分层、脱胶和孔隙密集等缺陷在可控范围内;孔隙率不大于2%。

(3)厚度控制:非R区厚度公差 $\pm 8\%$,R区厚度公差 $\pm 10\%$;

(4)外形公差:理论型面的 $-0.3 \sim 0\text{mm}$,允许施加50N的力。

2 工艺难点及解决措施

2.1 整体外形尺寸精度的保证

J型梁作为整体成型的复杂异性结构件,确保其各个部位的固化成型质量以及外形尺寸精度是研究的关键工艺控制点之一。其中成型模具的设计直接影响到零件外形尺寸、内部质量,成为零件成型质量的主要影响因素。在J型梁制造过程中,需考虑模具、固化工艺与整体成型质量的对应关系,通过采用上、下芯模的组合模具形式,来保障整体成型的实现,从而保障零件的成型质量。

J型梁成型由2套工装组成,一套铺贴成型模、一套压力垫成型模。铺贴成型模结构形式为组合模,由上、下芯模组成,其材料为Q235钢,模具主要由上芯模、下芯模、盖板、控厚块、把手、定位销钉等部分组成。缘条面压力垫定位孔配备有衬套,无需配备单独的钻模板,上、下芯模通过销钉固定,位于模具的两端头,同时增加了控厚块,控厚块厚度为零件腹板面理论厚度,公差为 $-0.1\text{mm} \sim 0\text{mm}$ 。同时在下芯模处增加了把手,方便搬运,在上芯模的上端增加了盖板,方便制袋。

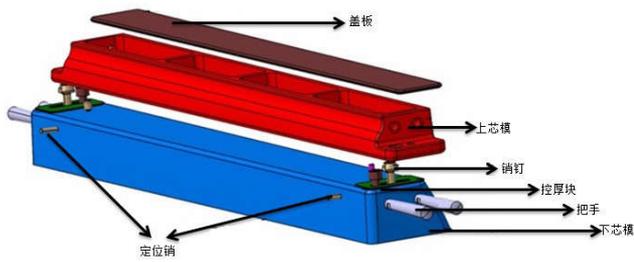


图2 J型梁模具结构示意图

压力垫成型模为平板结构，模具材质Q235钢，工作表面根据零件下缘条面外表面理论型面设计，用于J型梁零件下缘条面的厚度及外型尺寸控制。为节约制造成本，5个零件合用一套压力垫成型模，每个压力垫均配套有与成型模相匹配的定位销孔。

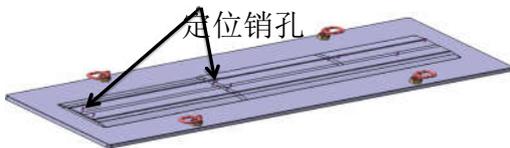


图3 J型梁压力垫模具结构示意图

2.2 工艺流程的控制

J型梁零件的铺贴过程较为复杂，由于结构的特殊性，需要将铺层分为A、B、C三个区域分别进行铺贴(如图4所示)，B区域由1层玻璃纤维织物、3层碳纤维织物组成，A区域由4层碳纤维织物组成，B区域及A区域分别在上芯模、下芯模上进行铺贴，A、B区域均铺贴完成后进行合模，在其形成的三角间隙区采用同种碳纤维预浸料进行加捻填充，以保证零件间无孔隙，确保力的传递，保证零件的力学性能。加捻完成后进行C区域的铺贴，C区域由1层玻璃纤维织物、3层碳纤维织物组成。

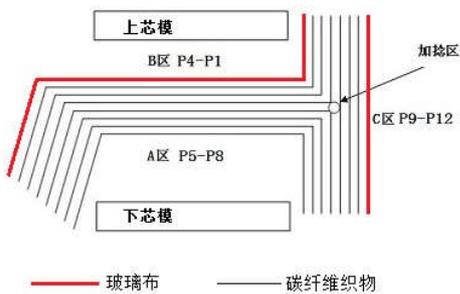


图4 J型梁铺层示意图



图5 J型梁工艺流程图

2.3 内部质量的控制

由于固化过程中的边缘效应，零件边缘处树脂向下

流失，导致零件缘条面整体超薄。为解决零件缘条面尺寸超差问题，在缘条面增加与产品等厚度铝制控厚条进行控厚，减少胶液向边缘聚集流失；同时在零件缘条面增加随型压力垫，压力垫采用10层碳纤维预浸料铺贴固化而成；并且在缘条面四周采用密封胶带增加密封胶措施，削弱产品边缘效应，以保证产品厚度质量。^[2]同时为保护零件表面质量，防止固化过程中密封胶带树脂污染零件，在零件与密封胶带之间铺贴压敏保护胶带及无孔隔离膜进行防护，如图6所示。

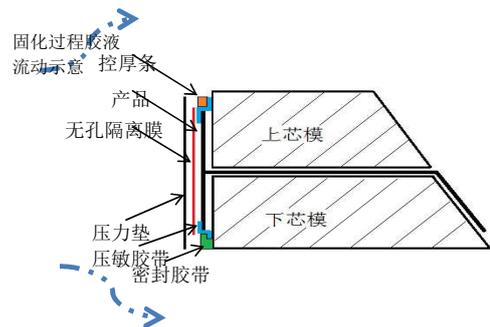


图6 零件密封胶、控厚示意图

2.4 制袋工序的研究

通过试验件的制造，发现J形梁零件固化后，外露缘条面以及零件R区易出现褶皱缺陷，导致零件内外质量均不合格。分析产生褶皱的主要原因是：零件R区及外露缘条面没有进行充分的压实。因此在零件A区、B区铺贴完成后，在上芯模、下芯模合模的缝隙处，填充密封胶带，用于压实零件R区，再铺贴1层未硫化硅橡胶（Airpad）压力垫，未硫化的Airpad压力垫打压后贴合性好，进而保证外部压力的均匀传递到R角区域来保证拐角的成型质量与尺寸厚度；均匀的外部压力促使树脂流动趋于均匀，防止富脂从而共同保证R角质量。为了避免固化过程中密封胶带树脂污染产品，在零件表面铺贴无孔隔离膜进行防护。见图7所示。

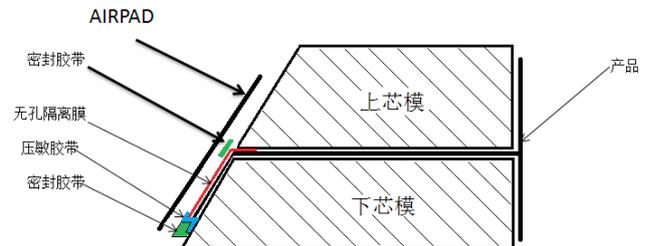


图7 密封胶带、AIRPAD放置示意图

3 复合材料J型梁质量检测

对复合材料J型梁进行外观质量、内部质量和外形尺寸进行检测，检测结果表明，研制的复合材料J型梁满足了设计要求。

3.1 外观质量

复合材料J型梁表面光滑平整, 织物纤维清晰可见, 表面无贫、富树脂, 表面纤维被树脂均匀覆盖。

3.2 内部质量

使用奥林巴斯EPOCH1000便携式超声检测仪对复合材料J型梁进行无损检测, 未见超标缺陷, 孔隙率小于2%, 满足复合材料制件制造与验收技术条件要求。

3.3 厚度控制

使用游标卡尺测量零件厚度, 结果表明, 零件非R区实际厚度都在理论厚度 $\pm 3\%$ 以内, 零件R区实际厚度都在理论厚度 $\pm 5\%$ 以内, 满足复合材料制件制造与验收技术条件中厚度公差要求。^[3]

4 结语

先进复合材料在飞机制造领域应用不断增加已成为

航空制造领域一个发展趋势。复合材料J型梁可用于飞机支撑连接结构件, 在减轻飞机重量, 提升结构强度方面有着重要的意义。本项成型工艺通过优化成型模结构形式、采用密封胶带的封胶工艺和复材压力垫、Airpad压力垫的传压工艺, 所生产的复合材料J型梁零件满足工程技术要求, 产品质量稳定。

参考文献:

- [1] 梁恒亮, 侯军生, 舒卫国, 宋旻键. J型墙共固化整体成型工艺研究. 第17届全国复合材料学术会议论文
- [2] 房晓斌, 郭俊刚, 艾明, 石卓峰. 某型机复合材料C型外翼后梁研制. 粘接, 2018(12)
- [3] 王松, 房晓斌, 艾明. 复合材料J型梁R区褶皱的消除. 粘接, 2019(3)