

复合绝热管气囊成型工艺设计和实验

居建国^{1,2} 李文晓¹ 薛元德¹ 黄维悦²

(1 同济大学航空航天与力学学院,上海 200092)

(2 上海复合材料科技有限公司,上海 201206)

摘 要 对两端收口复合绝热管进行了工艺方案分析,确定气囊成型工艺为优选工艺方案,在此基础上阐述了气囊成型工艺设计的原则,依据这个原则开展了典型样件的研制。结果表明:方案选择合理,工艺设计完整、可靠,产品满足各项指标要求。

关键词 复合绝热管,气囊,工艺设计,样件制备

Processing Design and Experiment of Complex Insulated Tube Air Chamber

Ju Jianguo^{1,2} Li Wenxiao¹ Xue Yuande¹ Huang Weiyue²

(1 School of Aerospace Engineering & Applied Mechanics, Tongji University, Shanghai 200092)

(2 Shanghai Composite Sci. & Tec. Co. Ltd., Shanghai 201206)

Abstract Technique project of making the complex insulated tube with end shrinking is analyzed. Air chamber technique is chosen as the best project. On this base, the principle of the air chamber processing design is clarified. Model sample is prepared. It is indicated that the project is in reason and that the processing design is credible. Test data are in accordance with technical demands.

Key words Complex insulated tube, Air chamber, Processing design, Sample preparation

1 前言

两端收口复合绝热管为双层复合结构,其外层为金属结构,厚 1~2 mm,两端连接部位收口,内孔缩小,厚度增加;内层为玻璃钢功能层。功能层的厚度根据实际使用情况设计,沿轴向分布从小于 1 毫米至数毫米,且形成数个轴向厚度线性变化的区域;在环向截面上要求较高的厚度均匀性,一般偏差为 0.3~0.5 mm。功能层除了要保证尺寸以外,还要求自身的密实性、一致性、无贫树脂区和富树脂区、无内部缺陷、与外部结构层之间粘接的可靠性,并控制粘接界面的脱粘面积和位置。绝热管的外径在几十至数百毫米不等,主要用于在管道内部通过高温高压气体流的场合。本文提出了几种制造成型的方案,并进行了分析比较。

2 成型方案选择

对于两端收口复合绝热管结构,成型方案通常有:(1)功能层预制缠绕毛坯后内加压成型;(2)在结

构层内壁手工铺覆玻璃纤维预浸织物后内加压成型;(3)功能层固化成型后与结构层胶接成型。其中内加压的方式可以是流体加压方式(液体或气囊加压)、固体加压方式(固体膨胀芯模或固体颗粒填充膨胀方式)和机械加压方式等三类^[1~5]。

经分析后认为:第(2)种方法由于成型后尺寸精度等原因,存在明显的局限性;第(3)种方法不适用结构层为两端收口的结构,主要是粘接界面太厚,而且无法保证粘接界面的完整性。因此,第(1)种方法是必然的选择。

在第(1)种成型方法中,机械加压方式需要各零部件尺寸和型面的精确匹配,而且固化的压力是预设的,且不是独立的工艺变量。固体加压的一个最大的问题是压力变化的梯度很大,其压力稳定性和重复性非常差。因此,从加压方式的角度出发,流体加压比较合理;而气囊加压与液体加压相比,具有工装热容量低、质量轻、系统简单等明显优点。因此,选择气囊

收稿日期:2007-01-08;修回日期:2007-03-02

作者简介:居建国,1955年出生,研究员,主要从事先进复合材料的研制工作

成型工艺研制两端收口复合绝热管。其总体方案如下。选用高硅氧布或无碱玻璃布和酚醛树脂,采用机械浸渍方式,将玻璃布均匀浸渍酚醛树脂制成预浸料(胶布);将胶布裁成一定的形状后,缠绕至金属芯模上;适当加温加压,形成预固化坯件;加工毛坯至规定

尺寸;在毛坯件粘接部位涂胶黏剂后放入金属结构层内,定位,放入气囊,密闭两端;放入烘箱按工艺程序充气、加压、加温,使毛坯逐渐与金属构件内壁紧密接触,固化形成一个完整的两端收口复合绝热管。主要工艺流程见图 1。

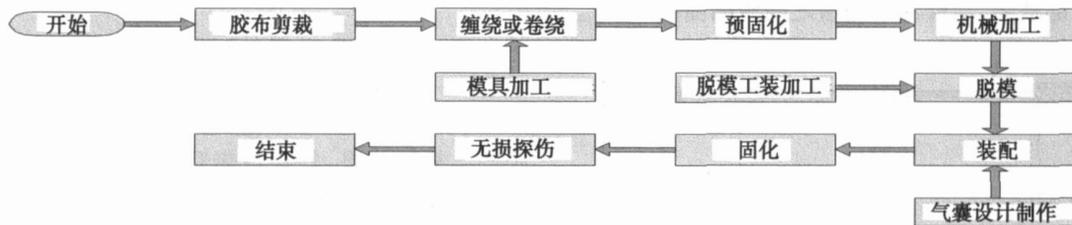


图 1 复合绝热管气囊成型工艺流程图

Fig 1 Air chamber processing chart of complex insulated tube

3 工艺设计

3.1 缠绕模具设计

缠绕模具设计中外型面必须具有高的尺寸精度、考虑工艺过程变化量并满足成型后功能层内形面尺寸的技术要求;材料选择必须考虑模具的刚性、耐高温性并具备较高的线胀系数(CTE),以便于毛坯脱模;对于金属模具,应尽可能考虑中空结构,并在中空结构中增加通气孔。

假设功能层材料固化前后密度不变,则缠绕芯棒直径可根据功能层加工后与成型后的截面积不变原则予以确定,计算公式如下:

$$R_0^2 - R_x^2 = R_{i0}^2 - R_{ix}^2 \quad (1)$$

整理得: $R_{ix} = \sqrt{R_{i0}^2 - R_0^2 + R_x^2} \quad (2)$

式中, R_0 为金属壳体内孔半径, R_x 为设计状态绝热层各位置的半径, R_{i0} 为功能层毛坯车加工后外型面半径, R_{ix} 为缠绕芯棒对应位置的半径。

对于尺寸较大的芯棒,采用铝合金较合适,为了保证芯棒尺寸稳定,应对其进行热处理,退火温度约 280~300,保温 2~4 h^[6],一般在铸造或粗加工后进行。缠绕芯棒表面可以进行各种防粘的表面处理,例如硅油、硅脂类常用的脱模剂;液态结膜半永久性脱模剂;或者聚四氟乙烯涂层喷涂烧结。应注意低成本脱模剂的迁移性对制品的影响以及涂层高温烧结(380 以上、10~30 min)对芯棒尺寸稳定性的影响。

3.2 预固化工艺设计

预固化的目的是使预浸料达到一定的反应程度,以提供功能层毛坯一定的刚性,并具备在后续固化过程中的变形能力。

3.3 脱模方式设计

对于轴向长度较长、孔径较大、内孔锥度较小的宇航材料工艺 2007年 第4期

构件,其毛坯的脱模要进行专门设计。如果毛坯有一定的厚度,可以采用端面加载的方式脱模;如果毛坯厚度很薄,则只能采用功能层毛坯整体受力相对于缠绕模具运动的方式,要设计专用的脱模工装,给毛坯一定的支撑,保持其整体稳定性,并借助工装与绝热层之间的摩擦力传递脱模过程施加载荷的目的。另外,利用金属芯棒材料与功能层材料 CTE 的差别,通过加大预成型与脱模温度差可以改善脱模效果。

3.4 装配工艺设计

装配是将表面涂过胶黏剂的功能层毛坯放入金属构件内,定位,放入气囊,装上前后封头,准备固化的过程。其中气囊结构形式的设计应考虑气囊材料的耐温等级、变形能力以及与功能层材料不发生化学粘连等问题,计算气囊直径与功能层毛坯的匹配问题,考虑气囊两端形面与金属封头形面的一致性,以及气嘴的连接与定位问题。

硅橡胶可在 170 长期使用、延伸率大于 150%、与一般的极性材料不发生化学反应或产生粘连,其厚度一般控制在 2~3 mm,气囊纵横向的分块连接应采取斜面搭接方式,尽量减少连接部位与硅橡胶片材自身厚度的不一致。气囊直径应小于功能层毛坯内径数毫米,以防止气囊打褶影响产品内表面。两端金属封头应设计成椭球状,气囊两端的型面与其一致。应避免内型面线段角度突变的设计,以免造成气囊非正常损坏。

3.5 固化工艺设计

气囊加压方式是一种不依赖于温度的加压方式,先在固化过程的初期提供一个小的压力,给予功能层一个定形支撑力,当温度到达功能层毛坯材料 B 阶温度,再逐步增加压力使其变形贴合,然后保持压力

升温使其完全固化。

4 实验与结果

根据工艺方案研制的样件,见图 2。功能层材料的技术指标为:密度 $> 1.65 \text{ g/cm}^3$,氧乙炔线烧蚀率 $< 0.15 \text{ mm/s}$,环向断裂应变 $> 0.5\%$,同一截面厚度不均匀性 $< 0.5 \text{ mm}$,色泽均匀,无贫树脂区和富树脂区、无内部缺陷、与外部结构层之间脱粘面积 $< 8\%$ 。

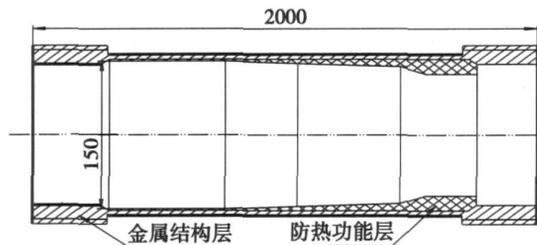


图 2 复合绝热管典型样件

Fig 2 Model sketch map of complex insulated tube

主要原材料:高硅氧布, BW T260 - 82,材料标准, GJB 1873—1994,陕西兴平玻璃纤维总厂生产;钎酚醛树脂, DRQS - 3 - 75,材料标准, GJB 1331—91,北京玻璃钢研究院生产。

生产准备过程:(1)预浸料要求(树脂含量,可溶性树脂含量,挥发分含量)符合标准(低压钎酚醛树脂预浸布, QJ1126 - 1987);(2)布带落料要求;根据缠绕工艺对缠绕布带宽度以及角度的要求,采用机械落料的方式对预浸布进行裁剪,备用;(3)芯模准备:按 3.1 节的原则制造铝合金芯棒,表面喷涂烧蚀聚四氟乙烯;(4)气囊准备:按 3.4 节原则设计气囊,采用片材搭接硫化方式进行连接,两端带圆弧段与筒体段连接的环向搭接区域位于防热功能层外的两端。

样件制造过程:(1)在缠绕芯棒上采用布带缠绕方法进行大螺旋角叠层缠绕,考虑预固化压缩等原因,缠绕毛坯厚度留有约 20% 的余量;(2)预固化毛坯,压力为 $0.3 \sim 0.6 \text{ MPa}$,真空度 $< -85 \text{ kPa}$,保温温度为 $85 \sim 95$,时间为 $10 \sim 40 \text{ min}$,预固化度控制范围为 $20\% \sim 40\%$;(3)车加工预固化毛坯,保证功能层外径比金属壳体孔口处直径小 $0.20 \sim 0.50 \text{ mm}$;(4)装配按 3.4 节原则进行,详见图 3,装配前在胶接面涂敷耐热性结构胶黏剂,在功能层受压固化过程中会有少量树脂和胶黏剂溢出,应在适当的部位涂脱模剂;(5)将装配后的组件放入烘箱进行固化,固化要求为固化初始状态充气压力控制在 $10 \sim 20 \text{ kPa}$,温度至 60 充压至 0.1 MPa ,再以每 10 加压 0.1 MPa 的程序升温至 100 ,压力为 0.5 MPa ,然后维持压力升温至 $160 \sim 170$ 进行固化,最后冷却至常温脱模。

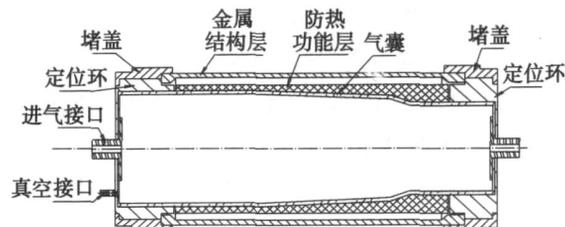


图 3 复合绝热管成型装配图

Fig 3 Molding assembly sketch map of complex insulated tube model

样件结果:复合绝热管内表面平整,无皱折、裂纹、树脂积聚等缺陷。实测功能层材料密度 1.65 g/cm^3 ;经验表明,在这个密度下产品的氧乙炔烧蚀率可以满足 $< 0.15 \text{ mm/s}$ 的指标;环形试样的拉伸强度 $> 130 \text{ MPa}$,断裂应变 $> 0.8\%$;层间剪切强度 $> 10 \text{ MPa}$,界面剪切强度 $> 5 \text{ MPa}$ ^[7]。采用 A 型超声探伤仪 (CTS - 23A,北京航空制造工程研究所制造)探测,在粘接界面上发现直径 $< 30 \text{ mm}$ 的信号区域 6 个,在一端(功能层厚度大的一端) 800 mm 长度内不规则分布,相互间距离 $> 150 \text{ mm}$,信号区域面积总计约 30 cm^2 ,小于粘接界面的 0.5% 。进一步对信号区域的解剖表明,该区域无肉眼可见的明显分层。满足设计要求。

5 结论

对于两端收口复合绝热管,采用气囊成形方案,优化缠绕、预固化、脱模、装配和固化等工艺,制作样件。实验结果表明:方案选择合理、工艺设计完整可靠、制品表面平整,色泽均匀;样件各项指标满足要求;其中,功能层密度 $> 1.65 \text{ g/cm}^3$,氧乙炔线烧蚀率 $< 0.15 \text{ mm/s}$,环向断裂应变 $> 0.8\%$,界面脱粘面积率 $< 0.5\%$,截面厚度不均匀性 $< 0.5 \text{ mm}$ 。

参考文献

- 1 赵渠森编译. 复合材料. 北京:国防工业出版社, 1979: 725
- 2 赵渠森主编. 先进复合材料手册. 北京:机械工业出版社, 2003: 1 206
- 3 牛春匀著,西安飞机工业公司译. 飞机复合材料结构设计制造. 西安:西北工业大学出版社, 1995: 170
- 4 戴夫 R S,卢斯 A C 编著,方征平,沈烈译. 高分子复合材料加工工程. 北京:化学工业出版社, 2004: 311
- 5 古托夫斯基 T G 主编,李宏运等译. 先进复合材料制造技术. 北京:化学工业出版社, 2004: 164
- 6 成大先主编. 机械设计手册. 第三版. 第一卷. 北京:化学工业出版社, 2000: 344
- 7 居建国,李文晓,薛元德等. 复合绝热管低温性能实验研究. 见:第十四届全国复合材料学术会议论文集,中国宇航出版社, 2006: 1 303

(编辑 吴坚)

宇航材料工艺 2007年 第4期