

复合材料胶接方式的设计

吴晓青 李嘉禄 焦亚男

(天津工业大学复合材料研究所,天津,300160)

摘要:研究了复合材料的各种胶接接头的形式,分析了胶接应力,提出了三维编织预制件的混合连接、双搭接斜接、混合斜接的三种方法以及通过模具设计控制表面光洁度、尺寸精度以提高三维编织复合材料胶接质量的观点。

关键词:三维编织预制件 复合材料 胶接接头 胶接应力

中图法分类号:TS 106.6 文献标识码:A

复合材料的整体性是极其重要的,由于产品的复杂性、大型性和成型加工的限制以及工时效率等诸方面的因素,在满足设计要求的条件下,采用胶接的方式将各个部件连接起来不失是一种明智之举。

所谓胶接即是用胶接剂将各种材料粘结的工艺方法,胶接技术早已被人们应用于生活和生产中,除了应用于金属的连接外,也应用于非金属与金属之间的连接,如复合材料与各种金属、橡胶及其他非金属与金属之间的连接等,与铆接、焊接、螺栓连接等方法相比具有胶接结构重量轻、强度较高、应力分布均匀、外形光滑整齐、工艺简单、周期短、可节省大量人工等优点。因此合理的胶接方式是保证高性能粘合剂充分发挥作用的基础。

1 胶接机理和胶接接头的形式

不少学者对粘结机理进行了大量的研究,目前主要有吸附理论、静电理论和扩散理论。其中吸附理论最被广泛接受,它是从分子间的作用力来解释粘附现象,认为粘接力是建立在两种分子之间的分子吸引上面的,胶接现象是与吸附现象类似的表面现象,其胶接的过程分为两个阶段,第一阶段是润湿;第二阶段是吸附粘着。从物理化学的观点来看,当两种物体表面足够紧地靠在一起时都会引起粘附。这种粘附作用可分为两种,即本征粘附与机械粘附。在胶接的情况下本征粘附表示胶粘剂与被胶物表面分子间的吸引力;而机械粘附则表示胶粘剂渗入被胶物材料的孔隙内,胶粘剂固化后被镶嵌在孔隙中而产生粘接力。为了要使两物体紧密地粘附并具有足够的强度,必须使两个物体相互润湿,形成某种能量最低的结合。

对胶接的实际工作而言,要获得最大的粘附,首先要要求胶粘剂与被胶物能很好的润湿,整个表面完全润湿。此外,胶接强度的影响机理是各种因素的综合结果,它主要取决于胶粘剂本身的内聚能和胶粘剂同

被胶材料之间粘附能的大小以及胶接接头的方式等。对于选定的胶粘剂和被粘物胶接接头的形式是极为重要的。胶接接头的各种设计形式如表 1 所示。

表 1 胶接接头结构形式

胶接方式	结构形式
单搭接	
双搭接	
斜接	
斜搭接	
双斜接	
混合搭接	

2 胶接缝的应力

2.1 单搭接

这种胶接头的应力如图 1 所示。

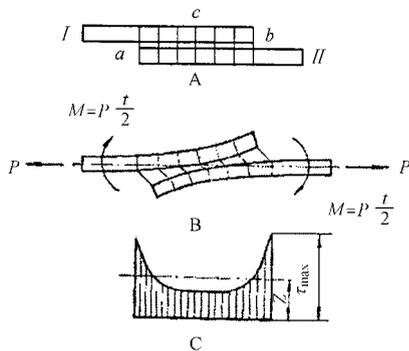


图 1 单搭接应力分析

如果使力的作用线恰好处于胶缝平面上,在胶接平面上仅产生剪切应力。但实际情况是其作用线往往有偏心,并且两胶接面上的力并不作用于一条直线上,如图 1 这样在胶接面上不但有剪应力 τ ,而且还有弯矩 M ,即有垂直于胶接面上的拉应力 σ 。从应力分析可知,胶缝两端处的剪应力和拉应力最大,向中间逐渐递减,中央部位最小,胶接面上的应力分布是不均匀的,因此,这种搭接形式在主要承力

构件上不宜采用。平均剪切强度为：

$$\tau_{cp} = a \times \log \frac{\sqrt{t}}{L} + b \quad (1)$$

式中, L 为搭接长度; t 为被胶接件厚度; a, b 为常数。

2.2 斜接胶接头

斜接头就是将两个被粘物切成同样的斜度, 并将切口进行胶接的连接形式。它的胶接面积大而应力集中小, 根据承载方向的不同应力也不同。

2.2.1 受拉伸(或压缩)力的斜接形式的应力分布如图 2 所示。由应力分析可知, 垂直于胶接面的法向应力 σ_n 和平行于胶接面的剪切应力 τ 分别为：

$$\sigma_n = \frac{P \sin^2 \theta}{b \cdot t} \quad (2)$$

$$\tau = \frac{P \sin \theta \cdot \cos \theta}{b \cdot t} = \frac{P \cdot \sin 2\theta}{2b \cdot t} \quad (3)$$

式中, t 为板的厚度, b 为板的宽度, θ 为斜面夹角。

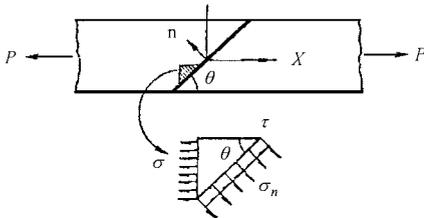


图 2 受拉(压)斜接接头的应力

由于外载荷没有偏心, 不存在弯曲力矩, 因而沿胶接面上的应力分布是均匀的, 在斜面接缝的两端, 稍有一点应力集中。从公式(2)、(3)可知, 应力 σ, τ 都随 θ 的减小而减小, 故设计斜面时, 应使 θ 尽量小, 这时不仅胶接面上的应力小, 而且胶接面积大, 承载能力增加。同时, 当 $\theta < 45^\circ$ 时, 剪应力大于拉应力, 对提高胶接强度也有利。

2.2.2 受弯曲力矩 M 的斜搭接胶接头的应力分布
平板斜搭接时为：

$$\sigma = \frac{6M}{b \cdot t^2} \sin^2 \theta \quad (4)$$

$$\tau = \frac{6M}{b \cdot t^2} \sin \theta \cdot \cos \theta \quad (5)$$

圆筒斜搭接时为：

$$\sigma = \frac{M}{\pi \cdot R^2 t} \sin^2 \theta \quad (6)$$

$$\tau = \frac{M}{\pi \cdot R^2 t} \sin \theta \cdot \cos \theta \quad (7)$$

式中, b 为板的宽度, R 为圆筒的半径, t 为板或圆筒的厚度。

2.2.3 受扭矩 T 的薄壁圆筒斜搭接胶接头的应力分布 在纯扭情况下, 胶接面上只有剪应力, 其正应力 $\sigma = 0$, 应力分布是均匀的, 没有应力集中, 其剪应

力随着 θ 的减小而减小。

$$\tau = \frac{T}{2\pi R^2 t} \sin \theta \quad (8)$$

2.3 对接胶接头

当对接胶接头承受垂直于胶接面的拉力时, 胶接面主要是正应力 σ , 在理想状态下基本是均匀分布的。对接实际上是当斜接 $\theta = 90^\circ$ 时的斜搭接, 由前面的分析可知, 对接的胶接面主要是拉应力而不是剪应力, 而且胶接面积不能很大, 所以它不如斜搭接优越。

3 三维整体编织复合材料胶接方式的设计

由于三维编织工艺的特殊性, 在选择搭接方式时, 应主要考虑其整体性, 保证纤维最大程度的连续性是工艺设计的关键。三维编织复合材料的搭接包含两方面的内容, 其一是对于异常复杂体预制件的非整体性编织, 各部件经缝合后成一体, 采用 RTM 工艺而制成复合材料; 其二整体编织成型复合材料后与其他金属、非金属复合材料的胶接。前者胶粘剂与基体是一致的, 固化制度同一, 一次成型; 后者相反。

3.1 预制件的连接方式及特点

预制件的连接方式及特点见表 2。在混合连接与缝合方式中, 对于形状异常复杂的制品, 可采用增加混合层数的办法, 这样有利于不同结构与形状的变化, 如预留孔、预留凹槽等, 同时每层厚度也可以通过减少纱线等改变编织工艺达到变化几何形状的目的; 对于混合斜接与缝合的连接方式, 编织工艺规则, 减线速率一致, 缝合工艺可操作性强; 而双搭斜接与缝合的连接方式介于两者之间。选用何种搭接方式主要是根据制件的几何形状的变化复杂性、开设不同形状的窗口、预留不同形状的凹槽、预埋各种金属件等具体情况来决定。

表 2 预制件连接的结构形式

胶接方式	结构形式
混合连接与缝合	
双搭斜接与缝合	
混合斜接与缝合	

3.2 三维整体编织成型件的胶接

三维整体编织复合材料制件的胶接与采用其他增强材料的复合材料胶接一样, 与胶粘剂的种类、连接方式、搭接长度、尺寸配合、表面粗糙度、环境条件等多种元素有关。大量的胶接实验表明其强度的离

散性是很大的^[2],由于三维编织复合材料的整体可设计性,免后加工、尺寸精度高的特点,使其在搭接长度、尺寸配合、表面粗糙度的控制上具有明显的优势。搭接长度、尺寸精度均可在模具设计时考虑完成,至于表面粗糙度,由于三维编织预制件的可变形和可压缩性,在模具设计时同样可以考虑控制粗糙度 $R_{\alpha\max}$ 为 50, $R_{\alpha\min}$ 为 12.5,使其与胶粘剂之间发生机械“啮合”作用,改变了过于光滑,不利于粘接,以及过分粗糙,表面有十分明显的凹凸不平,导致凹处积存空气而产生气泡,凸处缺胶出现胶层不连续点,降低胶接强度的现象,使胶接质量稳定。

4 结束语

1. 复合材料的胶接方式多种,对于承受拉伸或

压缩的构件斜接是一种较合理的接头形式。

2. 三维编织预制件的连接应以缝合辅助,编织工艺设计技术含量高,其中以混合斜接方式最为简便,具体连接方式应根据预制件的形状的特殊变化为依据,不同方式的胶接强度有待于大量的实验。

3. 三维编织复合材料的胶接表面光洁度、尺寸配合等可通过模具设计实现。

参 考 文 献

- 1 朱文涛.物理化学.北京:清华大学出版社,1995:133.
- 2 张国梁.复合材料结构连接技术.长沙:国防工业出版社,1991:28.
- 3 植村益次.纤维增强塑料设计.北京:中国建筑出版社,1986.
- 4 谢九明.复合材料连接手册.北京:航空材料出版社,1995:10.
- 5 Liyong Ton et al. Analysis and Design of Structural Bonded Joints. Nse, Australia: kluwer Academic Publishers. 1999.