

直升机无孔蜂窝结构旋翼选胶和

改进胶接工艺的若干经验*

郑瑞琪 那万才 洪国祥 肖静芝 赖士洪

前言

直升机旋翼按苏联 МН-4 图纸系由梳形钢接头, 空心前缘铝大梁, 前缘不锈钢包铁和铝

蜂窝结构后段件等构件组成。除了大梁-梳形接头采用胶接-螺栓复合连接以外, 其它连接均采用胶接(图1)。

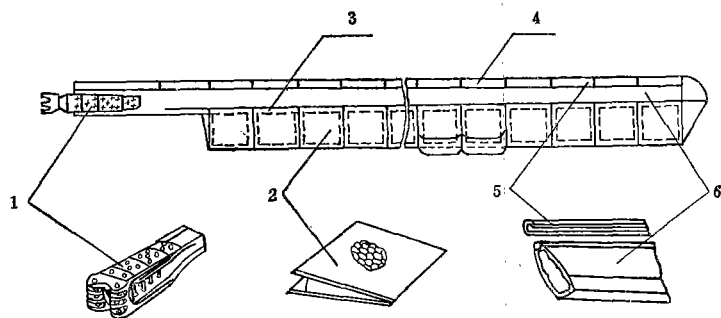


图1 直升机旋翼用胶部位

1. 大梁-梳形接头;
2. 蜂窝后段件;
3. 大梁-蜂窝后段件;
4. 大梁-前缘包铁;
5. 前缘包铁;
6. 大梁

根据苏联原图纸, 蜂窝结构后段件及整个旋翼的装配都采用 МПФ-1 酚醛-聚酰胺胶, 但1962年的新图纸规定除大梁-蜂窝后段件和大梁-梳形接头仍用 МПФ-1 胶外, 其它部位都改用BK-3酚醛-丁腈胶。

直升机旋翼开始试制时采用仿苏 МПФ-1 的SY-7胶, 在生产使用中发现SY-7胶制造的有孔蜂窝后段件进水开胶, 后来按新图纸改用仿苏BK-3的J-03胶。

由于当时对有孔蜂窝结构进水开胶的原因及其改进方法缺乏了解, 对于复合连接和不同金属胶接的用胶特点也缺乏认识, 从试制到批生产一直存在孔蜂窝后段件进水开胶和旋翼接头漏气等质量问题, 曾试用密封腻子等试图改进密封, 但均未能彻底解决问题。

六十年代末期, 鉴于国外飞机胶接蜂窝结

构件为避免蜂窝结构进水开胶等故障已相继改用无孔蜂窝结构, 五五零厂、北航和六二一所开始进行无孔蜂窝结构胶粘剂的研究, 并于1970年在一二二厂进行无孔蜂窝结构旋翼的研制。1971年在一二二厂试制成第一副无孔蜂窝结构旋翼, 经部队全科目试飞和4年600小时(满寿)的使用考核, 性能良好, 维护简便, 未发现进水开胶、漏气等现象。但是第一副无孔蜂窝旋翼在试制过程中遇到了不少困难, 零件报废率较大, 曾进行多次工艺改进试验并经先后共10副无孔蜂窝旋翼试生产的考核, 胶接工艺问题才得到较好的解决。本文就这一阶段有关选胶和工艺改进方面的工作介绍如下:

1. 无孔蜂窝结构的特点和旋翼蜂窝后段件用胶的选择

无孔蜂窝与有孔蜂窝结构的唯一差别, 就

* 参加本试验工作的还有卢华等同志和122厂、550厂、北航的有关同志。

是蜂窝芯箔不须刺扎为排除固化挥发物用的工艺针孔,这就使得每个蜂窝格子都成为独立的密封体系,从而避免由于通过工艺针孔进水而引起脱胶、腐蚀和重心变动等故障。同样这种结构特点对其用胶提出了新的要求:面板胶(含蜂窝芯端部形成圆角用胶,俗称“胶瘤”)在固化过程中应不产生或极少产生挥发物,以免这些挥发物产生增压造成无孔蜂窝结构的面板脱胶“鼓包”或蜂窝芯节点开胶;要求芯条胶在蜂窝构件的成型固化温度下具有足够的强度和韧性,以免产生节点开胶。

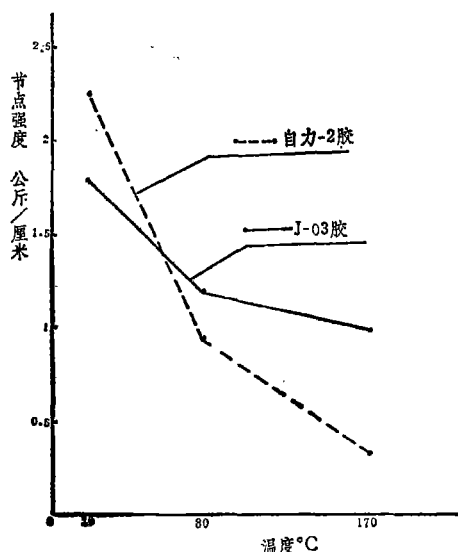


图 2 J-03、自力-2 胶在不同温度下的节点强度

原先胶接有孔蜂窝用的酚醛-丁腈型 J-03 胶系缩聚反应型材料,在固化过程中有较多的水份等低分子物产生(约 5%),不宜作无孔蜂窝面板胶,因此选用了环氧-丁腈-双氰胺型的自力-2 胶。该胶在固化过程中的挥发物少(0.7~1.5%)固化后的胶层致密,具有较好的综合性能,可作为制造无孔蜂窝结构的面板胶。关于芯条胶,原先用的 J-03A 胶的室温节点强度虽比自力-2 胶稍低,但在 170°C 的节点强度比自力-2 胶高(图 2),因而更能抵抗构件固化时挥发物产生增压可能造成的节点开胶,因此仍用 J-03A 胶作为无孔蜂窝后段件的芯条胶。

2. 无孔蜂窝结构楔形后段件的特征及胶接工艺的改进

在制造第一批无孔蜂窝楔形后段件时,出现了节点开胶等现象,造成零件报废。

为了认识无孔蜂窝结构胶接工艺的特点,改进工艺方法,合理选择工艺参数,把挥发物近似地看作理想气体,粗略估算一下胶接固化时由于空气膨胀和挥发物的增压是有益的。

1) 由于芯格中空气热膨胀产生的增压按查理定律:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \dots\dots\dots (1)$$

在 170°C 固化温度下,由于空气的热膨胀引起的增压约为 0.5 个大气压。

2) 由于挥发物产生的增压,按门德雷业夫—克拉贝龙推广的气体方程:

$$\frac{PV}{T} = \frac{W}{M} R$$

$$P = \frac{WT}{MV} R \dots\dots\dots (2)$$

式中 W—气体的重量;

M—气体的分子量;

R—0.082 $\frac{\text{升} \cdot \text{气压}}{\text{度} \cdot \text{克分子}}$ 。

可知:芯格的增压与挥发物含量和固化温度成正比,而与挥发物组成的分子量及芯格的容积成反比。

以形成蜂窝芯端部圆角用胶为例,按制造有孔蜂窝的一般工艺在 55°C 烘干 4 小时,挥发物含量约为 3.5%,如在 85°C 下烘干 24 小时,挥发物含量约为 1.2%。

假定:

(1) 用胶量为 600 克/米²;

(2) 挥发物为残余溶剂 醋酸乙酯或残余水汽;

(3) 蜂窝芯格边长为 0.5 厘米,楔形后段件前缘高度为 6 厘米,后段件弦长为 30 厘米。

算出楔形后段件沿弦向每一芯格的增压示于图 3。

可见：(1) 楔形蜂窝后缘处芯格的增压比前缘大得多，平板蜂窝件则不存在这一问题。

(2) 后缘处相邻芯格的压差比前缘的压差大得多。

(3) 等量的残余水汽比 醋酸乙酯的增压大得多（约 5 倍）。

因此，尽可能地排除残余溶剂，特别是防止水汽的渗入是胶接无孔蜂窝楔形件的关键，也是进行无孔蜂窝构件与大梁等胶接装配时必须注意的问题。当然，彻底晾干需要增加时间，为缩短生产周期可适当提高温度。试验表明，提高烘干温度比延长时间的效果更好。此外，在固化过程中采用控制升温速率和分级加压的方法，可使残余挥发物在升温过程中逐渐地进一步逸出。这样改进了胶接工艺后，生产了近千件无孔蜂窝结构后段件，均未发现节点开胶等故障。

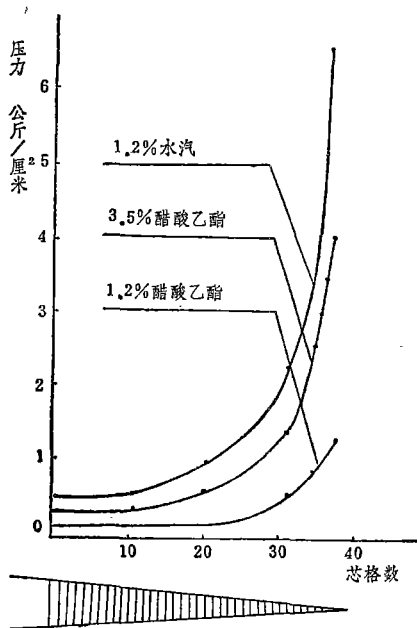


图 3 挥发物组分与含量对楔形无孔蜂窝不同部位增压的影响

3. 后段件与大梁胶接固化过程中后段件出现“鼓包”的克服措施

在无孔蜂窝后段件与大梁胶接的固化过程中，约有 5 % 的后段件出现面板“鼓包”现象，即蒙皮一蜂窝芯开胶，从后段件“T”平面开

始向后扩展，形成一个半圆形的“鼓包”。

根据上述关于挥发物引起无孔蜂窝芯格增压的粗略估算和对有孔蜂窝旋翼一般工艺过程的分析，认为“鼓包”的主要原因可能是由于：

(1) 后段件清理时和碱水清洗时渗入了水份；
(2) 大梁涂胶后在室温下晾干时溶剂排出不彻底；
(3) 后段件与大梁装配时采用了稀胶液滑动装配，使溶剂渗入。这样渗入后段件“T”平面附近的水或溶剂，在固化过程中将产生一定的增压，而自力-2胶在固化温度下的强度较低，当个别后段件胶接不良，特别是有溶剂浸蚀胶层的部位，蒙皮与芯就可能产生脱胶而形成“鼓包”现象。针对这些情况采取了下列改进措施：

1) 后段件成型固化时，原来用玻璃纸做隔离层，固化后为除去玻璃纸及挤出的溢胶，采用水预先浸渍然后用刀刮去的办法，不仅易造成蒙皮和芯箔的损伤，而且水易渗入蜂窝后段件的边缘。后来改用聚四氟乙烯薄膜脱胶，不仅工艺简便，而且避免了水的渗入，消除了“鼓包”的一个隐患。

2) 后段件与大梁胶接装配之前，后段件蒙皮原已经铬酸阳极化，最初为消除经过多道工序之后表面受到污染，曾采用 5% 氢氧化钠溶液清洗，然后用水清洗，但这种处理可能导致蜂窝后段件边缘渗入水分。后来采用汽油、丙酮擦拭方法进行清洗，从而消除了“鼓包”的另一隐患。对两种清洗方法进行了耐湿热老化性能比较，发现用原来碱液清洗的方法虽原始强度较高，但经在温度 55℃、相对湿度 90% 处理一年后，剥离强度由 9.1 公斤/厘米降至 2.6 公斤/厘米，而用汽油、丙酮擦拭的剥离强度下降很少（见图 4），这一点是值得重视的。

3) 后段件与大梁胶接装配，原采用自力-2 胶稀胶液滑进装配的方法，“T”平面残留大量溶剂，为消除溶剂造成的隐患，后改用 269 环氧双氰胺无溶剂胶滑进装配，避免了溶剂渗入，同时保证了胶接质量。

4) 为增加“T”平面附近蜂窝夹层固化压
(下转第 18 页)

一般沟槽腻子特点外, 还有较突出的耐高低温性、耐油性及良好的工艺性, 同时兼有腈硅型腻子的独特性能, 即对受燃油润湿过的金属表面仍有极好的粘附能力。XM-34腻子与美国PR-719整体油箱用沟槽注射型不干性密封腻子的性能相似(见下表)。

主 要 性 能		PR-719 性 能	XM-34 试验数据	
耐 油 性	82°C×30天	重量变化%	+ 6	+1.1
		体积变化%	- 3	+3.6
		外 观	无 裂 纹	无 变 化
	130°C× 50小时	重量变化%	—	+2.3
		体积变化%	—	+5.0
		外 观	—	无 变 化
粘附性(25°C,对铝 合 金)		100	100	
低 温 性		-53°C不龟裂, 不失去粘附力	-60°C×2小时弯曲不断裂, 不失去粘附力	
密 封 效 果		咸水和燃油循环6周期, 0.7公斤/厘米 ² , 117°C不渗漏	- 54°C、82°C、120°C充油和无油循环3周期, 0.5~2.1公斤/厘米 ² 不渗漏	
热 挤 出 性		177°C×30分钟,端部2.3毫米,孔眼7.6毫米	130°C×30分钟, 端部0.5毫米,孔眼6.0毫米	

XM-34沟槽密封腻子已通过了有关若干机种的机翼整体油箱模拟试验盒的振动疲劳试验、低温充气试验、模拟环境条件试验和全机静力试验, 试验过程中均无煤油渗漏现象, 密封性能良好。

XM-34密封腻子还可用于其它相似条件下的各种密封(油密、气密), 如机床油箱零部件装配接合面密封、各种螺纹及导管接头密封等。XM-34已试用于机床油箱与电磁阀体连接密封及油管接头密封一年多, 无任何渗漏, 密封性能良好。

(黄梅星执笔)

(上接第15页)

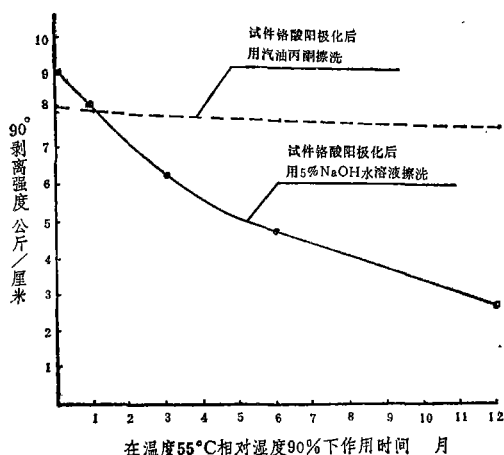


图4 试样表面铬酸阳极化后碱擦洗对胶接老化性能的影响

力, 改善蒙皮平整度. 在该处增加了工艺垫板。

采取上述改进工艺措施后生产五副无孔蜂窝结构旋翼, 其后段件的“鼓包”废品率由原来的5%下降至1%。

4. 胶接—螺栓复合连接用胶问题

经使用表明, 采用仿苏МПФ-1胶(SY-7胶)的胶接—螺栓复合连接的旋翼接头虽能经受全寿命(3年, 600小时)的使用考验, 但一直存在漏气现象, 致使压力检查系统不能判断大梁在使用过程中是否产生裂纹。这主要是由于SY-7胶在固化过程中产生水等低分子物, 在胶层中形成“鸡爪纹”气路的缘故。改用自力-2胶, 不仅提高了接头的振动疲劳性能, 而且胶层致密, 无气路, 保证胶层的密封性, 同时也避免了水汽通过气路渗入胶层, 提高了接头的耐久性。改进后的旋翼一次充气0.5个大气压, 经部队使用一年进行检查仍无变化。采用自力-2胶的旋翼接头批生产以来已生产旋翼八百余副, 质量稳定。1978年122厂对已满寿的旋翼取样进行了振动疲劳试验, 结果表明, 可以一次延寿一年200小时, 可为国家节约八百万元左右。

上述情况说明, 像旋翼接头这样的胶接—螺栓复合连接件最好选用在固化过程中几乎不产生低分子物的胶粘剂。