

# 铝 / ZN - 1 阻尼材料复合结构件的粘接技术研究

田春蓉 周秋明 王建华 尚 蕾 廖 宏

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 绵阳 621900)

**摘 要** 探讨了胶黏剂黏度、硬铝表面处理方式及硅烷偶联剂 KH - 560 的使用方式等因素对硬铝板 / ZN - 1 阻尼材料复合结构件的粘接性能的影响。研究表明: 如果硬铝板表面采用砂纸打磨处理时, 采用黏度较低的 TC - 1 环氧树脂胶或者在黏度较高的 J - 22 环氧树脂胶中添加 2% 的硅烷偶联剂 KH - 560 可以获得优异的粘接效果; 当硬铝板表面采用铬酸阳极化处理时, 两种胶黏剂均能获得优异的粘接效果。

**关键词** 硬铝板, ZN - 1 阻尼材料, 表面处理, 粘接强度

## Study on the Adhesive Technology of Duralumin / ZN - 1 Damping Materials Composite Structure

Tian Chunrong Zhou Qiuming Wang Jianhua Shang Lei Liao Hong

(Institute of Chemical Materials, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621900)

**Abstract** Effect of the factors such as adhesive's viscosity, surface treatment of the duralumin plate and the usage of the silane coupler KH - 560 on the adhesive property of duralumin / ZN - 1 damping materials composite structure is investigated. The results show that if the duralumin plate surface is treated with sand papers, the epoxy adhesive TC - 1 with lower viscosity or the epoxy adhesive J - 22 with higher viscosity where 2% wt silane coupler KH - 560 is added provides good adhesive ability; if the duralumin plate surface is treated by chromate anodization, both epoxy adhesives can provide excellent adhesive performance.

**Key words** Duralumin plate, ZN - 1 damping materials, Surface treatment, Adhesive strength

### 1 前言

航天飞行器、运载火箭、卫星及导弹等高技术产品在贮存、运输、发射及飞行过程中将会产生不同程度的振动和噪声, 轻则影响这些高技术产品中的仪器仪表的正常工作, 重则使电子器件失效, 并威胁到产品能否成功发射或正常飞行。另外, 振动和噪音也严重危害人们的身心健康, 是环境工程急需解决的重要课题之一。为此, 人们不断探索减小振动和降低噪音的途径。在减振方面, 目前已出现了两种可能途径: 一是设计和采用减振结构, 例如, 采用树脂和硬铝板制成双层或多层铝树脂复合板, 该复合板的减振性能明显优于传统的单一硬铝板; 二是研制和采用阻尼材料, 阻尼材料本身即具有良好的减

振性能, 如树脂基复合材料和高阻尼金属材料等<sup>[1~3]</sup>。

采用双层薄硬铝板与 ZN - 1 阻尼材料粘接制成复合结构板, 具有优异的减振性能。铝与 ZN - 1 阻尼材料之间无论是硬度还是活性差别都很大, 铝是易粘接材料, 而 ZN - 1 阻尼材料系丁基橡胶与酚醛树脂共混而成的软质粘弹性阻尼材料, 它继承了丁基橡胶粘接性能很差的缺点<sup>[4]</sup>。被粘材料的表面状况直接影响到胶接产品的强度和耐久性, 因此对被粘材料表面进行适当的处理非常重要。文献 [5] 曾讨论了不同表面处理方式等因素对 ZN - 1 阻尼材料的粘接性能的影响, 本文重点讨论胶黏剂黏度、铝表面处理方式及硅烷偶联剂 KH - 560 的使用

收稿日期: 2004 - 04 - 12; 修回日期: 2004 - 11 - 23

作者简介: 田春蓉, 1972 年出生, 副研究员, 主要从事聚氨酯泡沫塑料配方及成型技术的研究工作

方式等因素对铝 /Zn - 1 阻尼材料复合结构件的粘接性能的影响。

## 2 实验

### 2.1 主要原材料

J - 22 甲乙组分胶,黑龙江省石油化学研究院; TC - 1 双组份环氧树脂胶,自制;硅烷偶联剂 KH - 560,成都晨光化工研究院; Zn - 1 阻尼材料,厚度 3 mm,航天材料及工艺研究所;硬铝板 LY12,表面粗糙度  $6.4 \mu\text{m}$ 。

### 2.2 铝 /Zn - 1 阻尼材料复合结构件的制作

铝的表面处理方式为 100 目砂纸打磨后用丙酮擦洗或铬酸阳极化处理后用丙酮擦洗两种方式; Zn - 1 阻尼材料的表面处理方式为硫酸 - 氨水法。

按比例配置 J - 22 甲乙组分胶或 TC - 1 胶,混匀后待用。在已进行表面处理的铝及 Zn - 1 阻尼材料表面分别均匀地涂刷一层胶液,合拢后在工装中固定,在室温下放置 30 min,然后放入烘箱中于  $(30 \pm 2)$  下固化 2~3 h,再在  $(45 \pm 5)$  下固化 5~6 h,关闭烘箱并在其中自然冷却后从工装中取出,将试件边缘的余胶清除。

### 2.3 铝 /Zn - 1 阻尼材料 /铝粘接性能的测试

试件的尺寸及其粘接性能分别按《硫化橡胶与金属粘接拉伸强度测定方法》(GB/T13936—92)及《硫化橡胶与金属粘合强度的测定——拉伸法》(GB11211—89)中的要求进行加工、制作、测试,文中除特别注明试样数量外,每组试样均为 10 个子样。

测试仪器为 CSS - 221 型电子万能试验机。

### 2.4 Zn - 1 阻尼材料表面形貌分析

经拉伸强度测试后的 Zn - 1 阻尼材料的表面形貌采用 MRC1000 型激光共聚焦显微镜进行观察分析。

## 3 结果与讨论

### 3.1 胶黏剂黏度对砂纸打磨处理的铝 /Zn - 1 阻尼材料粘接性能的影响

胶黏剂的黏度对粘接效果的影响是显著的。从微观角度看,被粘物的表面是凹凸不平的,将这样的表面叠合起来,只有很小的点能相互接触,而大部分的表面都不能接触,为了将被粘物的粗糙表面填平,所用胶黏剂就应当具有较好的流动性和润湿性,以对固体表面产生良好的润湿铺展。因此,在实际应用中,所用的胶黏剂均需保持较小的黏度,以利于胶黏剂在被粘物表面的润湿、铺展,并形成紧密的分子接触。对于大面积的粘接,通常希望胶黏剂保持流动性  
宇航材料工艺 2005 年 第 1 期

的时间长些,以便顺利完成大面积的均匀涂胶。同时,由于粘接面积较大,故所选胶黏剂的黏度应适中。胶黏剂黏度太大,不易被涂覆均匀,同时,胶液本身的流动性不好,被粘物表面经粗糙化之后,实际的接触程度可能变小,粘接强度反而下降;胶黏剂黏度太小,在固化过程中由于温度及压力的作用易使其溢出。此外,由于大面积的薄硬铝板在加工过程中极易发生变形,而 Zn - 1 阻尼材料是采用模压成型的软质橡胶材料,其表面也是凹凸不平的,故二者之间有较大的配合间隙,因此,在选用大面积薄硬铝板与 Zn - 1 阻尼材料的粘接时必须考虑胶黏剂的黏度。

表 1 中对比了 J - 22 胶与 TC - 1 胶的黏度值及适用期。

表 1 两种胶黏剂的黏度及适用期

Tab 1 Viscosity and usable life of two epoxy adhesives

胶黏剂	黏度 (25 °C) / Pa · s		常温下的 适用期 / h
	基料	固化剂	
J - 22 胶	78.3	38.7	4~5
TC - 1 胶	15.7	3.4	1~1.5

从表 1 中可以看出, J - 22 胶的基料与固化剂的黏度均相当大,而 TC - 1 胶的基料与固化剂的黏度则远小于前者。对于配合间隙较大 (大于 0.20 mm) 的结构件而言,可以利用 J - 22 胶的高黏度来保证涂胶的厚度。J - 22 胶和 TC - 1 胶在常温下的适用期均可满足较大面积工件的涂胶工艺。

表 2 列出了 J - 22 胶与 TC - 1 胶粘接的铝 /Zn - 1 阻尼材料的剪切强度及拉伸强度,其中铝的表面经砂纸打磨处理。

从表 2 中可以看出, TC - 1 胶黏剂粘接制得的铝 /Zn - 1 阻尼材料 /铝粘接试样的剪切及拉伸强度平均值均大于 J - 22 胶,两种胶制得的剪切试样的破坏形式均为 Zn - 1 阻尼材料内聚破坏,即所测强度实际为 Zn - 1 阻尼材料本身的强度,数据分散可能是因为 Zn - 1 阻尼材料硫化不完全<sup>[2]</sup>引起的。而拉伸试样的破坏形式表明, TC - 1 胶制得的拉伸试样的强度高于 J - 22 胶制得的试样的强度,这主要是由于 J - 22 胶的黏度太高,影响了胶液在砂纸打磨处理的铝表面的润湿,即 J - 22 胶液在砂纸打磨处理的铝表面没有起到良好的填充作用,故二者的附着力较低;而 TC - 1 胶的黏度相对要低得多,在砂纸打磨处理的铝表面润湿较好,因此二者之间的附着力较高。

表 2 J - 22胶与 TC - 1胶粘接的铝 /ZN - 1阻尼材料的强度<sup>1)</sup>

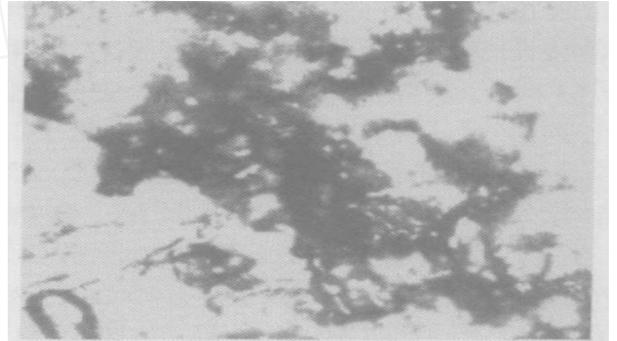
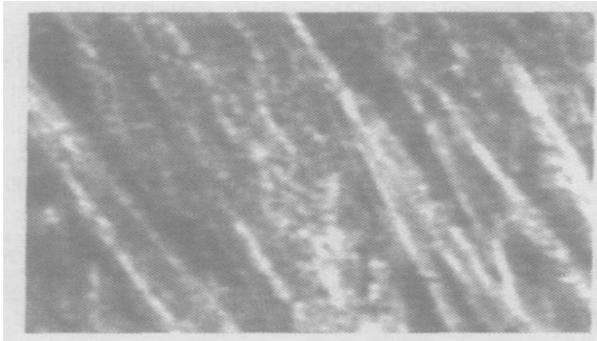
Tab 2 Adhesive strength of duralum in /ZN - 1 damping material /duralum in bonded by epoxy adhesive J - 22 or TC - 1

胶黏剂	拉伸试验			剪切试验		
	试样总数 /个	拉伸强度 /MPa	破坏形式	试样总数 /个	剪切强度 /MPa	破坏形式
J - 22胶	94	0.83 ±0.23	R: 32%; M: 68%	79	1.17 ±0.27	R
TC - 1胶	50	1.17 ±0.25	R	30	1.55 ±0.29	R

注: 1)表中 R指 ZN - 1阻尼材料破坏; M指胶黏剂从铝表面上脱开。

图 1为两种胶黏剂粘接的铝 /ZN - 1阻尼材料 /铝试件在进行完拉伸强度测试后,采用激光共聚焦

显微镜观察到的阻尼材料表面的破坏情况。



(a) J - 22胶

(b) TC - 1胶

图 1 经拉伸试验后的 ZN - 1阻尼材料的表面形貌 40 ×

Fig 1 Surface morphology of the ZN - 1 damping material after tensile strength test

图 1(a)中可清楚地看到 ZN - 1阻尼材料表面为胶层复制下来的砂纸打磨后的铝表面的条状花纹,而图 1(b)中则可以清楚地看到 ZN - 1阻尼材料破坏后表面呈现的凹凸不平的球状凸起。这进一步证实了 J - 22胶液在砂纸打磨处理后的铝表面不能起到好的浸润作用,从而导致胶液在砂纸打磨处理的铝表面的附着力较低;而对于黏度较低的 TC - 1胶液,则容易在砂纸打磨处理的铝表面上浸润,故在铝表面的附着力较高,因此采用 TC - 1胶粘接铝

与 ZN - 1阻层材料的粘接强度较高。

### 3.2 硅烷偶联剂 KH - 560的使用对铝与 ZN - 1阻尼材料粘接性能的影响

为了改善 J - 22胶在砂纸打磨处理后的铝表面的附着力,选择了硅烷偶联剂 KH - 560,分别采用在打磨处理后的铝表面上预涂 KH - 560及将其以一定比例添加到 J - 22胶液中两种方法,研究中对比了这两种使用方式对 Al /ZN - 1阻尼材料粘接性能的影响,结果见表 3。

表 3 KH - 560使用方式与铝 /ZN - 1阻尼材料的粘接性能关系

Tab 3 Adhesive performance of duralum in /ZN - 1 damping material effected by usage of KH - 560

使用方式	用量 /%	拉伸试验		剪切试验	
		拉伸强度 $\sigma_b$ /MPa	破坏形式	剪切强度 $\sigma_b$ /MPa	破坏形式
	0	0.83 ±0.23	R: 32%; M: 68%	1.17 ±0.27	R
加入 J - 22 胶液中	2	1.63 ±0.10	R	2.13 ±0.35	R
	10	1.11 ±0.29	R	1.22 ±0.16	R
	20	1.25 ±0.13	R	1.26 ±0.16	R
预涂在铝表面		1.27 ±0.14	R	1.76 ±0.18	R

从表 3 中可以看出,两种处理方式均可提高铝与 ZN - 1 阻尼材料之间的粘接强度,在胶液中添加 10% 及 20% 的 KH - 560 后所制试样的拉伸强度及剪切强度数值低于添加 2% 的,但由于试样经性能测试后其破坏形式均为 ZN - 1 阻尼材料发生破坏,故可认为是由于 ZN - 1 阻尼材料本身的性能差异导致粘接强度数据的不同。

但需要注意的是:在大面积的铝表面预涂 KH - 560 给涂胶工艺带来了较大的困难——预涂 KH - 560 后铝表面打滑,导致难以将胶液涂刷均匀。而将 KH - 560 以一定的比例添加到 J - 22 胶液中却无此缺点。因此,对于经砂纸打磨处理的薄硬铝板与 ZN - 1 阻尼层的粘接,选择将 KH - 560 添加入 J - 22 胶液中,但考虑到 KH - 560 仅是一种助剂,其用量在 2% 时已能很好地改善 J - 22 胶液在粗糙的铝表面的附着力,故其用量范围控制在 2% ~ 5% 左右较为适宜。

### 3.3 铝表面处理方式对其与 ZN - 1 阻尼材料的粘接性能的影响

被粘材料表面处理的作用是要除去妨碍胶接的自然氧化膜及其表面污染物,并形成新的适用于胶接的氧化膜<sup>[6]</sup>。对于金属铝而言,如果能使其表面生成稳定的铝氧化物  $- Al_2O_3$  或  $- Al_2O_3$ ,则易获得优异的粘接性能,但是,金属铝的表面在潮湿的环境或腐蚀介质环境中自然生成的氧化膜为  $- Al_2O_3 \cdot 3H_2O$ ,它相当厚,质脆弱,故胶接性能相当差,为此,在粘接前需对金属硬铝板的表面进行适当的表面处理。由于大面积的薄硬铝板在加工过程中存在一定程度的变形,因此,采用砂纸打磨处理时,尽管可提高被粘接面的粗糙度,但硬铝板上向下凹的变形部位却较难打磨均匀,此外,打磨后的铝表面如果暴露在潮湿的空气中又极易生成新的质脆的氧化膜。铝表面采用铬酸阳极化处理则能形成含有一个结晶水的  $- Al_2O_3 \cdot H_2O$ ,这种形态的铝氧化物也易与胶黏剂形成牢固的化学键。采用砂纸打磨法及铬酸阳极化法处理铝表面对其与 ZN - 1 阻尼材料的粘接性能的影响,见表 4。

表 4 不同表面处理方式对铝 /ZN - 1 阻尼材料的粘接性能的影响

Tab 4 Adhesive performance of duralum in /ZN - 1 damping material after different surface treatments

铝表面处理 方式	胶黏剂	拉伸试验		剪切试验	
		拉伸强度 <sub>b</sub> /MPa	破坏形式	剪切强度 <sub>b</sub> /MPa	破坏形式
砂纸打磨	TC - 1	1.17 ±0.25	R	1.55 ±0.30	R
	J - 22	0.83 ±0.23	R: 32%; M: 68%	1.17 ±0.27	R
铬酸阳极化	TC - 1	1.16 ±0.23	R	1.34 ±0.42	R
	J - 22	1.50 ±0.09	R	1.10 ±0.13	R

从表 4 可以看出,采用铬酸阳极化处理铝表面时,采用 J - 22 胶和 TC - 1 胶,Al 与 ZN - 1 阻尼材料的粘接经相应的性能考核后均表现为 ZN - 1 阻尼材料破坏;这表明铝表面采用铬酸阳极化处理的方式可以使铝 /ZN - 1 阻尼材料复合结构件获得优异的粘接性能,而砂纸打磨处理则只有采用 TC - 1 胶才能获得稳定的性能。

### 4 结论

对于砂纸打磨处理的硬铝 /ZN - 1 阻尼材料的粘接,采用黏度较低的 TC - 1 胶可以获得优异的粘接效果;当采用黏度较高的 J - 22 胶时,则必须在硬铝表面预涂或在胶液中添加 2% ~ 5% 的硅烷偶联剂 KH - 560,但预涂硅烷偶联剂 KH - 560 后给涂胶工艺带来较大的困难。对于铬酸阳极化处理的硬铝

与 ZN - 1 阻尼材料的粘接,则无论是采用 TC - 1 胶还是采用 J - 22 胶,则均可获得优异的粘接效果。

### 参考文献

- 刘定胜. 高阻尼合金在兵器上的潜在应用. 兵器材料科学与工程, 1994; 17(3): 63 ~ 70
- 李沛勇, 戴圣龙, 刘大博等. 材料阻尼与阻尼合金的研究现状. 材料工程, 1998; (8): 44 ~ 48
- 曾海泉, 罗跃纲, 闻邦椿. 复合阻尼结构及其阻尼性能. 振动与冲击, 2001; 20(3): 13 ~ 15
- 潘坚. ZN - 1 阻尼材料的特殊性能. 宇航材料工艺, 1998; 28(5): 34 ~ 36
- 尚蕾, 田春蓉, 张长生等. ZN - 1 阻尼材料的粘接工艺研究. 粘接, 2003; 24(3): 13
- 郑瑞琪, 余云照. 结构胶粘剂及胶接技术. 北京: 科学出版社, 1993: 238

(编辑 吴坚)