

连续变形带斜缠防热层技术研究

匡松连 罗永康 季雪松 余春安 蔡建强

(航天材料及工艺研究所先进功能复合材料技术国防科技重点实验室 北京 100076)

文 摘 介绍了一种用连续变形带来斜缠制造防热层的新技术。通过对工艺和材料性能等多方面的对比试验,结果表明用连续变形带材料,斜缠防热层的制造工艺性得到了很大的改善,缠绕件较为密实,布层排列非常规整,防热层表面无布层扭曲和皱折等缺陷,非常有利于控制防热层的滚转特性,而且材料的力学等性能也有很大程度的提高。由于连续变形带本身具有很强的可设计性,因此本技术有着很大的发展潜力和应用前景。

关键词 布带缠绕,防热层,烧蚀,连续变形带

Technique Study of Tilt Winding Cone Heatshield by Continuous Deformation Tape

Kuang Songlian Luo Yongkang Ji Xuesong Yu Chun'an Cai Jianqiang

(Aerospace Research Institute of Materials & Processing Technology Beijing 100076)

Abstract A new method of tilt winding cone heatshield by continuous deformation tape is introduced in this paper. By evaluating properties of the processing and materials, this technology has shown a good manufacture feasibility, which gives dense winding parts and trim tape orientation, eliminates distortion and wrinkle of surface tapes, easily controls roll property of the heatshield cone, and improves mechanical properties as a result. Due to the tape is capable of being designed, this technique has good development potentialities.

Key words Tape wrap, Heatshield, Ablation, Continuous deformation tape

1 前言

防热层的主要功能是航天器高速再入时能经受住数千度高温气流的冲刷烧蚀,阻挡高温热源向内层传递。防热层制造一般采用预浸布带缠绕,在烧蚀环境极端苛刻的情况下,通常采用碳/酚醛预浸布带斜缠。斜缠能使布层方向顺气流排列,从而有效地提高材料抗烧蚀剥蚀性能^[1]。斜缠工艺要求预浸布带具有适当的变形能力,在缠绕张力的作用下可

伸展成扇形而贴合在模具上。为了使预浸布带具有这种变形能力,目前的做法是将预浸布沿 45° 斜切成一定宽度的胶条,然后逐条缝合搭接成带子,这种工艺较为繁琐,材料损耗严重,特别是众多布带接头的存在对防热层的滚转性能会造成不利影响^[2]。为了解决这个问题,最近几年来出现了研究采用连续变形带斜缠的新技术。所谓连续变形带是指用经编衬纬的方法将带子编织成连续长的并且可扇形变形的

收稿日期:2000-05-17

匡松连,1965年出生,高级工程师,主要从事烧蚀防热层材料及工艺的研究工作

带子,它是随着当前刚兴起的经编复合材料技术而发展起来的,是该技术在防热层制造领域中的一个具体应用。

2 实验部分

2.1 原材料

高纯酚醛树脂,GB2369-95;

粘胶基碳纤维,0.8 GPa;

耐热芳纶纤维,29.4 tex;

石英纤维,100 tex。

2.2 连续变形带布编织

连续变形带布的编织是在双轴向经编机上完成的。

2.3 预浸带制备

浸胶时的前处理温度为 160 ~ 180 ,胶液为

高纯酚醛树脂的乙醇溶液,胶液的密度控制为 1.05 g/cm³ ~ 1.08 g/cm³,胶布烘干温度为 95 ,胶布的树脂含量为(40 ±4)%,挥发份为(6 ±2)%。浸胶完成后用刀片将布切割分成 60 mm 宽的预浸胶带。

2.4 防热层材料制造

采用斜缠的工艺将预浸胶带缠绕在一半锥角为 8 的模具上,斜缠角为 15°,缠绕完成后将预制件套上胶套,放入液压釜中进行固化,固化温度为 180 ,固化压力为 8 MPa。

3 结果与讨论

3.1 连续变形带的材料与结构设计

防热层斜缠时,由于预浸布带与模胎轴线存在一倾角,使得布带内外两端产生相对变形,相对变形率 P 可用如下公式表示:

$$P = \frac{[D + 2W \sin(\alpha + \beta)] - D}{D} = \frac{2W \sin(\alpha + \beta)}{D}$$

式中:

W 为预浸布带宽度,

D 为缠绕处的模胎直径,

α 为模胎半锥角,

β 为斜缠角。

从上式可见,布带的相对变形率与模胎直径成反比,而与布带的宽度成正比,即模胎直径越小、布带宽度越大,则所需的相对变形率越大,缠绕难度就越高。布带宽度与防热层的厚度有关,

$$W = \frac{H}{\sin \alpha}$$

式中:

H 为机加工余量及固化压缩量,

H 为防热层产品厚度。

如果防热层的小端内径为 200 mm,大端内径为 800 mm,厚度为 10 mm,半锥角 α 为 8°,斜缠角 β 为 15°,机加工余量及固化压缩量 H 为 5 mm,则缠绕用布带宽度和大小端处的布带相对变形率分别为 58 mm、5.7%和 22.7%。因此,防热层斜缠时,布带必

宇航材料工艺 2000 年 第 5 期

须要有适当的变形能力,并且在产品小端处,布带需要的变形率较大。如图 1 所示,由于连续变形带的内端是不变形的,而外端是可伸展变形,变形的大小是可设计控制的,最大可达 30%,可以满足防热层斜缠的需要。

连续变形带具有可混编性和可设计性,如在布带的外侧(防热层烧蚀表面)用耐烧蚀型的碳纤维,以发挥它的耐烧蚀的特性,而在布带内侧(未烧蚀残留层)混编入高强高模碳纤维及低热导纤维,以利用它们的强度和隔热性能,从而使防热层各部分能充分发挥效率,达到减重的目的。为了便于编织,经向纤维采用低纤度的耐热芳纶纤维,用捆绑的方法将纬向烧蚀型碳纤维排列起来,在缠绕张力的作用下,捆绑的芳纶纤维可伸长变形,内层不变形的强化区径向加铺高强碳纤维。连续变形布的幅宽为 1 200 mm,带子宽度为 60 mm,每幅布可分成 20 条带子。

设计强化区的目的一者为了承受缠绕张力的作用,二者为了强化防热层的力学性能。缠绕时最大张力约为 300 N,每根碳纤维的断裂强力为 100 N 左右,因此,只要有 3 根碳纤维即可,在实际结构中我们设计安排了 5 根碳纤维,宽度为 10 mm。

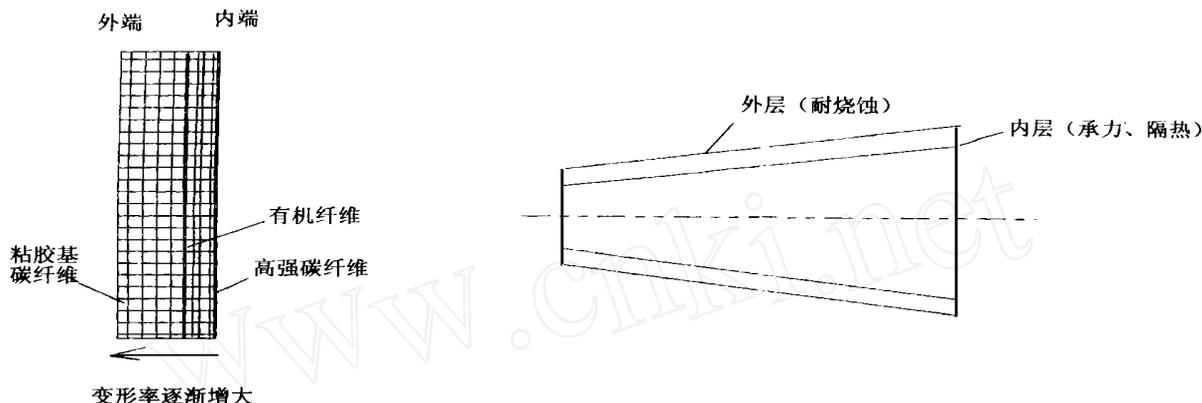


图1 连续变形带及防热层

Fig. 1 Continuous deformation tape & heatshield

3.2 对防热层制造工艺的影响

由于连续变形布浸胶后,各条胶带是直线分割,而不用45°斜切和缝合,因此工艺较简便,并且对胶布干湿度的控制可适当放宽,材料损耗大大减少,可从原碳布20%浸胶损耗率下降到目前的5%以内的损耗率。

连续变胶带的变形可控制和无接头,使得缠绕非常有规则,不仅布层排列整齐,而且胶布的宽度在缠绕中基本不发生变化,不象原45°斜切碳布带在张力的作用下宽度易发生变化,因而它可以用恒定张力进行缠绕,不仅有利于保证防热层产品的质量,而且还可以通过计算精确定出胶带的宽度,而原斜切碳布在缠绕时的宽度受其它工艺因素的影响变化很大,需要有较大的宽度余量,如对于10mm厚的防热

层需要用70mm~80mm宽的预浸布才能制成;而用连续变形带,同样的厚度,只需60mm宽的预浸带就可以了。仅此估算,用连续变形带斜缠防热层大约能比原工艺节省20%的材料用量。此外,缠绕张力可以比原来提高3倍,使缠绕件的密实程度大大提高,非常有利于提高产品的质量。

3.3 对防热层材料性能的影响

采用连续变形带后,防热层的制造工艺性得到了明显的改善,材料的力学性能也有很大的提高,如材料的母向拉伸强度和弯曲强度都提高了近一倍(见表1),虽然材料的烧蚀率略大,但它的烧蚀平面较为均匀,布层排列规整,不出现皱折扭曲等缺陷,见图2。

表1 防热层材料性能(母向)

Tab. 1 Material properties of heatshield (along generating line of the cone)

防热层类型	拉伸强度/MPa	断裂伸长率/%	拉伸模量/GPa	弯曲强度/MPa	弯曲模量/GPa	小发动机线烧蚀率 /mm s ⁻¹
斜切碳布防热层	20	0.35	10	60	12	0.15
连续变形带防热层	40	0.40	25.8	110	17.0	0.19

连续变形带材料烧蚀率大的原因在于它含有部分芳纶纤维,因为芳纶纤维的烧蚀性能明显不如碳纤维,为了改善这一状况,后来我们将捆绑用的芳纶

纤维改为低纤度的石英纤维,材料的烧蚀性能得到了很大的提高。



(a) 非连续变形带的布层扭曲



(b) 非连续变形带的布层皱折



(c) 连续变形带的布层规整

图2 材料烧蚀后的表面

Fig.2 Sample surface after ablating

4 结论

连续变形带斜缠是一种新的防热层制造技术,与原有的45°斜切碳布斜缠工艺相比,本技术工艺性好,材料损耗小,布层排列规整,非常有利于降低防热层的生产成本,提高材料的性能,稳定防热层的滚转力矩,是一种有发展潜力的防热层制造新技术。

参考文献

- 1 Hall W B. Standardization of the carbon-phenolic materials and process. Experimental Studies. N89 - 10127, 1988; (1)
- 2 Goener L S, Stetson J R. Ground and flight test investigations of reentry vehicle heatshield roll torque. AIAA - 80 - 0447, 1980

欢迎订阅《焊接》杂志

《焊接》杂志是中国机械工程学会焊接学会、机械工业部哈尔滨焊接研究所主办的实用技术类杂志。本刊设“专题综述”、“试验研究”、“生产应用”、“经验交流”、“焊接培训”、“焊接标准”、“焊接名人”、“焊接沙龙”、“国外焊接”、“行业信息”等栏目。本刊多年开展广告业务,为厂家树立企业形象,介绍新产品、新技术,增加经济效益作出了贡献。多次荣获国家机械工业部(局)、黑龙江省的奖励,并被美国机械工程索引(EI)收录。

《焊接》杂志在许多读者朋友的伴随下共同走过了43年的历程,在新的世纪里,我刊树立精品思想,精益求精,竭诚为焊接行业内外读者服务,愿结识更多的新朋友。

本刊为月刊,国际标准大16开本,每期定价5.00元(全年60元),邮发代号:14-45

编辑部地址:哈尔滨市和兴路111号,邮编:150080

主编:王守业 电话:0451-6325919 传真:0451-6325919