

发动机尾管内衬模压裂纹的研究

邹敏 张飞 李晓奋 严伟兴 李聪 张新航

(西安长峰机电研究所, 西安 710065)



摘要: 针对发动机尾管内衬经模压成型后经常出现不同程度的裂纹缺陷, 通过对模压预混料的质量指标、成型过程中的温度和升温速率等主要因素的分析与控制, 发现裂纹的产生是多种因素综合作用的结果。通过对成型工艺过程中各因素的加强控制, 可以避免裂纹缺陷的产生。

关键词: 尾管内衬; 模压; 裂纹

Study of the Crack Found in Mould Pressing of Tailpipe Nozzle Insert about Some Solid Rocket Motor

Zou Min Zhang Fei Li Xiaofen Yan Weixing Zhang Xinhang

(Xi'an Changfeng Research Institute of Mechanism and Electricity, Xi'an 710065)

Abstract: Aiming at the crack usually found at the surface of the tailpipe nozzle insert of some SRM during moulding pressing, the forming reasons are analyzed and controlled by target of quality, temperature and heating rate. Crack is the result of comprehensive shaping of many factors. Strengthening various factors in the process of molding process control can avoid the generation of crack defects.

Key words: tailpipe nozzle insert; mould pressing; crack

1 引言

高硅氧纤维/酚醛树脂体系复合材料以其优异的综合性能已经广泛应用于航空航天领域^[1], 在国民经济和国防建设中, 发挥着重要的作用。但是, 酚醛缩聚固化时产生的小分子化合物及挥发份很多, 固化后产品脆性和收缩率较大, 在模压制品中极易出现裂纹等缺陷, 一直以来是这个领域迫切需要研究和解决的重要课题之一。

本文通过尾管内衬毛坯的裂纹形貌和出现的规律性暗示, 从模压预混料质量指标、成型过程中的温度和升温速率等方面分析了裂纹产生的原因, 并提出了完善措施, 在很大程度上保证了产品的质量, 提高了合格率。

2.1 主要原材料、试验仪器

高硅氧短切纤维: BST7-85S120-48mm; 酚醛树脂: FB; 丁腈橡胶: CN=13%~17%; 丙酮; 高温炉: YQK1100-30; 电热干燥箱: YHG-9050A; 四柱液压机: YID32-200; 尾管内衬模具: 自制。

2.2 模压预混料的制备

高硅氧纤维/酚醛树脂模压预混料制备工艺流程如图1所示。

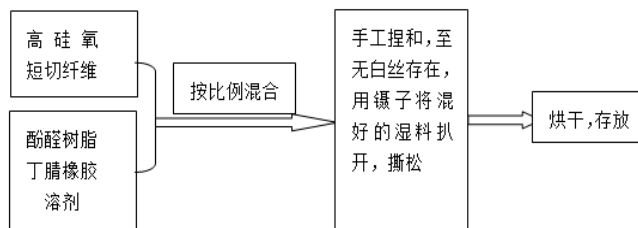


图1 混料工艺流程图

2 试验

作者简介: 邹敏 (1984-), 工程师, 材料加工工程专业; 研究方向: 固体火箭发动机材料和工艺研究。

收稿日期: 2014-01-22

2.3 模压预混料的质量控制

采用国军标 GJB1595—93《高硅氧纤维/酚醛树脂预混料实验方法》对预混料树脂含量、挥发物含量、可溶性树脂含量进行测试。

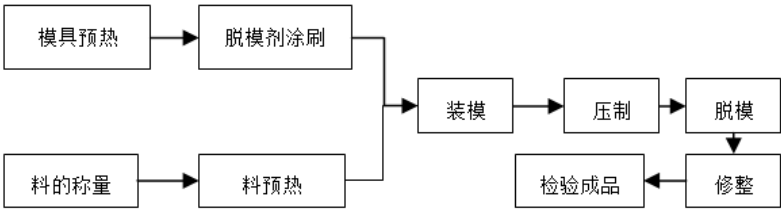


图2 尾管内衬毛坯模压成型工艺制备的工艺流程图

3 尾管内衬裂纹形态介绍

我所生产的尾管内衬模压件是多个型号发动机使用的通用件，采用高硅氧纤维/酚醛树脂短切纤维预混料经模压工艺成型制得，为圆筒结构，壁厚约为14mm，长径比大于4，其外形如图3所示。

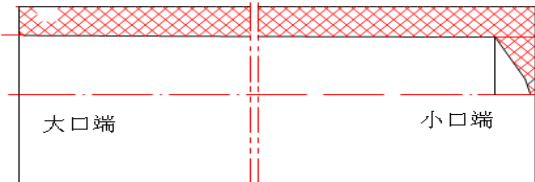


图3 尾管内衬毛坯外形结构



图4 尾管内衬毛坯裂纹局部图

通过剖开产生裂纹缺陷的尾管内衬，发现裂纹在尾管内衬毛坯上出现的位置呈一定的规律性。一般出现在尾管内衬毛坯内型面的中部和小端部位，扩展方向均为毛坯的轴向，在扩展的过程中会发生一定程度的转向，经常在某一个区域多条裂纹集中发生。尾管内衬毛坯裂纹形态如图4所示。

4 裂纹缺陷产生的原因及解决措施

4.1 模压预混料的质量分析及控制

2.4 尾管内衬模压成型

尾管内衬毛坯模压成型制备工艺流程如图2所示。

模压预混料的质量指标主要包含树脂含量、挥发物含量、可溶性树脂含量。

本试验采用三种不同质量体系的预混料来压制尾管内衬，分析预混料质量对尾管内衬产生裂纹缺陷的影响，三种模压预混料的质量指标参数测试结果见表1。

表1 三种预混料的质量指标

试样编号	树脂含量/%	挥发份含量/%	可溶性树脂含量/%	产品情况
1#	37.05	2.55	81.36	没有裂纹缺陷
2#	51.07	5.13	96.72	裂纹产品多
3#	28.70	0.78	98.35	有些地方纤维裸露，贫胶

通过试验表1可以看出1#预混料压制的产品没有出现裂纹缺陷。通过测定三种预混料树脂含量可以看出树脂含量对模压产品质量有一定影响，2#预混料树脂含量为51.07%，在压制过程中，纤维含量相对少，其增强作用就会减弱^[2]，而且酚醛树脂作为一种热固性塑料，在固化后脆性较大，制品容易开裂；3#预混料树脂为28.7%，在三组预混料中，树脂含量最低，这样，会加大纤维在成型过程中磨损程度、导致纤维增强作用丧失，在产品表面出现局部贫胶、缺胶现象，造成产品缺陷^[2]。

在高硅氧纤维/酚醛树脂预混料中含有挥发份，其中包括制备预混料时残留的丙酮、乙醇、树脂中没有参加反应的小分子原料和空气中的水分等，连同酚醛树脂固化缩聚时产生的水分。如表1可以看出：残留在尾管内衬毛坯中的挥发份能诱发裂纹的产生，适当降低预混料中挥发份含量对减少裂纹的出现是有利的。预混料中挥发份含量过低，导致预混料的流动性较差；2#预混料中挥发份含量过高，会导致挥发分

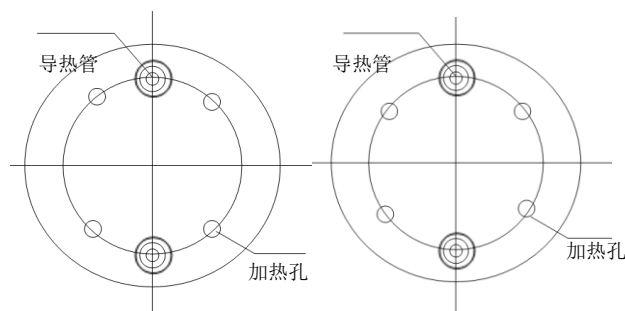
以气体形态无法在制品固化成型时间内及时释放出来,从而造成产品鼓包或裂纹。在成型过程中,根据制品的尺寸、材料等特性,通过不同放气次数来达到释放小分子的目的^[3]。

可溶性树脂含量代表预混料中树脂交联的程度。含量值越高,预混料流动性越好。但是树脂容易流失,产品容易贫胶。在生产中,控制在70%~90%为宜。2#、3#预混料可溶性树脂含量太高,产品缺陷率越高。

4.2 模压成型过程中工艺因素的分析

4.2.1 温度场的分析与控制

成型模具温度场分布的均匀性直接决定了预混料固化过程中所产生的固化应力。在模具中形成均匀稳定的温度场是减少内衬毛坯出现裂纹的重要条件。温度场的分布与加热元件的结构、模具中的分布形式密切相关。在工艺试验过程中,我们通过改变加热管的分布形式考察了其对毛坯裂纹出现的影响,如图5a、5b所示。



a 模具加热管分布 b 修改后模具加热管分布

图5 模具加热管分布图

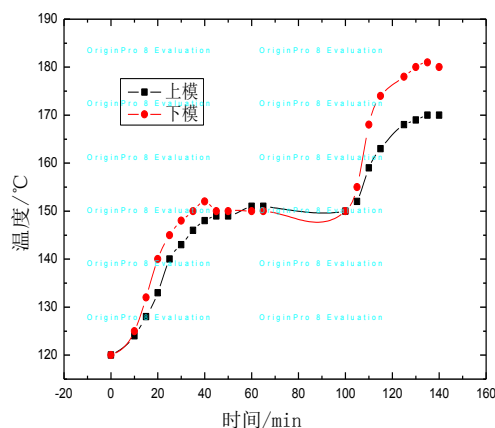
如图5a模具所示,可以看出,四个加热管分别分布于导向柱的两侧,加热管之间位置不均匀,且间距较大,试模时,试压的三发尾管内衬毛坯内表面均出现裂纹,且裂纹密度很大,分布于毛坯的整个内型面,而相同的条件下对图5a作了改良,将加热孔均布于整个模具模套上,图5b模具压制的毛坯脱模后产品没有出现裂纹缺陷。考虑可能是由于a升温后温度场的分布较b模具不均匀,孔间的温度梯度存在较大的差异,导致内衬毛坯处于同一个径向剖面上的树脂固化出现明显的不同步现象,后固化的区域在收缩时受到早已固化区域的约束,在制品的内部产生较大的拉伸应力状态。

通过对比可以看出,模具的温度场分布对制品裂纹的出现将产生重要的作用。在模具的加热装置设计

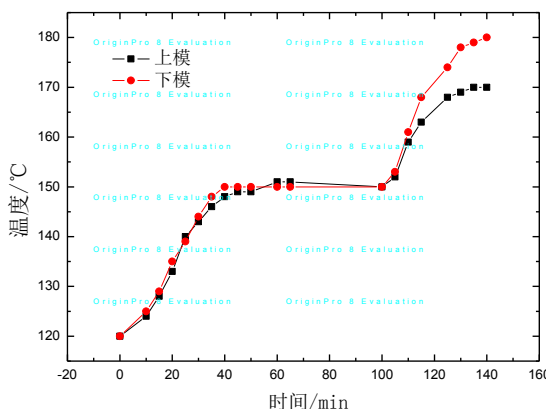
中,必须对加热装置的排布方式进行核算,预测及模拟其产生的温度场分布,实现制品的均匀受热、同步固化。

4.2.2 升温速率的分析与控制

控制模套和阳模之间升温速率的差异,使其升温曲线相匹配也能减少尾管内衬毛坯裂纹的出现。图5表明了修改后的新模具输入功率调整前、后模套和阳模的升温曲线。



a 输入功率调整前



b 输入功率调整后

图6 模具升温曲线图

如图6a所示,在输入功率调整前,模套和阳模的升温速率基本同步,模套的升温速率略快于阳模的升温速率。由于阳模的加热管分布于阳模的顶端,加热元件的位置距离模芯的距离较远,而测温点位于加热板上,所指示的温度高于模芯实际的温度,在这种情况下尾管内衬外型面要比内型面先固化。因此,一般调整上下模板的升温速率时,应当使上模的升温速率稍快于下模2~5℃。结合尾管内衬毛坯模具本身和工艺控制的特点,将模套的加热输入功率进行了适当下调,调整后的模具升温曲线如图6b所示,模套和

阳模的升温曲线基本重合,基本实现了升温同步,减少了裂纹缺陷的产生。

5 结束语

通过大量工艺试验的探索与总结,可以得出以下结论:

a. 通过模具加热管温度场的不同排布,可以看出,温度场的排布方式对产品裂纹控制有至关重要的影响。温度场控制越均匀,孔间温度梯度越小,裂纹出现的几率越低。

b. 阳模和模套升温速率越同步, 一致性越好, 产品裂纹产生几率也就越小。

c. 通过对预混料树脂含量、挥发份含量以及可溶

性树脂含量的测试,以及压制的产品情况比对,表明在产品压制前,需要对原材料组分进行检测和控制。这样可以在很大程度上减少产品裂纹缺陷的发生。

可以看出,裂纹的产生是由多种因素综合作用的结果,通过对成型工艺过程中各因素的加强控制可以避免裂纹缺陷的产生。

参考文献

- 1 张建川. 酚醛模压复合材料制品裂纹改进措施研究[J]. 玻璃钢, 2006, 1: 6~14
- 2 刘雄亚, 谢怀勤. 复合材料工以及设备[M]. 武汉理工大学, 2008: 298~299
- 3 王作岩. 某型号产品收敛内衬复合模压裂纹的研究[C]. 航天动力技术发展与应用学术会议论文集, 2006: 260~264

[illegible]

(上接第 47 页)

轴线的基准, 而此车削技术放弃了喉部, 利用工装自适应去寻找“两个圆环”的圆心, 从而找到了喷管的推力轴线。较传统装夹方式, 它是单向受力的分解, 能够消除加工时产生微开裂的隐患。

此外，在批量加工时，前、后段内型衬组件属于易耗品，需要检查外套仿形面的磨损情况，酌情更换。

3.4 前、后段内型压块设计要点

前、后段内型压块起到了“承上启下”的作用，即连接靠螺纹连接芯轴，又靠锥面顶住内型衬组件。压块的材料宜选择 45 号钢材，硬度为：HRC28~32，发蓝处理；其硬度要略比芯轴低。需要注意的是，其锥面的角度公差需控制在 $\pm 15'$ 以内，且需要有不大于 0.012mm 的跳动度要求，粗糙度不大于 $R_a 1.6\text{mm}$ 。这样设计的目的在于更好地贴合内型衬组件，防止装配间隙过大造成车削焊接的垂直度指标超差。

4 加工效果

在完成组合工装的安装后,即可进行铈环的车削工作。如图 8 所示,即为完工实样图。经实测,铈层的配合尺寸与形位公差完全满足电子束焊接的要求,焊接台阶的粗糙度可达到 $R_{3.2\text{mm}}$ 。



图 8 喷管完工实样图

5 结束语

该组合工装适用于铌环-C/SiC 复合材料喷管的车削加工。它通过芯轴作为装夹基准并利用前、后端内型衬组件线接触喷管内型面找到了推力轴线;有效地克服了 C/SiC 复合材料脆性断裂、无定位基准、沉积铌层比 C/SiC 复合材料重等困难。针对相似结构的喷管,该工艺技术具有一定的推广意义。

参考文献

- 1 邹武, 张康助, 张立同. 陶瓷基复合材料在液体火箭发动机上的应用. 固体火箭技术, 2000(23, 2): 63~67
- 2 Baker C. A high temperature, light weight, nozzle materials. AIAA 94-2892
- 3 刘志泉, 马武军, 王申. C/SiC 复合材料推力室应用研究. 空间推进, 2010(4, 2): 1~2