

Improvement of design for forming mold of stress release slot in insulation layer

Fengtao Lu Haipeng Zhang Jiawei Li Gongle Han Chuanming Li

China Aerospace Science and Industry Corporation Sixth Research Institute 210, Xi'an, Shaanxi, 710065, China

Abstract

In the field of solid rocket engines, stress relief grooves in the insulation layer are common structures designed to release the stress generated by the contraction of the propellant column. The material of the insulation layer is generally EPDM rubber, and the thickness of the inner wall (adhesive cylinder surface) of the stress relief groove is about 0.8mm to 1.5mm. Due to its thin inner wall thickness, the overall molding process is usually used for this purpose. For the design of forming molds, the groove structure is formed by assembling inserts. However, the introduction of inserts increases the difficulty of forming the insulation layer, and the insulation layer on the back of the insert is prone to quality problems such as porosity and delamination of the rubber material. In response to the above issues, this article discusses the forming mechanism of the stress relief groove structure in the insulation layer, and introduces two improvement schemes for forming mold design. Through experimental verification, the advantages and disadvantages of the two improvement schemes are summarized, and the optimal scheme is determined to thoroughly solve the forming problem.

Keywords

insulation layer, stress release groove, molding mold design improvement

绝热层应力释放槽成型模具设计改进

鲁锋涛 张海鹏 李佳玮 韩共乐 李传明

中国航天科工集团第六研究院 210 所, 中国·陕西 西安 710065

摘要

在固体火箭发动机领域, 绝热层中的应力释放槽为常见结构, 其目的是为了释放药柱收缩产生的应力。绝热层的材料一般为三元乙丙橡胶, 应力释放槽内壁(贴药柱面)厚度约为0.8mm~1.5mm, 由于其内壁厚度偏薄, 为此通常采用整体成型的工艺方法。对于成型模具设计而言, 槽型结构通过组装嵌件实现成型, 然而, 嵌件的引入使得绝热层成型难度增加, 嵌件背部的绝热层易产生气孔、胶料分层等质量问题。针对上述问题, 本文对绝热层中的应力释放槽结构成型机理展开讨论, 并介绍了两种成型模具设计改进方案, 通过试验验证, 总结出两种改进方案的优缺点, 确定最优方案, 以彻底解决成型问题。

关键词

绝热层 应力释放槽 成型模具 设计改进

1 引言

在固体火箭发动机领域, 绝热层中的应力释放槽为常见结构(见图1), 其目的是为了释放药柱收缩产生的应力。绝热层的材料一般为三元乙丙橡胶, 应力释放槽内壁(贴药柱面)厚度约为0.8mm~1.5mm, 由于其内壁厚度偏薄, 为此通常采用整体成型的工艺方法。

对于成型模具设计而言, 槽型结构通过组装嵌件实现成型, 然而, 嵌件的引入使得绝热层成型难度增加, 嵌件背部的绝热层易产生气孔、胶料分层等质量问题。

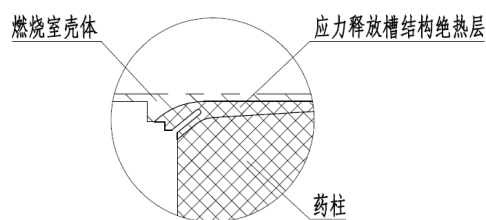


图1 应力释放槽结构

针对上述问题, 本文对绝热层中的应力释放槽结构成型机理展开讨论, 并介绍了两种成型模具设计改进方案, 通过试验验证, 总结出两种改进方案的优缺点, 确定最优方案, 以彻底解决成型问题。

【作者简介】鲁锋涛(1983-), 男, 中国陕西西安人, 高级工程师, 从事复合材料成型、工艺装备设计研究。

2 传统模具结构及存在问题

以产品 A 为例，对其绝热层中的应力释放槽成型模具结构及成型情况进行介绍。

2.1 传统模具结构

传统应力释放槽成型模具主要由上模、芯模、嵌件、下模等组成。模具结构如图 2 所示。

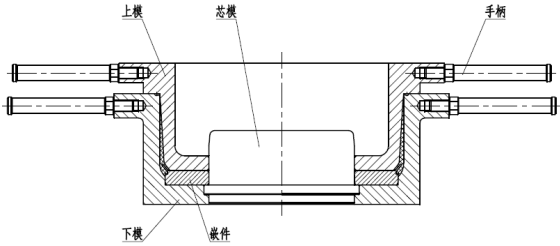


图 2 传统模具结构

模具使用时，先进行预热，预热充分后，对模具型面进行清洗，然后装料、模压，保温成型后，降温至常温脱模，工艺流程见图 3。

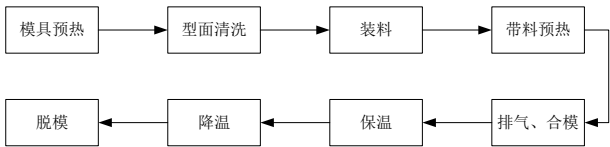


图 3 成型工艺流程

2.2 存在问题

采用传统模具压制应力释放槽结构绝热层，模压件质量不稳定，部分模压件出现气孔、胶料分层现象。

缺陷部位位于成型模具嵌件背面，如图 4 所示。

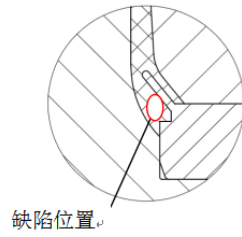


图 4 缺陷位置

3 问题分析

结合模压成型过程，对上述模具结构进行仔细分析，发现该结构模具存在以下问题：

- a) 由于嵌件的存在，模具合模时，上模压力无法直接传递至嵌件下方，造成嵌件下方成型压力不足，容易出现分层现象；
- b) 嵌件背部的进料口与排气口共用，在模压过程中，型腔内排气困难，尤其是嵌件下方，更容易卷气，成型后则易形成气孔；
- c) 装料位置不平整，装料位于嵌件薄片上方，模压过程中，嵌件薄片承担主要合模压力，易发生变形（此条为模具结构本身问题，与前述模压质量问题无关）。

4 成型模具设计改进

根据以上分析结果，对于应力释放槽结构绝热层，其成型模具设计时，应满足以下条件：

- a) 模具型腔内压力均匀，无压力传递死角；
- b) 模具料腔应平整，无异型结构，方便装料，且模压过程中排气畅通。

4.1 改进方案一

在产品 A 研制过程中，对其应力释放槽结构绝热层成型模具进行了设计改进，改进后结构见图 5。

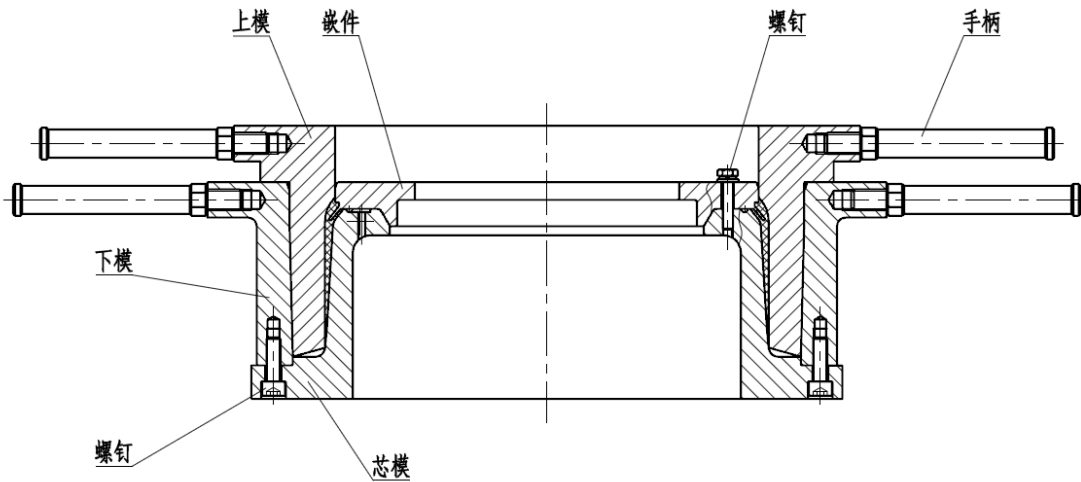


图 5 方案一模具结构

改进方案一模具成型原理如下:

模具嵌件与芯模固定,装料时,打开上模,将生胶片装于料腔正下方,上模底部带有胶料导向坡度,合模时,胶料由下往上挤压,料腔内气体向上排出,而嵌件成为胶料流动的分路口,两侧压力均衡,合模到位后,按工艺要求进行保压保温,应力释放槽结构绝热层成型任务完成。脱模时,松开嵌件固定螺钉,成型件与嵌件随上模一并脱出,最后将成型件与嵌件分离。

经生产验证,采用该模具生产的应力释放槽结构绝热层,产品成型良好,质量稳定,无气孔、分层现象。但由于模具上下模配合面较长,脱模难度大,此外,合模时,若上下模位置稍有不正,会出现啃模现象。

4.2 改进方案二

基于改进方案一的验证情况,对产品A应力释放槽结

构绝热层成型模具再次进行优化改进,改进后结构见图6。

改进方案二模具成型原理如下:

改进方案二模具为哈夫模结构形式,嵌件通过挡圈及螺母固定于芯模左侧,装料时,将生胶片铺装与芯模右侧,合模时,将胶料从左侧挤压至右侧,其原理与方案一中将胶料由下往上挤压的原理相同,料腔内气体沿模具配合面排出,合模到位后,按工艺要求进行保压保温,应力释放槽结构绝热层成型完成。脱模时,将芯模脱出后竖直起吊,拆卸螺母、挡圈,将嵌件及成型件脱出,最后将成型件与嵌件分离。

该方案是在前述方案的基础上进行改进,既保证了应力释放槽结构绝热层成型质量,同时还解决了脱模难度大、啃模问题。

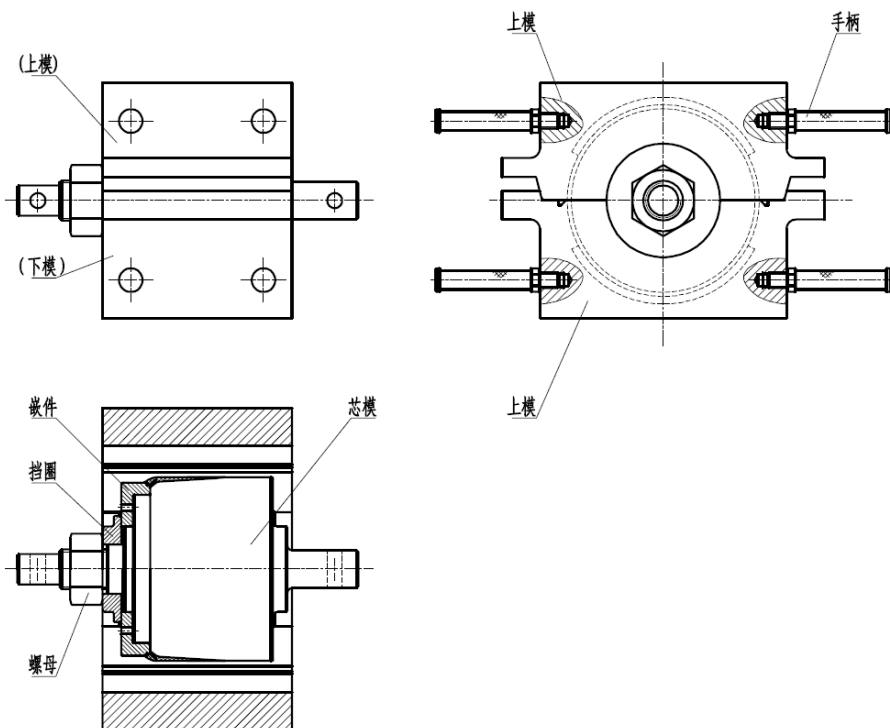


图6 方案二模具结构

5 结论

通过两轮改进,改进方案二的模具结构为当前生产条件下的最佳状态,模具型腔内压力均匀,装料方便,排气畅通,易脱模,模具无啃模现象,满足应力释放槽结构的绝热层成型任务。后续可根据生产条件的变化情况,开展进一步优化改进工作。

参考文献

- [1] 陈凯印,侯增选,张伟超,等.绝热层缠绕成型多轴控制方法研究[J].机械与电子,2025,43(07):41-47+53.
- [2] 李宏利,侯增选,张伟超,等.基于粒子群优化算法的绝热层缠绕路

径优化[J/OL].复合材料科学与工程,1-8[2025-08-18].<https://link.cnki.net/urlid/10.1683.tu.20250710.1346.010>.

- [3] 张志明.平盖封头应力释放槽结构研究[J].机械制造,2025,63(07):55-58+54.
- [4] 储祥宇,叶文华,杨高杰,等.成型模具安装误差原位测量控制系统研究与开发[J].机械制造与自动化,2025,54(03):43-47. DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.03.008.
- [5] 李家.临氢工况下金属压力容器焊接工艺改进设计[J].现代制造技术与装备,2025,61(07):150-152. DOI:10.16107/j.cnki.mmt.2025.0487.