Exploration of Injection Molding Process for EPDM Rubber

Fengtao Lu Benli Qi Gongle Han Haipeng Zhang

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

Abstract

In solid rocket engines, the insulation layer and cladding are mostly made of ethylene propylene diene monomer (EPDM) rubber. Currently, the molding process of EPDM rubber is mainly based on compression molding, involving molds such as upper and lower molds and Haff molds. Some products formed by Haff molds have lower strength at the joint of the mold and are prone to cracking. In addition, some rubber products contain metal inserts, and traditional molding processes make it difficult to locate and load the inserts. Through analysis, it is found that the cracking problem of the mold joint in the product formed by Haf mold pressing is mainly caused by local pressure relief during mold closing; The difficulty in locating inserts and loading materials is mainly due to the shared space between the material cavity and the mold cavity in the molding process. In the injection molding process, when injecting glue, the mold cavity is always in a locked state, there is no risk of pressure relief, and the material cavity is separated from the mold cavity, which can effectively solve the problems of insert positioning and loading. Therefore, it is necessary to explore the injection molding process of EPDM rubber.

Keywords

Ethylene Propylene Diene Monomer Rubber; Injection Molding; Process Investigation

三元乙丙橡胶注压成型工艺探究

鲁锋涛 祁本利 韩共乐 张海鹏

中国航天科工集团第六研究院 210 所，中国 · 陕西 西安 710065

摘 要

在固体火箭发动机中，绝热层、包覆套所采用的材料大多为三元乙丙橡胶，目前，三元乙丙橡胶的成型方式主要以模压工艺为主，涉及的模具有上下模、哈夫模，而采用哈夫模成型的部分产品，合模缝部位强度偏低，易出现开裂现象。此外，部分橡胶产品中含有金属嵌件，传统模压工艺对于嵌件定位难度大，装料困难。通过分析，哈夫模模压成型后的产品合模缝易开裂问题，主要原因为合模时的局部泄压造成；嵌件定位难度大，装料困难，主要是因为模压工艺中，料腔与型腔空间共用造成。而注压工艺中，注胶时，模具型腔始终处于锁紧状态，不存在泄压风险，且料腔与型腔分开，可有效解决嵌件定位问题以及装料问题。为此，有必要开展三元乙丙橡胶注压成型工艺探究。

关键词

三元乙丙橡胶；注压成型；工艺探究

1 引言

在固体火箭发动机中，绝热层、包覆套所采用的材料大多为三元乙丙橡胶，目前，三元乙丙橡胶的成型方式主要以模压工艺为主，涉及的模具有上下模、哈夫模，而采用哈夫模成型的部分产品，合模缝部位强度偏低，易出现开裂现象。此外，部分橡胶产品中含有金属嵌件，传统模压工艺对于嵌件定位难度大，装料困难。

针对上述问题进行深入分析，哈夫模模压成型后的产品合模缝易开裂问题，主要原因为合模时的局部泄压造成；嵌件定位难度大，装料困难，主要是因为模压工艺中，料腔与型腔空间共用造成。而注压工艺中，注胶时，模具型腔始终处于锁紧状态，不存在泄压风险，且料腔与型腔分开，可有效解决嵌件定位问题以及装料问题。为此，有必要开展三元乙丙橡胶注压成型工艺探究。

2 研究思路与技术方案

开展三元乙丙橡胶注压成型工艺探究，需满足两个条件。其一，三元乙丙橡胶材料本身具有良好的流动性。其二，需要设计出合理可靠的注压成型模具。对于三元乙丙橡胶的流动性，已在模压工艺中进行了验证，因而，本文将重点研究注压成型模具设计。

按照注压成型模具的原理及功能模块，可将模具划分为两个结构单元—料腔、型腔。注压成型工艺的整体技术方案如下：

先将模具各零部件进行组装，形成型腔。再将三元乙丙橡胶装入料腔，通过平板硫化机加热加压，将三元乙丙橡

【作者简介】鲁锋涛（1983–），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。

胶从料腔挤压流入型腔，从而实现产品成型，最后，拆卸模具，进行脱模。

2.1 试验对象选取

选取一小型且需通过嵌件成型的典型零件（结构见图 1），开展研究试验工作，可以同时研究解决合模缝质量问题、嵌件固定问题、装料问题。

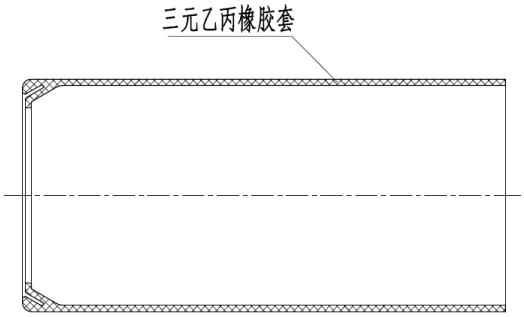

图 1 试验样品结构

在该零件中，三元乙丙橡胶的厚度为 3.5mm，总重 0.62kg。

2.2 注压成型模具设计

根据产品结构特点，完成试验件注压成型模具设计，该模具主要由注塞、上模、芯模、下模、嵌件等组成，结构见图 2。

模具主要设计要点如下：

料腔：试验样品中，三元乙丙橡胶总重 0.62kg，模具料腔设计尺寸为 330mm × 134mm × 50mm，可装料 2.6kg，满足装料要求；注胶孔：根据产品型腔位置，在料腔底部设置三排注胶孔，注胶孔排布位置与型腔匹配，孔径为 ϕ3；嵌件固定：金属嵌件在模具内需固定可靠，且精准定位，才能保证成型后的尺寸精度，根据嵌件结构特点，选择嵌件环形槽外圆作为径向定位面，利用环形槽的侧面作为轴向定位面，确保嵌件定位可靠；模具定位：上下模与芯模轴向通过前后端面定位，径向采用前后两端定位，前端通过嵌件过渡定位，芯模与嵌件内圆进行定位，嵌件环形槽外圆与上下模进行定位，后端上下模与芯模直接定位；排气、溢胶：前端嵌件外部型腔，通过上下模与嵌件的配合间隙进行排气、溢胶，在配合面前端设置空腔，存放排出气体及溢出胶料；前端嵌件内部型腔、后端型腔通过配合间隙直接排气、溢胶；启模口：模具共设置三处启模口，分别位于注塞与上模之间、上模与下模之间、上下模与芯模之间，确保产品成型后顺利脱模，以及再次注料时，注塞可以顺利脱出；模具强度：该试验件注压模具属于小型模具，模具设计壁厚为 25mm，强度满足注压要求。

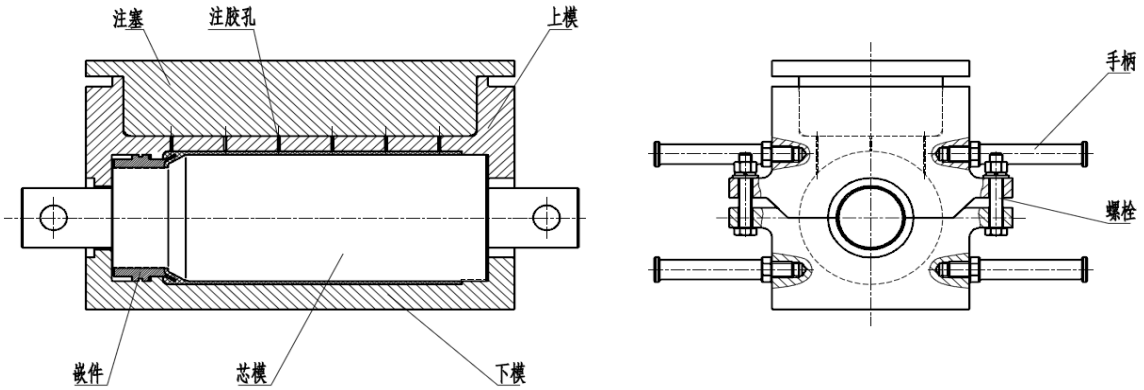

图 2 注压成型模具结构

2.3 注压成型模具材料选择与性能适配

在注压成型模具设计中，材料选择直接影响模具寿命、成型精度及产品质量。针对三元乙丙橡胶注压工艺的特点（工作温度 150-180℃、锁模力 5-6MPa、胶料流动性中等），模具核心部件（上模、下模、芯模）选用 Cr12MoV 冷作模具钢。该材料经淬火 + 低温回火处理后，硬度可达 50-55HRC，具备优异的耐磨性和抗压强度，可有效抵抗胶料在高压下的冲刷磨损；同时，其线膨胀系数较低（11.2×10^{-6}/℃），在反复加热 - 冷却循环中变形量小，能保证型腔尺寸稳定性，避免因模具热变形导致产品尺寸超差。

对于注塞部件，考虑到其需频繁与胶料接触，承受设备压力以及与料腔的摩擦力，选用 40Cr 合金结构钢，经调质处理后硬度控制在 28-32HRC，既保证了足够的强度（屈服强度≥ 785MPa），又具备一定韧性，可减少长期往复运动中的疲劳损伤风险。金属嵌件与模具的配合面则采用镀铬处理，镀层厚度 20-25μm，表面粗糙度 Ra ≤ 0.8μm，一方面降低嵌件与模具的摩擦系数，便于装拆定位；另一方面镀铬层的化学稳定性可防止嵌件在高温硫化过程中与胶料发生化学反应，方便脱模。

2.4 注压工艺参数优化过程与关键依据

注压工艺参数的确定需结合三元乙丙橡胶的硫化特性及模具结构特点，通过多组对比试验逐步优化。在压力参数调试中，初期尝试 3-4MPa 压力时，发现胶料难以充满型腔

前端细小部位（如嵌件与型腔的间隙处），出现缺胶现象，这是由于压力不足导致胶料流动动力不足；当压力提升至 7-8MPa 时，虽能充满型腔，但模具配合面溢胶量显著增加，飞边厚度超过 0.3mm，且合模缝处出现胶料挤出不均的情况，分析其原因为过高压力导致模具微小变形，配合间隙增大。最终确定 5-6MPa 为最优压力区间，此时胶料既能完全填充型腔，飞边厚度控制在 0.05-0.08mm，后续清理难度低。

温度参数的设定基于三元乙丙橡胶的硫化曲线。通过差示扫描量热法（DSC）测试可知，该橡胶的硫化起始温度为 140℃，峰值温度为 160℃，完全硫化温度为 170℃。因此，模具预热温度设定为 100-110℃（低于硫化起始温度），避免胶料在未充满型腔前提前硫化；注压阶段保持该温度，确保胶料流动性；硫化阶段升温至 170℃，并保温 2h，此时交联度可达 90% 以上，满足产品力学性能要求（拉伸强度≥ 8MPa，扯断伸长率≥ 300%）。

注压行程的分段控制设计源于胶料流动特性。三元乙丙橡胶属于高黏度非牛顿流体，流动过程中易因剪切作用产生温升，若一次性快速完成注压行程，可能导致局部胶料提前硫化，形成“冷料斑”。分 5 次走完 20mm 行程（每次 4mm），中间间歇 1min，可使胶料在流动过程中温度均匀分布，同时让前端胶料充分填充型腔细节，减少气泡产生。试验表明，该方式可使产品内部气孔率降低至 0.5% 以下，远低于模压工艺的 3%-5%。

3 试验件性能检测与模压工艺对比

为验证注压工艺的优势，对试验件进行了系统性能检测，并与同规格模压产品对比。在合模缝强度测试中，采用拉伸试验机对合模缝处进行拉伸试验，注压产品的合模缝拉伸强度为 8.3Mpa，而哈夫模模压产品的合模缝拉伸强度仅为 5.1Mpa，提升约 62.7%，且注压产品合模缝处未出现开裂现象，证明注压工艺的锁模状态有效解决了局部泄压问题。

3.1 注压工艺试验

经多次试验、调试，形成注压成型工艺参数见表 1。

表 1

序号	工序名称	工艺内容	备注
1	注压前准备	1.1 模具清理； 1.2 组装模具，固定金属嵌件，预热模具，预热时间 1.5h~2h； 1.3 三元乙丙橡胶压延出片，出片尺寸：325mm×130mm×5mm，数量：4 片，重量：1.0kg。	
2	注压	2.1 装料，继续预热 20min； 2.2 注压。在 100t 平板硫化机上进行操作，设置压力 5Mpa~6Mpa，在模具装料行程内（装料高度 20mm），点动控制平板硫化机升降，分 5 次走完行程，中间间歇 1min。	
3	硫化	合模到位后，设置平板硫化机温度至硫化温度，待温度到达设定值后，保温 2h，保温结束后，关闭加热开关，平板通水冷却或自然降温。	
4	脱模	当模具温度降至 30℃以下时进行脱模	
5	清理飞边	成型件清理飞边	

3.2 试验效果

试验结束后，检查样件外观，外观平整，无缺胶、分层现象。三元乙丙橡胶厚度合格，均匀一致。

4 结语

通过开展三元乙丙橡胶注压成型模具设计、注压工艺试验，完成了三元乙丙橡胶注压成型工艺的探究与尝试，基本掌握了小型三元乙丙橡胶产品的注压成型工艺，初步解决了小型三元乙丙橡胶零件的合模缝易开裂，嵌件定位困难，装料不便等问题。

然而，本文所述的探究试验存在一定的局限性，目前仅适用于小型零件成型。此外，试验过程也存在一些小问题，例如型面存在注胶残痕，注胶速度慢，注胶孔难清理等问题，后续需进一步优化注压模具结构，完善注压工艺。

参考文献

[1] 张韶姣,刘林国,孙学红.聚乙二醇脂肪酸酯对三元乙丙橡胶胶料脱模效果的影响[J].橡胶工业,2025,72(07):539-544.

[2] 侯兰杰,彭倩倩,刘宽,等.三元乙丙橡胶板式支座性能测试与有限元模型的二次开发[J/OL].橡胶工业,1-5[2025-08-18].https://link.cnki.net/urlid/11.1812.TQ.20250612.1441.002.

[3] 黄辉龙,黄汉雄.注压成型纳米结构PP/POE共混物表面的液滴低温冲击行为[J].高等学校化学学报,2021,42(10):3195-3202.

[4] 郭永娜,刘兆栋.V形橡胶弹簧注压成型工艺与模具设计[J].模具工业,2013,39(07):47-51.DOI:10.16787/j.cnki.1001-2168.dmi.2013.07.018.