

Investigation on large complex bread covering and forming process

Fengtao Lu Quan Zhang Haipeng Zhang Ling Wang

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

Abstract

The cladding is an important component in solid rocket engines, and its external dimensions and surface structure are determined by the size and structure of the engine combustion chamber. Large size wrapping sleeves cannot be produced using traditional molding processes due to their exceeding the working range of ordinary molding equipment, and the cost of large molds used in traditional processes is also relatively high. This article presents a new approach to the molding process of large-sized, large-diameter, and complex bread covers through the demonstration of the proposed plan. By reasonably dividing the structure of the preform, cleverly designing a new structure forming mold, and selecting a reasonable shrinkage coefficient based on long-term data statistics, the production of large and complex surface coating sleeves was finally completed using ordinary equipment, saving the manufacturing cost of large and complex molds and providing a technical basis for in-depth research on the forming process of large coating sleeve products.

Keywords

wrapping sleeve; Forming process; explore

大型复杂型面包覆套成型工艺探究

鲁锋涛 张权 张海鹏 王领

中国航天科工集团第六研究院 210 所, 中国·陕西 西安 710065

摘 要

包覆套为固体火箭发动机内的重要零件, 其外形尺寸、型面结构由发动机燃烧室尺寸及构所决定。大尺寸的包覆套因超出普通成型设备的工作范围, 无法以传统的成型工艺进行生产, 且传统工艺中, 所使用的大型模具成本也较高。本文通过开展方案论证, 形成了一种长尺寸、大直径、复杂型面包覆套成型工艺新思路。通过合理划分预成型件结构, 巧妙设计新结构成型模具, 并根据长期的数据统计, 选取合理的收缩系数, 最终采用普通设备完成大型复杂型面的包覆套成型生产, 节省了大型复杂模具的制造成本, 也为大型包覆套产品成型工艺深入研究提供了技术基础。

关键词

包覆套; 成型工艺; 探究

1 引言

包覆套作为固体火箭发动机的重要组成部分, 其外形尺寸、型面结构由发动机燃烧室尺寸及绝热层结构所决定。

目前, 大尺寸的包覆套因超出普通成型设备的工作范围, 无法以传统的成型工艺进行生产, 且应用传统工艺, 所使用的大型模具成本也较高。为此, 针对长尺寸、大直径、复杂型面的包覆套, 有必要探究新的成型工艺, 以解决该问题。

2 复杂型面包覆套成型工艺论证

以长度 1500mm、直径 400mm 系列包覆套产品为例, 针对其成型工艺开展探究。

2.1 包覆套结构特点分析

包覆套通常为锥形“口袋”状结构, 前端为椭球型面且封闭, 后端开口, 后端开口处直径小于前端封闭处直径, 侧面均布三根通长梯形槽, 椭球处型面厚度 $2.0\text{mm} \pm 0.3\text{mm}$, 侧壁长锥段厚度 $1.8\text{mm} \pm 0.3\text{mm}$, 短锥段厚度 $2.5\text{mm} \pm 0.3\text{mm}$ 。包覆套模型图如图 1 所示。



图 1 包覆套模型

【作者简介】鲁锋涛 (1983–), 男, 中国陕西咸阳人, 本科, 高级工程师, 从事复合材料成型研究。

2.2 工艺方案论证

传统的小型简单包覆套成型工艺主要有整体模压成型、分段预成型再合成、气压釜硫化成型。然而，大型复杂型面包覆套采用以上工艺方法，均存在不同程度的技术问题。

采用整体模压成型工艺存在以下问题：

- 成型模具中需设计大尺寸悬臂结构的芯模，由于悬臂尺寸过长，悬臂端的成型壁厚不易保证；
- 倒锥结构，脱模难度大；
- 整体模压成型模具尺寸超出平板硫化机工作台工作范围。

因此，该包覆套不适合采用整体模压成型工艺。

分段预成型再合成工艺一般是将包覆套划分成两部分：椭球端、筒段，两段分别采用模具整体预成型（成型模具分别如图2、图3所示），然后采用合成模具通过气囊加压的方式将各预成型段合成为一体。

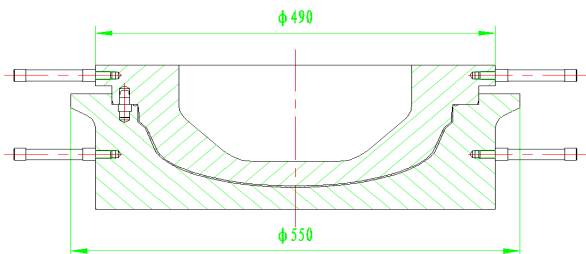


图2 椭球端成型模具

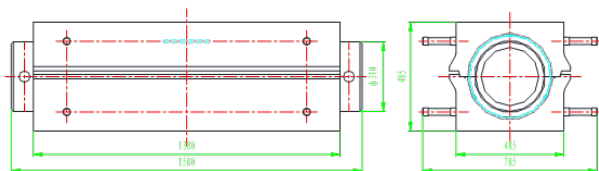


图3 筒段成型模具

采用分段预成型再合成工艺存在以下问题：

- 包覆套筒段成型需设计大型哈夫模具（图3），模具成本高；
- 筒段前端壁厚仅1.8mm，合模缝位置容易撕裂。

采用气压釜硫化成型工艺，需设计包覆套内型芯模，然后在芯模外部包裹生胶片，抽真空形成负压硫化成型。但此工艺方法难以保证梯形槽成型要求，另外，与整体模压成型类似，脱模难度大。

经过上述分析，包覆套整体模压成型、气压釜硫化成型方法因存在问题难以解决，此两种工艺无法应对大型复杂型面包覆套。分段预成型再合成工艺方法相对可行，但应考虑将工艺进一步简单化，同时降低模具成本。

为此，考虑将分段方式重新划分。椭球端必须依靠模具成型，结构保持不变。为降低模具成本，筒段考虑不再整体成型，考虑将三个梯形槽单独成型，其余部位在合成时贴

生胶片。如此划分成型结构，筒段大型哈夫模具可以取消，仅增加梯形槽成型模具，模具成本大幅降低，同时解决哈夫模合模缝容易撕裂的问题。

2.3 工艺流程

通过方案论证，确定采用分段预成型再合成的工艺方法，将椭球端、梯形槽分别预成型，整体合成时，其余部位贴生胶片，硫化成型。生产工艺流程如图4所示。

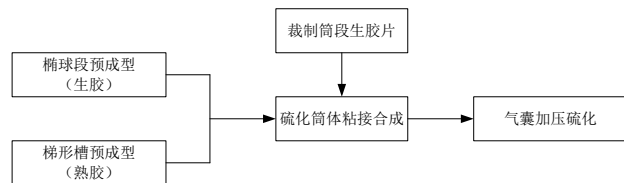


图4 成型工艺流程

3 硫化收缩率确定

硫化收缩率影响包覆套成型后的尺寸精度，是模具设计的重要参数，因此，对于硫化收缩率的确定尤为重要。

硫化收缩率可采用以下公式进行计算：

$$S_{cp} = \frac{D_{模} - D_{制}}{D_{模}} \quad (1)$$

式中：\$D_{模}\$ —— 模具设计尺寸

\$D_{制}\$ —— 产品成型尺寸

包覆套的材料为三元乙丙橡胶，通过长期的摸索验证，该材料硫化收缩率为1.6%~1.8%。此包覆套尺寸较大，且与绝热层的装配间隙极小，为此，收缩率选1.6%，避免产品成型后，难以装配。

4 成型模具设计

按照既定工艺方案，此包覆套成型需设计三套模具：椭球端成型模具、梯形槽成型模具、合成模具（包括气囊）。收缩率按1.6%进行设计。

椭球端成型模具如图3所示，梯形槽成型模具、合成模具分别如图5、图6所示。

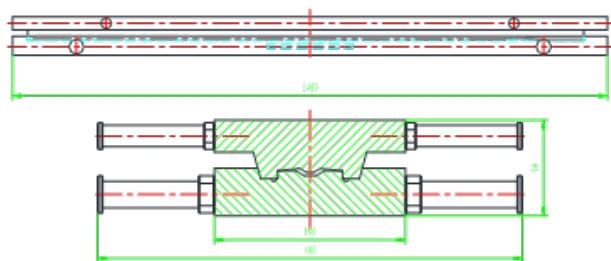


图5 梯形槽成型模具

5 包覆套成型效果

采用此工艺方案，完成大型复杂型面包覆套产品成型，

其检测数据如表 1 所示。

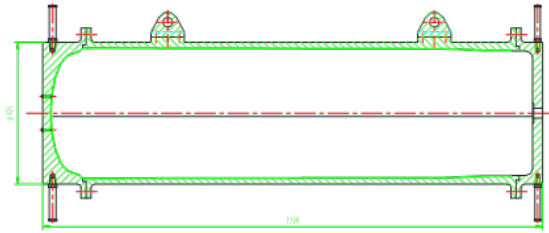


图 6 合成模具

通过表 1 可以看出，合成后的产品各部位的厚度满足

设计指标要求。

此外，包覆套装配关系良好。经此验证，此工艺生产的大型复杂型面包覆套满足要求。

6 结语

通过工艺探索验证，利用现有普通设备等资源，完成大型复杂型面包覆套产品的成型，探究出解决长尺寸、大直径、复杂型面包覆套成型难题的新工艺方法，节省了大型复杂模具的制造成本，也为大型包覆套产品成型工艺深入研究提供了思路。此工艺过程也存在一定的问题，即手工贴片操作难度较大，后续还需进一步改进方法，完善工艺。

表 1

测量象限		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	设计值
距离包覆套端面距离	50	2.7	2.77	2.80	2.75	2.78	2.76	2.77	2.76	2.5±0.3
	100	2.8	2.75	2.79	2.77	2.76	2.76	2.78	2.78	2.5±0.3
	200	2.22	2.25	2.39	2.34	2.20	2.2.39	2.23	2.20	2.5±0.3
	300	1.65	1.62	1.77	1.70	1.68	1.70	1.80	1.70	1.8±0.3
	400	1.69	1.67	1.73	1.68	1.65	1.68	1.80	1.69	1.8±0.3
	500	1.62	1.71	1.75	1.66	1.55	1.61	1.83	1.68	1.8±0.3
	600	1.73	1.72	1.73	1.66	1.56	1.61	1.70	1.58	1.8±0.3
	700	1.63	1.71	1.67	1.75	1.71	1.79	1.73	1.60	1.8±0.3
	800	1.67	1.65	1.65	1.64	1.68	1.62	1.71	1.56	1.8±0.3
	900	1.68	1.70	1.67	1.65	1.70	1.67	1.71	1.68	1.8±0.3
	1000	1.71	1.78	1.67	1.8	1.65	1.62	1.68	1.71	1.8±0.3
	1100	1.66	1.59	1.56	1.63	1.56	1.58	1.75	1.68	1.8±0.3

参考文献

1. 橡胶注射成型技术工艺研究及趋势[J]. 孙威.科技与创新,2016(22)

2. 推进剂与硅橡胶包覆层间粘接性能研究[J]. 李瑞琦,姜兆华,王福平,刘刚,杨春莉.材料科学与工艺,2003(03)

3. 《中国制造2025》解读之：我国制造业发展进入新的阶段[J]. 工业炉,2023(03)

4. 国内外复合材料工艺设备发展述评之二——纤维缠绕成型. 陈博.复合材料科学与工程,2023(S1)

5. 迷人的材料(彩图升级版)-10种改变世界的神奇物质和它们背后的科.【英】马克·米奥多尼克 著,赖盈满 译,未读 出品,天津科学技术出版社