

# 橡胶绝热层的热膨胀成型工艺

仲晓春<sup>1</sup> 宛静<sup>2</sup> 肖军<sup>1</sup>

(1 南京航空航天大学材料科学与技术学院,南京 210016)

(2 南京晨光集团工艺研究所,南京 210006)

**文 摘** 对小口径、长细比大的橡胶绝热层热膨胀成型工艺进行了研究。通过对橡胶硫化特性以及热膨胀硅橡胶的热胀特性研究,确定了成型的工艺流程及工艺参数。实验结果表明该工艺简便易操作,且生产的绝热层性能良好,表面光滑、质量稳定。

**关键词** 绝热层,热膨胀模,硅橡胶,成型工艺

## Thermal Expansion Technology of Rubber Insulation

Zhong Xiaochun<sup>1</sup> Wan Jing<sup>2</sup> Xiao Jun<sup>1</sup>

(1 College of Material Science and Technology, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016)

(2 Technological Institute, Nanjing Chenguang Group Co., LTD, Nanjing 210006)

**Abstract** The manufacturing technique of thermal expansion was studied for heat-insulating rubber layer with special small diameter and large slenderness ratio. The technical parameters and process were established by studying vulcanization process and characteristic of thermal expansion of silicone rubber. The experimental results show that the manufacturing technique is easy to operate and the heat-insulating layer made by the technique features excellent performances, smooth appearance and stable quality.

**Key words** Heat-insulating layer, Thermal expansion mold, Silicone rubber, Manufacturing technique

### 1 前言

某产品要求在一个口径小、长细比大、一端开口且底部为球形的金属筒体内粘贴一层橡胶柔性绝热层,且对接缝以及脱粘要求都非常高。通用的手工粘贴后加压(气囊或工装加压)工艺难以实施。本文借鉴复合材料成型工艺的热膨胀成型法,通过橡胶硫化粘接一体成型的工艺实现橡胶贴片。

热膨胀成型法是20世纪70年代中期发展起来的一种新型的复合材料固化成型方法<sup>[1]</sup>,它是将热膨胀材料为芯模,刚性材料(金属)为阴模,复合材料置于芯模与阴模之间,当模具受热后,由于芯模的体积膨胀受到复合材料预成型体及阴模的限制而产生巨大的均匀压力,从而实现在加热固化过程中对复合材料预成型体施压<sup>[2]</sup>。为了确定合适的成型工艺,本文对热膨胀芯模以及橡胶材料相关性能进行了研究。

### 2 实验

#### 2.1 原材料

绝热层材料为自制的石棉填充丁腈橡胶,R-10301 室温硫化硅橡胶由中蓝晨光化工研究院提供。

#### 2.2 实验方法和仪器

##### 2.2.1 绝热材料的硫化特性测试

采用高铁 GT-M-2000-A 无转子硫化测定仪,按 GB/T16584—1996 测试硫化特性。

##### 2.2.2 芯模材料的膨胀力—温度特性测试

采用一内径45 mm、高50 mm的带底钢筒,在钢筒内浇铸高约20 mm的硅橡胶柱,在硅橡胶柱上加上钢质垫片。将装有硅橡胶柱的钢筒放置于配有高温箱的力学性能试验机的上、下加压头之间,调整压头使压缩载荷为零,然后通过高温箱加热硅橡胶。升温时硅橡胶趋向膨胀,产生的膨胀力将通过加压头传给传感器。由控制系统记录硅橡胶的膨胀力—温度曲线<sup>[3]</sup>。

### 3 结果与讨论

收稿日期:2008-11-20;修回日期:2009-01-05

作者简介:仲晓春,1974 出生,硕士,主要从事非金属材料工艺研究工作。E-mail: zxc7974@163.com

### 3.1 绝热层材料硫化特性分析

通过硫化仪测定绝热层材料 150、120 及 100℃ 的硫化曲线(图 1、图 2)。表 1 为从图 1 和图 2 中得出的数据,可以看出,绝热层材料合适的硫化温度为 150℃,其初始硫化时间  $t_{c10}$  约为 4 min,最佳硫化时间  $t_{c90}$  为 30 min,且直至 60 min 仍处于硫化平坦期,符合合理的硫化历程应具备的条件。但在 120℃ 时,绝热层材料 30 min 内仍处于诱导期内,基本没有硫化,60 min 时仍然处于高度欠硫阶段,无法正常硫化。100℃ 下该橡胶绝热材料 60 min 内没有硫化。

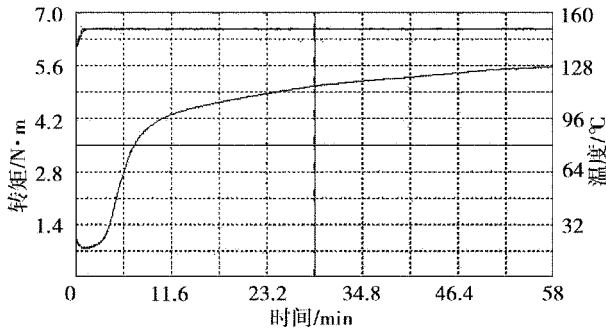


图 1 150℃绝热材料硫化曲线

Fig.1 Vulcanization curve of insulating material at 150℃

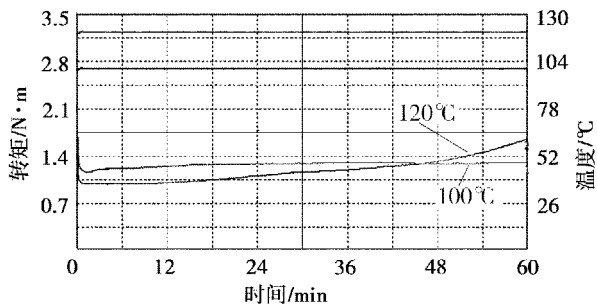


图 2 100℃以及 120℃下绝热材料硫化曲线

Fig.2 Vulcanization curves of insulating material at 100℃ and 120℃

表 1 绝热材料硫化数据

Tab.1 Vulcanization data of insulating material

温度/℃	时间/min	转矩/N·m	$t_{c10}$ /min	$t_{c50}$ /min	$t_{c90}$ /min
150	60	5.56	4	6.5	30
120	60	1.65	19	47.5	57.2

### 3.2 R-10301 硅橡胶膨胀力—温度特性分析

材料的体胀系数是确定其成型压力增量的基础;体积弹性模量决定了材料在自由膨胀受到限制时压力增加的程度。热膨胀成型法在成型过程中,研究热膨胀压力与温度的关系尤为重要。

由于绝热材料的硫化温度为 150℃,故将膨胀力—温度特性终点温度定为 150℃。将硅橡胶样柱

从室温升温至 150℃,在每个设定温度点恒温 1 h,使硅橡胶热膨胀稳定。要保证绝热材料与产品壳体粘接牢固,硅橡胶芯模就必须在一定温度下产生并保持足够的成型压力进而达到压缩挤胶的目的,需要软模在温度升高时能产生足够的膨胀力。体积弹性模量  $K_{VT}$  是硅橡胶的主要特性之一,其定义关系式<sup>[3]</sup>为:

$$K_{VT} = \frac{1}{\alpha_V} \cdot \frac{\Delta P}{\Delta T} \quad (1)$$

式中, $\Delta P$  为硅橡胶的膨胀力, $\alpha_V$  为体胀系数, $\Delta T$  为温差。

在 60 ~ 110℃ 的膨胀力—温度曲线通过 Origin 软件线性拟合后,得到如图 3 所示的结果。根据厂家提供的  $\alpha_V$  为  $9.13 \times 10^{-4}/K$ ,由式(1)可以计算出其体积模量为:285 MPa

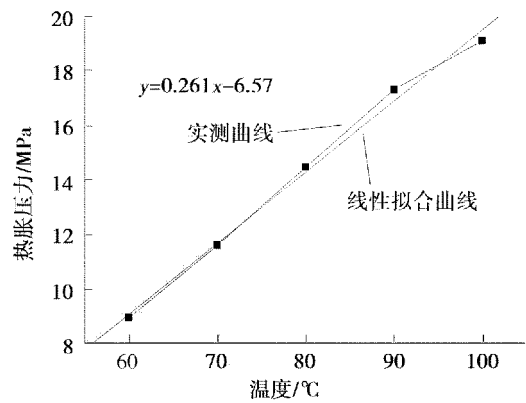


图 3 硅橡胶膨胀力—温度线性拟合曲线

Fig.3 Linear fit curves of expansion force vs temperature of R10301 silicone rubber

### 3.3 橡胶绝热层热膨胀成型工艺

#### 3.3.1 成型工艺参数确定

在确定热膨胀芯模材料后,热膨胀成型的关键就是选择合适的成型温度、时间以及体积间隙。构成橡胶硫化工艺条件的主要因素是压力、温度和时间,由于需要通过热膨胀模将未硫化的具有一定流动性的绝热材料与金属壳体紧密贴合,就需要热膨胀芯模在某温度下产生的压力满足橡胶硫化压力和温度的要求。要得到致密光滑粘接牢靠的绝热层,绝热材料必须在硫化起步前有一较长的时间使胶料处于流动状态。在这个阶段内,施加较高的硫化压力能消除气泡,提高胶料的致密性。

热胀法能够产生大大高于一般的热压罐和真空的压力,这种压力是随着温度的升高逐渐增加的。在固化过程中,加压时机和压力大小,对质量影响很大。如果硅橡胶软模和橡胶材料与金属壳体配合紧密,没有自由膨胀间隙,随着温度升高,硅橡胶软模膨胀,压力增加,在硫化起步前,绝热材料被压实至最终的模

压厚度,当温度进一步升高至固化温度,硅橡胶膨胀产生的压力增加至固化压力,这个压力对绝热材料的最终厚度或性能基本无影响。绝热材料硫化起步前的压力,对绝热层的厚度、密度、结构尺寸和力学性能来说是至关重要的。而热胀法的压力与温度是密切相关的,硅橡胶芯模在封闭腔体中的热膨胀压力  $p$  可按以下公式计算<sup>[5]</sup>:

$$p = K_{VT} \times \alpha_V \cdot \Delta T \quad (2)$$

为得到致密光滑粘接牢靠的绝热层,必须在绝热材料焦烧期或焦烧期前使硅橡胶芯模产生足够大的压力。

由于硅橡胶的热导率较低,加上绝热材料的隔断,R10301 硅橡胶一般需要 60 min 才能达到稳定温度,绝热材料在 120℃ 的焦烧时间为 27 min,这个时间不能保证硅橡胶能够上升到足够的温度而产生较大的压力,而在 100℃ 下绝热材料在 60 min 内都没有硫化(图 2)。如果不考虑工艺体积间隙,室温为 20℃,由公式(2)计算可以得出 100℃ 下产生的压力为 23 MPa,其值已远远大于一般硫化胶的成型压力所需的 3.5 MPa,完全能够满足绝热材料成型压力的要求。

### 3.3.2 芯模尺寸的确定

为将绝热材料胶片贴入壳体中,需要将胶片包裹在芯模上塞入壳体中,芯模与壳体之间的体积间隙不能太大,又必须有一定的间隙,才能使得胶片保持外形完整。由于产品内部形状简单,为了浇注芯模和成型过程的简便,将芯模设计为外形与产品内部结构相同的实芯模。

根据下列公式计算,对于硅橡胶芯模从室温  $t_0$  上升到  $t$  时产生的自由热膨胀量  $V_{2R}$  可用下式表示

$$V_{2R} = V_{0R} [1 + \alpha_V (t - t_0)] \quad (3)$$

式中,  $V_{0R}$  为在室温时硅橡胶芯模体积。

实际压力可以由下式计算

$$p = k \cdot \frac{\Delta V}{V_{2R}} \quad (4)$$

式中,  $\Delta V$  为该温度下自由热膨胀硅橡胶芯模装入模具所需要的体积压缩量,即对绝热材料产生压力的一部分硅橡胶体积<sup>[5]</sup>。据此可以设计出芯模尺寸。

以筒体直径为 100 mm 为例,减去成型后的最小胶层厚度 1.7 mm,则得到最小自由膨胀直径为 96.6 mm,由于成型时,芯模高度被筒体和工装限制,其值不变。假设室温为 20℃,以升至 100℃ 为加压点,保

证加压点最小成型压力大于 3.5 MPa,芯模材料体积弹性模量为 285 MPa,体胀系数为  $9.13 \times 10^{-4}/K$ ,可以计算出芯模直径最小值约为 94 mm。实际的芯模尺寸还需经过实验修正才能达到要求。

### 3.3.3 热膨胀成型工艺流程

热膨胀芯模在绝热层成型过程中主要经历 4 个阶段,第一个阶段为自由膨胀段,硅橡胶芯模填充工艺间隙;第二阶段为初始加压段,芯模挤压绝热材料到达设计尺寸;第三阶段为硫化段,绝热材料充分硫化,芯模保持一定压力使绝热材料紧贴筒体;第四阶段为降温降压阶段,随温度下降,芯模快速收缩,压力迅速减小。

绝热层成型的工艺,主要包括以下一些步骤。

(1)前处理:将产品壳体内表面用有机溶剂除油后再经喷砂处理,然后在粘接表面涂一薄层胶黏剂,在 15~30℃,空气相对湿度  $\leq 75\%$  的条件下,干燥 30~40 min。

(2)装模:将胶片紧紧包裹在芯模上,在接缝处用薄胶条连接,使得胶片与芯模能够充分贴合。将包裹胶片的芯模装入筒体,通过固定工装堵住筒体口。

(3)硫化:将装好芯模的产品筒口朝下放入烘箱升温至 100℃ 后保温 1 h,再升温至 150℃ 后保温 1 h。

(4)修整:取出冷却后脱模,并修整筒底的一些孔洞。

(5)无损检测:采用超声波检测方法对产品绝热层进行界面脱粘检测。

## 4 结论

热膨胀成型法可以应用于小口径、长细比大的橡胶绝热层成型,相对于贴片工艺而言,其工艺简便易操作。该工艺以及芯模的小批量生产结果表明,产品表面光滑平整,尺寸符合要求,能够满足设计要求。

### 参考文献

- 1 钱玉林. 热膨胀硅橡胶的性质及用途. 玻璃钢/复合材料,1985;(3):19~23
- 2 肖少伯. 复合材料成型新工艺——热胀成型法. 宇航材料工艺,1996;26(6):10~13
- 3 尹昌平等. 用于 RTM 工艺的软模材料的热膨胀性能. 纤维复合材料,2006;(3):5~8
- 4 靳武刚. 复合材料热膨胀成型工艺研究. 见:2002 年中国工程塑料加工应用技术研讨会论文集,2002:222~224

(编辑 吴坚)