

用于复合材料成型的硅橡胶气囊的使用寿命评估

路建军 王国勇 赵亮

(航天特种材料及工艺技术研究所,北京 100074)

文 摘 为考察用于复合材料成型的硅橡胶气囊的使用寿命,模拟气囊的实际应用条件,利用热老化后的硅橡胶的拉伸强度、撕裂强度和硅橡胶与试件的剥离强度相对比来评估。试验表明:1453D硅橡胶老化100次后拉伸强度和撕裂强度都远远大于其剥离强度,推测其力学性能能够满足使用100次的要求,因此可推荐用硅橡胶气囊代替金属芯模用于复合材料成型工艺中。

关键词 硅橡胶气囊,热老化,使用寿命

Service-Span Estimate for Silicon Rubber Inflatable Mandrel Employed in Composites Molding

Lu Jianjun Wang Guoyong Zhao Liang

(Research Institute of Aerospace Special Materials & Technology, Beijing 100074)

Abstract To study the service life-span of silicon rubber inflatable bag employed in composites molding, with simulating the servicing condition of the inflatable bag, it is reasonable to estimate the life-span via tensile breaking strength, tear strength of the aged samples in contrast to the peeling strength between silicon rubber and composites. The test indicates the tension strength and the tearing strength of silicon rubber after 100 times aging are much more larger than the peeling strength of silicon rubber Mosite1453D. It can be concluded the mechanical performance of silicon rubber can meet the requirements for 100 times use. Silicon rubber inflatable bag may be commended to meet the requirements in composites molding instead of metal.

Key words Silicon rubber inflatable bag, Thermo-Aging, Service life-span

1 前言

目前硅橡胶气囊已广泛应用于复合材料的低成本成型技术中^[1~5],其主要原理是将气囊作为复合材料成型时的芯模,通过内压的调控对复合材料坯体施压,并使之固化成型。硅橡胶气囊芯模具有柔性,和模压成型相比,易于实现复杂结构件的整体成型,装、脱模简便快捷,可节省大量工时,简化成型工艺流程。然而,相对于传统的金属芯模而言,对硅橡胶芯模的使用寿命问题的研究较少,本文以此为出发点,开展气囊的使用寿命评估研究。

2 硅橡胶气囊使用寿命评估

2.1 硅橡胶气囊的使用条件

在复合材料的气囊成型技术中,气囊作为成型时的芯模,其成型原理见图1。在复合材料的固化过程中,硅橡胶气囊需要进行内压的调控,同时预浸料中的挥发分的挥发、树脂的流动等,使气囊和试件之间粘结。气囊在制作过程中,部分区域存在基体材料的搭接现象。脱模时硅橡胶气囊和制件之间有剥离,气囊产生拉伸应变和撕裂应变。

气囊的最高使用温度取决于复合材料树脂的固

收稿日期:2005-10-23

作者简介:路建军,1976年出生,硕士,主要从事复合材料成型技术方面的研究工作

化温度,一般为室温至 200 之间;气囊的内压调控一般控制在 0.1~0.7 MPa 之间。因此气囊的使用寿命长短即重复使用次数,也就是气囊在一定压力及应力下的热老化过程。

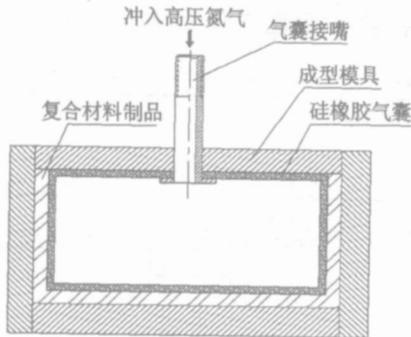


图 1 硅橡胶气囊成型原理

Fig 1 Molding principle of silicon rubber inflatable bag

2.2 硅橡胶气囊基体材料的选择

对硅橡胶基体材料的选择,一般情况下应根据材料的破坏应力、最大使用温度、制作工艺等进行。在本评估方案中,气囊基体材料选为法国 Aerovac 公司的 Mosites1453D 硅橡胶,其基本性能见表 1。

表 1 气囊基体材料 Mosites1453D 的基本性能

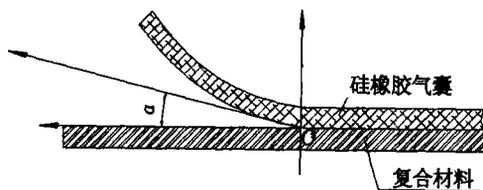
Tab 1 Physical properties of inflatable bag material Mosites1453D

硬度 (A)	拉伸强度 (MPa)	撕裂强度 (MPa)	最高使用 温度 /	断裂伸长率 /%
50	9.65	43.78	230	650
收缩率 /%	压缩应变 /% (176 / 120 min)	密度 /g·mm ⁻³	储存	
1~2	38	1.15	低温储存(未硫化)	

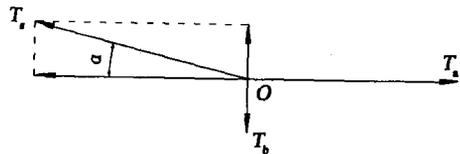
2.3 硅橡胶气囊使用寿命评估

2.3.1 气囊脱模时的力学分析

气囊在脱模过程中,气囊被拉伸与制件相剥离,从而达到脱模的目的。图 2 是气囊脱模过程的示意图。



(a) 脱模过程



(b) 受力分析

图 2 气囊脱模过程示意图

Fig 2 Unbading process of silicon rubber inflatable bag

假设气囊与制件之间的剥离力为 L_b ,外界施加给气囊的脱模力为 L_s ,气囊自身的弹性应变产生的弹性力为 L_a ,则根据图 2(b)所示,气囊在匀速、顺利脱模的情况下,应满足下述方程:

$$L_s \sin \alpha = L_b \quad (1)$$

$$L_s \cos \alpha = L_a \quad (2)$$

式中, α 为脱模时硅橡胶气囊与制件的夹角(脱模角)。从方程中可以得出, L_b 值一定的条件下,随着 α 的增大,气囊脱模需要施加的力 L_s 也就越小,从而越有利于脱模。 α 的大小一般与脱模空间有关,脱模空间越大, α 的值越大。在一般情况下,脱模时选取 $\alpha > 30^\circ$ 。

脱模时气囊与制件的剥离力 L_b 取决于复合材料树脂体系的流动及黏性、气囊的内压大小、气囊受压后的弹性应变等。在气囊装模时,气囊与制件坯料的装配间隙是有限的,一般情况下为贴合接触,因此气囊受压后的弹性应变比较小,可以忽略不计。气囊的内压一般不超过 0.7 MPa,对于一定的复合材料体系,固化后气囊与制件之间的最大剥离力 $L_{b \max}$ 为一常数。

因此,气囊能够脱模的条件为:

$$L_s \sin \alpha > L_{b \max}, \text{ 且 } L_{s1}, L_{s2} > L_s \quad (3)$$

式中, L_{s1} 、 L_{s2} 分别为硅橡胶气囊的拉力和撕裂力。由于 $L_s \sin \alpha > L_{b \max}$, $\alpha > 30^\circ$ 可得气囊能够脱模的条件为:

$$L_s > 2L_{b \max}, \text{ 且 } L_{s1}, L_{s2} > L_s \quad (4)$$

当 L_{s1} 、 $L_{s2} < L_s$ 时,气囊被撕裂,不能够顺利脱模,使用寿命终止。对于气囊同一点上所受的力的比较,可以转化为强度的比较,所以气囊能够脱模的条件可转化为:

$$T_s > 2T_{b \max}, \text{ 且 } T_{s1}, T_{s2} > T_s \quad (5)$$

式中, T_s 为脱模强度, T_{s1} 为可比拉伸强度, T_{s2} 为搭

接试样撕裂强度, $T_{b\max}$ 为最大剥离强度。

2.3.2 气囊使用寿命评估方案确定

气囊的重复使用过程也就是硅橡胶在一定条件下的热老化过程, 根据气囊脱模时的力学分析, 可选定气囊的使用条件为循环周期, 测试老化若干次后硅橡胶标准试样拉伸强度 T_{sl} 、搭接试样撕裂强度 T_{σ} 值, 计算出脱模强度 T_s , 并和老化前模拟实际使用条件下硅橡胶和试件之间的最大剥离强度 $T_{b\max}$ 相对比来评估硅橡胶气囊的寿命。气囊的破坏并不只是强度降低一种途径, 在使用过程中也会有划伤、摔打造成破坏, 但本文中只考虑气囊热老化后强度的降低对气囊使用寿命的影响。

2.3.3 选用强度的可对比性

由于选用方案中剥离强度 T_b 与撕裂强度 T_{σ} 量纲一致, 拉伸强度 T 与 T_b 、 T_{σ} 量纲不一致, 为了比较方便, 需要把单位统一。由标准可知, 拉伸强度 T 的公式为:

$$T = \frac{F}{bd} \quad (6)$$

式中, F 为试样所受的作用力; b 为试样工作部分宽度; d 为试样工作部分厚度。

撕裂强度 T_{σ} 的公式为:

$$T_{\sigma} = \frac{F}{d} \quad (7)$$

式中, F 为试样撕裂时的最大作用力。

为了比较方便, 需要把拉伸强度值 T 和公式 (6) 中的 b 值相乘, 换算成拉伸可比强度 T_{sl} , 再和 T_{σ} 一起与剥离强度 T_b 相比较。

3 试验

3.1 试验标准

拉伸试验, 《GB/T 528—1998 硫化橡胶或热塑性橡胶拉伸应力应变性能的测定》。撕裂强度, 《GB/T 529—1991 硫化橡胶撕裂强度的测定》。老化试验, 《GB/T 3512—1983 橡胶热空气老化试验方法》。剥离强度, 《GB/T 15254—1994 硫化橡胶与金属粘接 180 剥离试验》。

3.2 试样制作

剥离强度试样。模拟实际使用条件, 选取一块硫化橡胶试样, 铺预浸料 T300/HD03 (铺层顺序为: [+45°/0°/-45°/0°/+45°/90°]s), 用模压工艺固化。

硫化橡胶试样和复合材料试件尺寸借用《GB/T 15254—1994 硫化橡胶与金属粘接 180 剥离试验》(用复合材料试件代替金属, 试件厚度尺寸和产品一致, 为了和实际情况相符, 实际测 90 剥离试验)。

搭接试样如图 3 所示, 其余试样按国标制作。

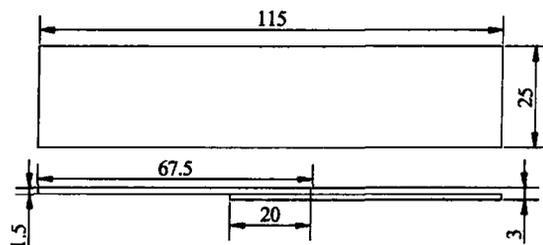


图 3 搭接试样制作形状及尺寸

Fig 3 Shape and size of overlapping sample

3.3 测试内容

先测试试样老化前的剥离强度 T_b 、拉伸强度 T_{sl} 和撕裂强度 T_{σ} 。

金属芯模一般使用 100 次左右, 预计硅橡胶气囊的使用寿命与金属芯模相当, 所以测试到硅橡胶老化 100 次后的拉伸和撕裂强度。分别测试试样老化 30 次、50 次、70 次、80 次、90 次和 100 次后的拉伸强度 T_{sl} 、撕裂强度 T_{σ} , 试样老化所用设备为 ESPEC 老化试验箱 (重庆银河 PH201, 带温度程序控制功能)。

试样的老化试验为室温升至 180, 升温速率为 1~2 /min, 然后自然降至 40 以下。试验过程中箱内须保持 0.5~0.6 MPa 的压力。

值得注意的是: 模拟实际应用中硅橡胶受压可通过加工装的方式获得, 通过控制试样的应变变量来表示所加力的大小。

4 结果与讨论

老化前模拟实际使用条件下硅橡胶和试件之间的剥离强度 T_b 值的 2 倍为 0.436 kN/m。图 4 是根据老化试验数据制作的 Mosite1453D 硅橡胶老化次数与强度的关系曲线。可以看出, 试样拉伸强度值随着老化次数的增加, 总体呈一定的下降趋势 (在 80 次和 90 次之间有一定的波动), 下降率为 15.6%, 按可比强度换算, 1453D 硅橡胶老化 100 次后拉伸可比强度 (39.7 kN/m) 远远大于剥离强度的 2 倍; 试样不同的老化次数对应的撕裂强度波动变化, 波动的范围不是很大, 老化试验过程中撕裂强度的

最小值为 30.2 kN/m,仍然远大于 0.436 kN/m。

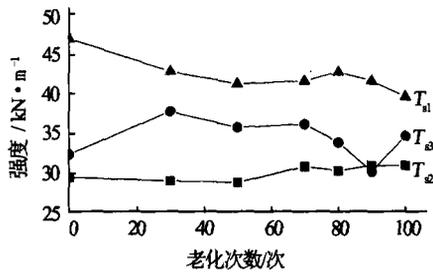


图 4 Mosite1453D 硅橡胶老化次数与强度关系

Fig 4 Aging time and intension curves of silicon rubber mosite1453D

另一方面,硅橡胶搭接试样拉伸强度并没有预计的下降,反而在老化 60 次以后有一定的上升趋势,这可能有两个原因:一是试验数值选得太少,不能完全反映老化次数和拉伸强度之间的关系;二是硅橡胶的拉伸性能很好,在老化多次以后没有明显变化。和 1453D 硅橡胶标准试样拉伸强度值相比,搭接试样的拉伸强度值要小一些,但从具体数值上按可比强度换算搭接试样 100 次老化过程中的最小值 (28.86 kN/m) 也远大于剥离强度的 2 倍。

综合 1453D 硅橡胶老化 100 次后拉伸强度和撕裂强度都远远大于剥离强度的 2 倍,且脱模强度大于 0.436 kN/m 小于 30.2 kN/m,推测其力学性能

能够满足使用 100 次的要求。因此可推荐用硅橡胶气囊代替金属芯模用于复合材料成型工艺中。

5 结论

模拟硅橡胶气囊的实际应用条件,利用热老化后的硅橡胶的拉伸强度、撕裂强度和硅橡胶与试件的剥离强度相对比,1453D 硅橡胶老化 100 次后拉伸强度和撕裂强度都远远大于剥离强度,推测其力学性能能够满足使用 100 次的要求,因此可推荐用硅橡胶气囊代替金属芯模用于复合材料成型工艺中。这也为低成本硅橡胶气囊成型技术的应用奠定了坚实的基础。

参考文献

- 1 Moser D J. Inflatable mandrel fabrication technology: advantages for the containment of rocket propellants. AIAA 92-3058
- 2 梁宪珠,徐洪波,王海清.非开敞(闭合或半闭合)复合材料构件制造技术.见:第十三届全国复合材料会议论文集,2004:801~804
- 3 洪旭辉,张扬. Kevlar 军用头盔盔壳的研制.见:第十三届全国复合材料会议论文集,2004:841~846
- 4 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
- 5 杜刚.硅橡胶热膨胀模塑成型法制备碳/环氧复合材料管研究.纤维复合材料,2003;20(2):26

(编辑 李洪泉)

(上接第 59 页)

了沥青基泡沫炭生料。此材料是一种由孔壁和韧带组成的三维网状结构的多孔轻质材料。(2)通过控制升温速率和压力可以很好地控制孔结构,升温速率以 1 /min 时泡沫炭孔的连通性比较好。在炭化后孔径略有收缩,经高温石墨化后孔壁和韧带的结晶取向度趋于完善,使泡沫炭的结构接近于石墨材料的晶体结构。(3)密度为 0.3 g/cm³ 泡沫炭的热导率为 32 W/(m·K),具有优异的导热性能。

参考文献

- 1 成会明,刘敏,苏革等.泡沫炭概述.炭素技术,2000;(3):30~32
 - 2 邱海鹏,宋永忠,郭全贵等.高导热炭纤维及其炭基复合材料.功能材料,2002;33(5):473~475
 - 3 Klett J W,McMillan A D, Gallego N C et al Effects of heat treatment conditions on the thermal properties of mesophase pitch-derived graphitic foams Carbon,2004;42:1849~1852
- 宇航材料工艺 2006年 第2期

- 4 Klett J W. Process for making carbon foam. US Patent, 6033506, 2000
- 5 李凯,栾志强.中间相沥青基炭泡沫.新型炭材料,2004;19(1):77~78
- 6 Klett J. High thermal conductivity, Mesophase pitch-derived carbon foam. Covina, CA, In: Proceedings of the 43rd International SAMPE Symposium and Exhibition, SAMPE, 1998; 43(1):745~755
- 7 李平.中间相沥青基泡沫炭的制备及性能研究.大连理工大学,2005
- 8 邱海鹏.高导热炭基复合材料的制备及其导热机理的研究.太原:中国科学院山西煤化所,2003
- 9 邱海鹏,郭全贵,宋永忠等.原料配比对石墨材料热传导性能的影响.材料科学与工艺,2002;10(3):225~230

(编辑 任涛)