

一种网格结构用橡胶模具研究

Study of a Rubber Mould for Lattice Structure

郭亚林¹, 丘哲明², 梁国正¹

(1 西北工业大学化学工程系, 710072;

2 中国航天科技集团公司第四研究院第四十三研究所, 710025)

GUO Ya-lin¹, QIU Zhe-ming², LIANG Guo-zheng¹

(1 Chemical Engineering Department, Northwestern Polytechnical University,

Xi an 710072, China; 2 The 43rd Institute of the

Fourth Research Academy of CASC, Xi an 710025, China)

摘要: 介绍了一种网格结构用橡胶模具的研究。所研制出的硅橡胶配方的拉伸强度为 1.11MPa, 断裂伸长率为 95.6%, 比热容为 $2.068 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, 导热系数为 $0.224 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, 密度为 $1.087 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$, 线收缩率为 1.05%, 邵氏硬度为 60。该配方具有良好的成型工艺性。并利用该配方成功的制作出了 480 网格结构缠绕成型用模具。

关键词: 硅橡胶; 模具; 网格结构

中图分类号: TQ330.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4381 (2004) 02-0037-03

Abstract: The study of a rubber mould for lattice structure was presented. The tensile strength, tensile elongation, specific heat, thermal conductivity, density, linear shrinkage and shore A hardness of the rubber were 1.11MPa, 95.6%, $2.068 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$, $0.224 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$, $1.087 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$, 1.05% and 60 respectively. The forming processing of the rubber was good and a 480 mould which can be used to wind a lattice structure was fabricated.

Key words: silicone rubber; mould; lattice structure

网格结构是一种连续纤维加筋复合材料结构壳体, 是先进的结构材料与先进结构形式的结合, 具有可设计性强、整体性好、承载能力高、制造周期短、生产成本低等优点, 因而有着广泛的用途, 可用作导弹和运载火箭的级间段、过渡段舱段的承载壳体, 卫星的承力壳体以及飞机的机身等^[1,2]。模具是制作高性能网格结构的重要保证之一, 用于网格结构成型的模具通常有金属模具、硬质泡沫塑料模具、石膏模具、硅橡胶模具和“混合模具”等, 其中硅橡胶模具由于具有易制成复杂形状、成型工艺简单、在固化过程中对复合材料筋有压实作用等优点而得到广泛应用^[2-5]。本工作研制出了一种用于网格结构缠绕成型用的硅橡胶模具。实验采用常见的液体甲基硅橡胶作为基体, 根据网格结构对模具在硬度和弹性等方面的要求, 选择了两种填料组成配方, 介绍了该配方的性能和成型工艺方面的研究情况, 最后利用该配方成功的制作出了 480 网格结构缠绕成型用模具。

1 用于制作模具的硅橡胶性能要求分析

用于制作模具的硅橡胶一般需满足以下技术要

求: (1) 流动性好, 能自动充满模具; (2) 硫化时间在 24h 之内; (3) 有 0.5h 以上的操作时间; (4) 线收缩率小于 1%; (5) 硬度达 60~70 度邵尔 A; (6) 抗张强度大于 4.0MPa; (7) 扯断伸长率 150%~200% 等^[6]。根据上述技术要求来进行网格结构用橡胶模具的技术要求分析。在模具的成型工艺方面, 其成型需采用浇筑方法, 因此所选择的硅橡胶配方必须具有良好的流动性、适当的操作时间和硫化时间, 即满足上述要求 (1)~(3); 在网格结构复合材料外形尺寸的稳定性方面, 硅橡胶配方须具有较小的线收缩率和一定的硬度, 以保证网格结构的精度, 即满足要求 (4) 和 (5); 在硅橡胶模具受力方面, 网格结构模具一般附着在石膏芯模或砂芯模上, 在整个工作过程中主要承受压力作用, 且变形较小, 因此, 对模具抗张强度和伸长率的要求可适当降低。

2 实验部分

2.1 原材料

液体室温硫化甲基硅橡胶等。

2.2 试样制备

胶液配制：按比例称取各组分，首先向容器中加入甲基硅橡胶，然后加入硫化剂，搅拌均匀，再加入填料，搅拌均匀后加入催化剂，充分搅拌胶液约 5min，备用。

浇铸体制作：将配好的胶液浇铸于已调水平的平板模具内，室温放置一天后脱模即可。

网格结构模具制作：将配好的胶液浇铸于已调水平的金属模具内，流平后铺放一层玻璃纤维粗布，再在玻璃布上涂一薄层胶液，铺放隔离纸，压上上模板，室温放置一天后脱模，去除毛边并切割，然后粘结在特制的芯模上即可。

2.3 性能测试

拉伸性能测试按 GB528- 82 进行；室温热常数测试按 GJB1201.1- 91 进行；线收缩率测试： $Q = \frac{a-b}{a} \times 100\%$ ，式中， Q 为线收缩率（%）， a 为模具在室温下的单向尺寸（mm）， b 为试件在室温下的单向尺寸（mm）；邵氏（A）硬度测试按 GB2411- 80 进行；凝胶时间测试：按比例配制好胶液后开始计时，每隔 5min 用大头针从胶液中挑起，到大头针挑起时有丝状物产生为止，此时的时间即为胶液的凝胶时间。

3 结果与讨论

根据对用于制作模具的硅橡胶性能要求的分析，实验通过对几种硅橡胶进行比较分析，并选用不同的填料进行筛选实验后，确定出一种用于网格结构缠绕成型的硅橡胶模具配方，在对该配方进行性能研究的基础上，制作出用于缠绕法成型的网格结构硅橡胶模具。

3.1 力学性能

表 1 为硅橡胶配方的拉伸性能。从表中可以看出，其拉伸强度为 1.11MPa，相对较小，但网格结构模具在制作及工作过程中，材料主要承受压力作用，因此该强度基本上可满足作为模具应用，这一点也为后面的模具制作所证明。为了进一步提高模具的性能及使用的可靠性，在随后的制模过程中，实验采用玻璃纤维粗布对模具在成型过程中需要承受较大拉力作用的部分进行了局部增强。硅橡胶配方的断裂伸长率为 95.6%，这一伸长率完全满足网格结构模具在制作及工作过程中材料的变形需求。

3.2 热性能

由于网格结构在固化过程中镶嵌于硅橡胶模具之中，而复合材料的固化与温度密切相关，因此，测试用于制作模具的硅橡胶的热常数对于制定合理的固化工艺具有重要的指导意义。表 2 给出了硅橡胶配方的室温热常数，由表 2 可知，其比热容为 $2.068 \times 10^3 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ，导热系数为 $0.224 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。

表 1 硅橡胶力学性能		
Table 1 Mechanical properties of the silicone rubber		
No.	Tensile strength/MPa	Elongation at break/%
1	1.19	104.0
2	1.08	86.4
3	0.90	78.0
4	1.11	95.6
5	1.16	98.5
Mid-value	1.11	95.6

表 2 硅橡胶的室温热常数			
Table 2 Thermal properties of silicone rubber at room temperature			
No.	Specific heat / $10^3 \text{ J} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$	Thermal diffusivity / $(\text{cm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$	Thermal conductivity / $\text{W} \cdot (\text{m} \cdot \text{K})^{-1}$
1	2.176	0.000808	0.225
2	2.039	0.000860	0.226
3	1.989	0.000882	0.221
X	2.068	0.000850	0.224
$C_v / \%$	4.7	4.5	1.2

3.3 其它物理性能

表 3 是硅橡胶配方的密度、线收缩率和邵氏硬度。从表中可以看出，其密度较小，仅为 $1.087 \times 10^3 \text{ kg}/\text{m}^3$ 。小的密度可在一定程度上减轻模具的重量，这对制作大型网格结构成型用模具是十分有利的。而其线收缩率为 1.05%，邵氏硬度为 60，基本满足模具用硅橡胶的技术要求。将该配方用作模具时，这些特性能够较好地保证网格结构的外形尺寸精度。

表 3 硅橡胶的其它相关物理性能			
Table 3 Other physical properties of silicone rubber			
Item	Density/ $(10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3})$	Linear shrinkage / %	Shore A hardness
Value	1.087	1.05	60

3.4 成型工艺性

橡胶配方成型的工艺性主要包括胶液流动性、硫化时间和操作时间等方面。实验从材料性能和胶液的粘度等方面对不同填料进行了比较分析，最后确定由两种填料与室温硫化甲基硅橡胶组成配方，该配方在保证材料性能的前提下其胶液具有良好的流动性，并且能在 24h 内完全硫化。

操作时间是模具制作的难点之一，特别是对于大型复杂模具的制作，需要相对较长的操作时间。实验

采用胶液的凝胶时间研究了配方的操作时间。凝胶时间受硫化反应影响, 室温硫化硅橡胶的硫化反应受催化剂的浓度、羟基及烷氧基的数目影响^[7]。实验研究了催化剂含量对胶液凝胶时间的影响。图 1 是催化剂含量对胶液凝胶时间的影响曲线, 由图可见, 随着催化剂含量增大, 胶液的凝胶时间明显缩短, 因此, 可通过调节催化剂的含量来控制胶液的凝胶时间, 从而能够对配方的操作时间加以调整。另外, 通过加入纳米 SiO_x 不仅可调节室温硫化硅橡胶的凝胶时间, 而且还能改进其力学性能, 又不会大幅度提高其粘度, 因而添加纳米 SiO_x 也是控制胶液凝胶时间的一个有效方法^[8]。

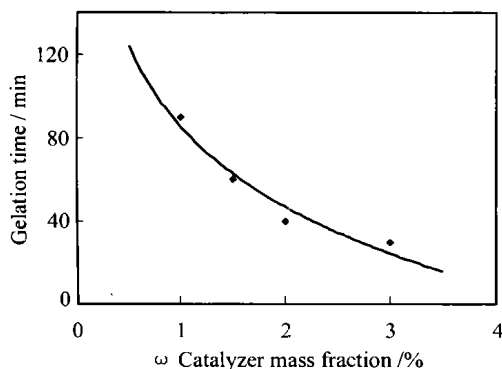


图 1 催化剂对凝胶时间的影响

Fig. 1 Effect of catalyzer on gelation time of rubber

3.5 网格结构模具制作

在硅橡胶配方研究的基础上, 为了进一步对所研制的配方性能加以考核, 同时作为网格结构缠绕成型工作的一部分, 实验进行了网格结构模具的制作, 利用所研制出的配方成功的制作出了 480 网格结构缠绕成型用模具 (见图 2)。采用该模具进行网格结构的缠绕成型, 根据成型情况对硅橡胶配方加以评价, 并将缠绕试样与采用其它模具的试样进行比较分析, 总结出硅橡胶模具的优点。

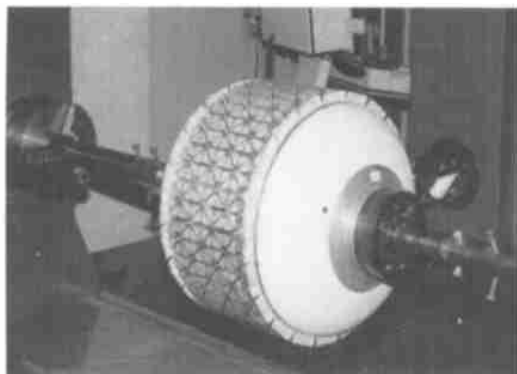


图 2 网格结构橡胶模具

Fig. 2 The rubber mould for lattice structure

4 结论

(1) 所研制硅橡胶配方的拉伸强度为 1.11 MPa, 断裂伸长率为 95.6%, 比热容为 $2.068 \times 10^3 \text{ J} / (\text{kg} \cdot \text{K})$, 导热系数为 $0.224 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$, 密度为 $1.087 \times 10^3 \text{ kg} / \text{m}^3$, 线收缩率为 1.05%, 邵氏硬度为 60。

(2) 所研制的硅橡胶配方具有良好的流动性、合适的硫化时间和操作时间。

(3) 利用所研制的配方成功地制作出了 480 网格结构缠绕成型用模具。

参考文献

- [1] 于翹. 材料工艺 (下) [M]. 北京: 宇航出版社, 1993. 276-278.
- [2] KOURY J L, KIM T D, TRACY J J, HARVEY J A. Continuous fiber composite isogrid structure for space applications [A]. Proceedings of the 1993 conference on processing, fabrication and applications of advanced composites [C]. Long beach, CA, 9-11. 1993. 193-197.
- [3] HU Y BRECHTS S, MEINK T E. Advanced grid stiffened structures for the next generation of launch vehicles [A]. 1997 IEEE Aerospace Conference, Aspen, CO, Feb 1-8, 1997, Proceedings. Vol. 1 (A 97-44051 12-99), Piscataway, NJ, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc, 1997. 263-270.
- [4] VASILIEV V V, BARYNIN V A, RASIN A F. Anisogrid lattice structures—survey of development and application [J]. Composite Structures, 2001, (54): 361-370.
- [5] 陆集平. 碳/环氧复合材料网格加筋结构的研制 [A]. 全国复合材料学术会议文集 [C]. 1988. 11: 1131-1136.
- [6] 章基凯. 有机硅材料 [M]. 北京: 中国物资出版社, 1999. 275-276.
- [7] 幸松民, 王一璐. 有机硅合成工艺及产品应用 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2000. 634-643.
- [8] 郭亚林, 梁国正, 丘哲明, 等. 纳米 SiO_x 改性室温硫化硅橡胶研究 [J]. 弹性体, 2003, 3 (1): 19-22.

收稿日期: 2003-09-02; 修订日期: 2003-11-03

作者简介: 郭亚林 (1971-), 男, 工程师, 博士研究生, 主要从事复合材料研究, 联系地址: 西安市 101 信箱 306 分箱 (710025)。

* * * * *

一种新型铁电高分子聚合物

法国 piezotech 公司生产的 (PVDF-TrFE), 即聚偏氟乙烯与聚三氟乙烯的高分子共聚物, 其具有独特的压电、铁电和热释电特性, 以上三种特性均比 PVDF 优异。其声阻较低, 与水或生物软组织有较好的声阻匹配, 且柔软易于大面积成膜, 是接收声信号的优质材料。经过与铁电陶瓷复合后, 这种高聚物与陶瓷就会发挥出综合优势。 (张明福)