

文章编号: 1000-3851(2001)01-0046-04

复合材料圆柱螺旋弹簧的制造与实验研究

隋 刚, 范勇峥, 仲伟虹, 张佐光, 孙志杰, 陈儒文

(北京航空航天大学 材料科学与工程系, 北京 100083)

摘要: 对玻璃纤维复合材料圆柱螺旋弹簧的加工和弯曲力学性能进行了研究。通过大量探索性试验确定了复合材料弹簧的成型工艺流程, 讨论了弹簧的加工工艺及结构参数对其弯曲回弹力、回复率及拉伸性能等的影响规律。研究结果表明, 复合材料弹簧的弯曲力学性能与弹簧内径、纤维束的捻度、股数及直径等有直接关系, 并受弯曲、回复时间的影响, 可以根据需要设计弹簧的工艺和结构参数。

关键词: 复合材料; 弹簧; 弯曲; 加捻

中图分类号: TB332; TH135 文献标识码: A

MANUFACTURE AND EXPERIMENT STUDY OF COMPOSITE CYLINDROID SPIRAL SPRING

SUI Gang, FAN Yong-zheng, ZHONG Wei-hong,

ZHANG Zuo-guang, SUN Zhi-jie, CHEN Ru-wen

(Dept. of Materials Science and Engineering, Beijing University of Aeronautics & Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: This paper is mainly about the study on the processing and mechanical performance of glass-fiber composite springs. The processing parameters of cylindroid spiral springs were confirmed on the basis of a large number of experiments. Influence of processing technology and structure parameters of the composite spring on bending resilience, bending restoration rate and tensile property was also tested and analysed. The experimental results indicate that bending mechanical performance of the composite spring is directly associated with the inside diameter of the spring, and the diameter, twist and number of fiber bundles. The bending restoration rate of the composite spring is under the influence of bending time and restoration time. The processing and structure parameters can be regulated according to specific conditions.

Key words: composite; spring; bending; twisting

弹簧在使用过程中, 受到外力作用时会产生变形, 在弹性范围内把机械功或动能转变为变形能储存起来。当外力撤除后, 弹簧即恢复原来的形状, 并且对外做功^[1]。作为一种重要的机械部件, 弹簧广泛应用于生产和生活中的各个方面。随着材料科学技术的发展, 已经开始使用复合材料来制造一些弹性元件, 其特点是具有较大的吸收弹性能力, 强度高, 电绝缘性好, 而且比重小, 容易整体化。但是, 目前复合材料在弹簧制造领域的应用还很有限, 而且通常只是用来加工板弹簧^[2]。在应用范围最广的圆柱螺旋弹簧的生产方面使用极少, 国内还没有这方面的相关报道。因此, 对复合材料圆柱螺旋弹簧的制造工

艺、力学性能进行研究是很有必要的。本文作者在这些方面作了一些探索性工作。

1 实验部分

1.1 原材料

高强度玻璃纤维, 南京玻璃纤维研究院提供。
648 环氧树脂, 上海树脂厂生产。固化剂三氟化硼单乙胺, 上海试剂三厂生产。

1.2 仪器及设备

TPJ-2型纤维排布机, 625研究所制造; 复合材料弹簧缠绕装置, 自行设计加工; DF204型电热烘

箱, 北京医疗设备厂制造; 6TZ-10型拉力试验机, 广州实验仪器厂制造。

1.3 复合材料圆柱螺旋弹簧的加工流程

排布 裁剪 拉挤 加捻 缠绕 固化

2 结果与讨论

2.1 复合材料圆柱螺旋弹簧的成型

根据弹簧在使用时对材料强度、模量、韧性的要求, 再考虑成本及生产工艺方面的因素, 选用玻璃纤维增强环氧树脂基复合材料作为制备弹簧的原材料^[3]。它具有比强度高、韧性好、固化工艺成熟、成本适中的特点。

通过大量的探索性试验及反复的修改与完善, 确定了将几股纤维束加捻后缠绕在芯棒上进行固化的复合材料圆柱螺旋弹簧的成型工艺, 对工艺流程中的每一个步骤都必须按照工艺参数严格控制, 确保产品生产的稳定性和可靠性。其中加捻一步很重要, 可以使纤维束之间形成缠紧力, 保证纤维束各方面受力的均匀性, 并让多余的胶液在固化过程中被挤出, 提高弹簧的整体性能。本文实验中所用的弹簧节距均等于纤维束的直径。

2.2 复合材料圆柱螺旋弹簧的弯曲回弹弹性力

2.2.1 不同内径弹簧的回弹力

选取长度为 200 mm 的不同内径, 其它参数(纤维束的直径、捻度和股数等)相同的弹簧, 分别在不同的弯曲角度测量其回弹力, 所得实验结果见图 1。从图中可以看出每一种规格弹簧的回弹力同弯曲角度成正比。当弹簧捻度、纤维束的股数和直径等相同时, 弹簧内径是影响其回弹力的主要因素。弹簧的内径小, 其回弹力大; 内径大, 回弹力小。

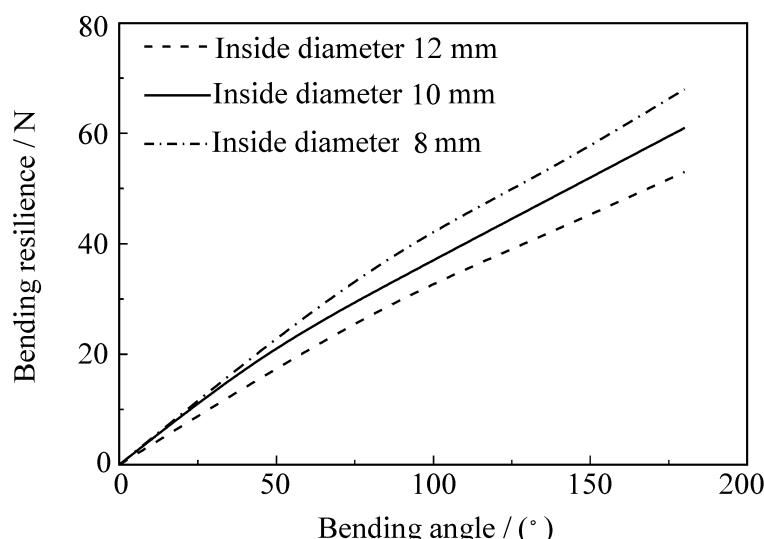


图 1 不同内径弹簧的弯曲回弹力

Fig. 1 Bending resilience of springs with different inside diameters

2.2.2 不同纤维股数弹簧的回弹力

选取长度为 200 mm 的不同纤维股数, 其它参数(内径、纤维束的直径和捻度等)相同的弹簧, 分别在不同的弯曲角度下测量其回弹力, 其实验结果见图 2。从图中可以看出每一个规格弹簧的回弹力同弯曲角度成正比。当弹簧内径、纤维束的捻度和直径等相同时, 纤维股数是影响其回弹力的主要因素。纤维股数多, 其回弹力大; 股数少, 回弹力小。

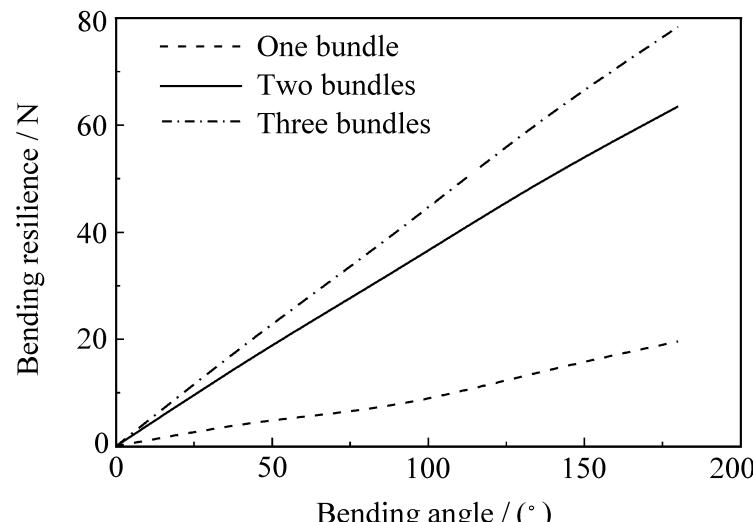


图 2 不同纤维股数弹簧的弯曲回弹力

Fig. 2 Bending resilience of springs with different numbers of fiber bundles

2.2.3 不同捻度弹簧的回弹力

选取长度为 200 mm 的不同捻度, 其它参数(内径、纤维束的直径和股数等)相同的弹簧, 分别在不同的弯曲角度下测量其回弹力, 其实验结果见图 3。从图中可以看出每一个规格弹簧的回弹力同弯曲角度成正比。当弹簧的内径、纤维束的股数和直径等相同时, 捻度是影响其回弹力的主要因素。捻度大, 其回弹力大; 捻度小, 回弹力小。

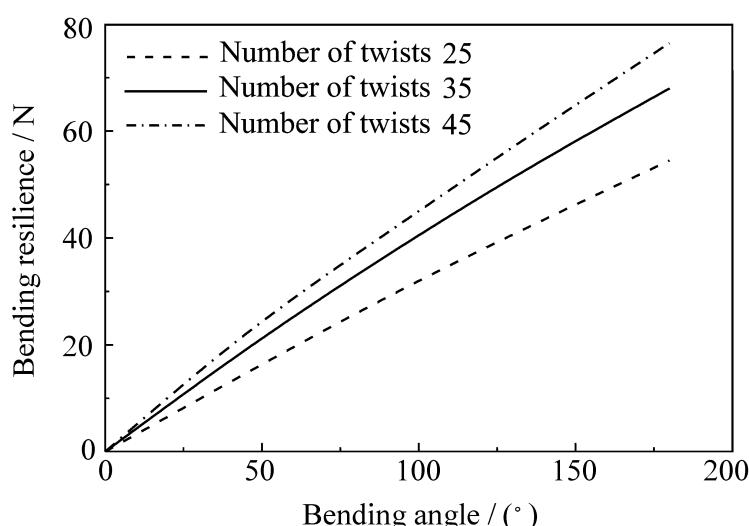


图 3 不同捻度弹簧的弯曲回弹力

Fig. 3 Bending resilience of spring with different numbers of twists for fiber bundles

2.3 复合材料圆柱螺旋弹簧的弯曲回复率

2.3.1 不同内径弹簧的回复率

选取长度为 200 mm 的不同内径, 而其它参数(纤维束的直径、捻度和股数等)相同的弹簧, 弯曲 180° 并固定一段时间后, 测量它们在回复时间为 1 min 时的弯曲回复率。不同弯曲时间的弯曲回复率见图 4。将弯曲时间恒定为 30 min, 测量不同回复时间下的弹簧回复率见图 5。从图中可以看出每一个规格弹簧的弯曲时间越长, 则其弯曲回复率越小、弯曲回复率同弯曲时间成反比。当弯曲时间恒定不变时, 复合材料弹簧的弯曲回复率随回复时间的增加而增加。当弹簧内径不同, 而其它参数(纤维束的股数、捻度和直径等)相同时, 内径越大, 其弯曲回复率越小; 内径越小, 弯曲回复率越大。内径大的弹簧比内径小的弹簧回复率趋于恒定的速度快, 最终回复率比小内径的弹簧小。

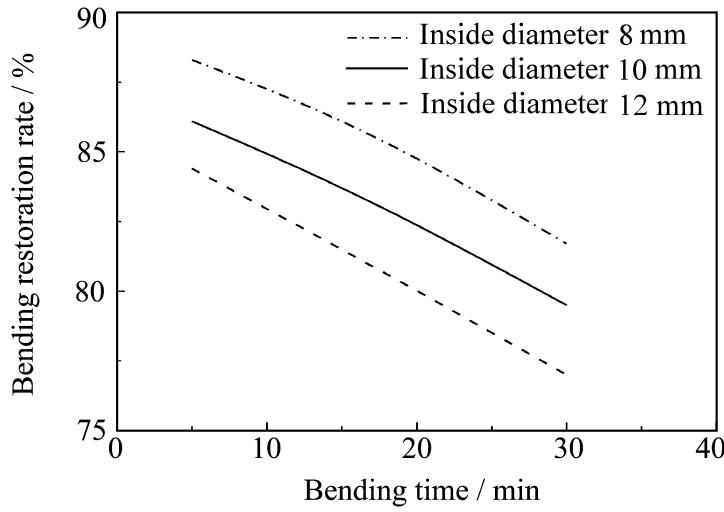


图 4 不同内径弹簧的弯曲恢复率随回复时间的变化

Fig. 4 Bending restoration vs bending time for springs with different inside diameters

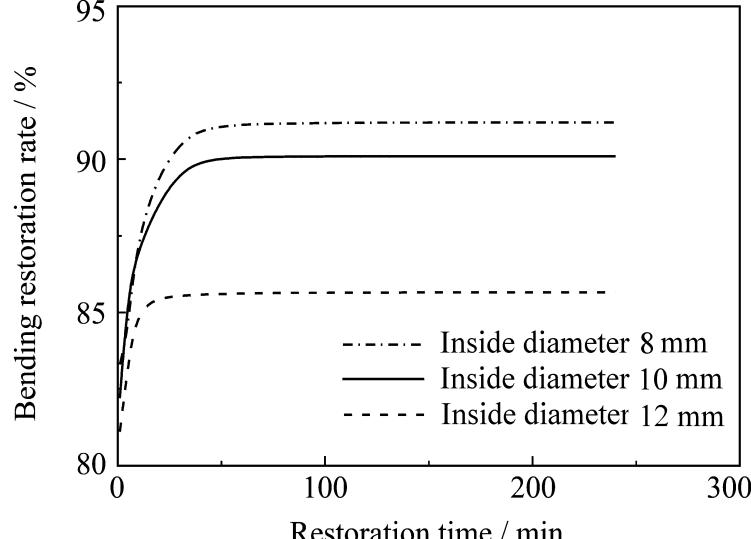


图 5 不同内径弹簧的弯曲回复率随回复时间的变化

Fig. 5 Bending restoration rate vs restoration time for springs with different inside diameters

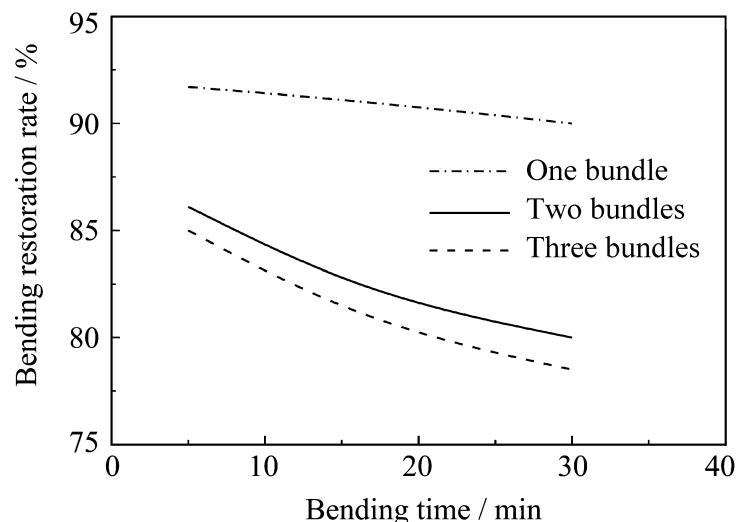


图 6 不同纤维股数弹簧的弯曲回复率随弯曲时间的变化

Fig. 6 Bending restoration rate vs bending time for springs with different numbers of fiber bundles

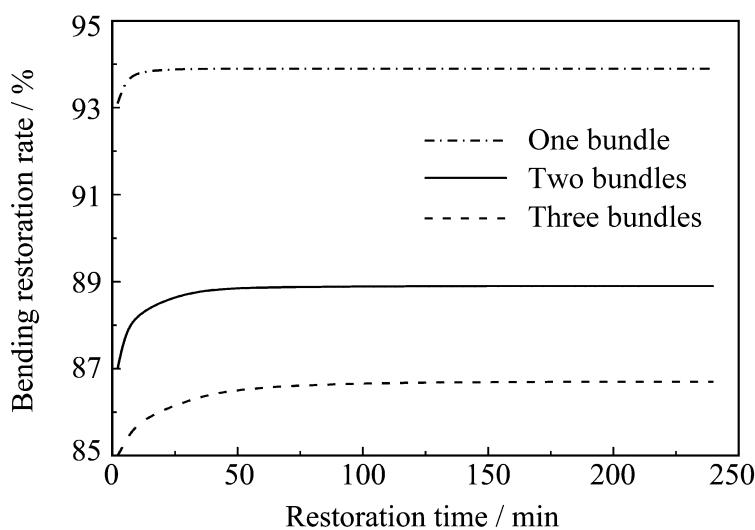


图 7 不同纤维股数弹簧的弯曲回复率随回复时间的变化

Fig. 7 Bending restoration rate vs restoration time for springs with different numbers of fiber bundles

2.3.2 不同纤维束数弹簧的回复率

选取长度为 200 mm 的不同纤维股数, 而其它参数(内径、纤维束的捻度和直径等)相同的弹簧, 弯曲 180° 并固定一段时间后, 测量它们在回复时间为 1 min 时的弯曲回复率, 所得结果见图 6。将弯曲时间恒定为 30 min, 测得不同回复时间下弹簧的弯曲回复率见图 7。从图中可以看出, 纤维股数越多, 其弯曲回复率越小; 股数越少, 弯曲回复率越大。并且, 纤维股数少的弹簧比股数多的弹簧回复率趋于恒定的速度快, 最终回复率比股数多的弹簧大。

2.4 弹簧的拉伸特性

选取长 200 mm、内径 10 mm、捻度 25、由二股纤维束缠绕成的弹簧进行拉伸试验。当载荷按 50 N/min 的速度增大时, 复合材料弹簧变形增大; 当载荷增大至 400 N 时, 按同样速度卸载, 此时, 复合

材料弹簧变形减小, 但卸载曲线不与加载时曲线完全重合; 当载荷减小至零时, 弹簧仍有一个小变形没有恢复。复合材料弹簧的拉伸曲线见图 8。产生这种现象的原因可能是弹簧在拉伸变形过程中, 纤维束间因摩擦而损耗了部分能量, 并且由于复合材料的纤维束与树脂基体在拉伸过程中力学行为有所差异, 造成了材料的内部脱粘, 所以卸载时不能完全回复至原长。

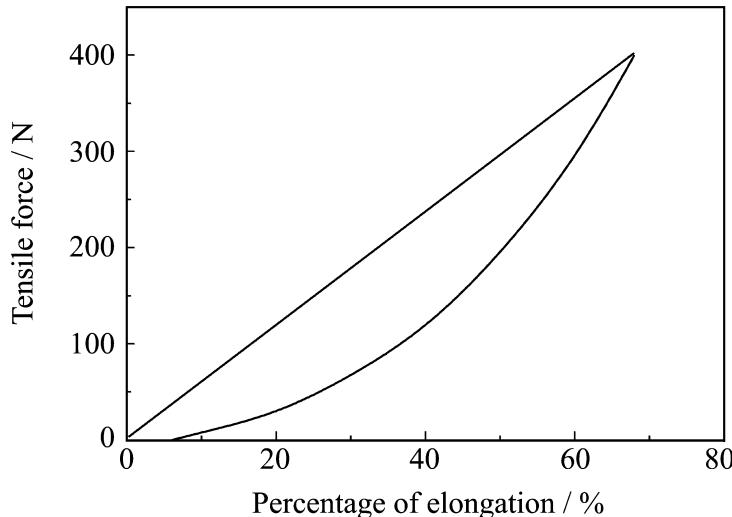


图 8 复合材料弹簧的拉伸曲线

Fig. 8 Tensile curve of composite spring

3 结 论

(1) 通过大量探索性实验确定了复合材料圆柱螺旋弹簧的成型工艺, 严格遵守工艺参数可以保证所加工出弹簧的质量稳定性。

(2) 测试弹簧力学性能的结果表明, 复合材料弹簧的弯曲回弹力与弹簧的内径、纤维股数、捻度等都有关系; 而弹簧的弯曲回复率与弯曲时间、恢复时间及弹簧的内径、纤维股数等密切相关。可以根据具体的使用条件及要求对复合材料弹簧的结构进行设计加工。

(3) 复合材料弹簧的拉伸实验结果显示, 由于材料的内部脱粘和摩擦等因素, 会造成一定的拉伸永久变形。

参考文献:

- [1] 魏先英, 刘祥至. 弹簧设计手册 [M]. 上海: 上海科技文献出版社, 1982.
- [2] 罗 辉. 机械弹簧制造技术 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1987.
- [3] 盛颂恩. 玻璃纤维织物复合材料弯曲疲劳行为的实验研究 [J]. 复合材料学报, 1999, 16 (3): 23.