

经编间隔织物增强软质聚氨酯复合材料的压缩性能

王栋栋, 龙海如*

(东华大学, 上海 201620)

摘要:采用一步法发泡工艺制备了6种经编间隔织物增强软质聚氨酯复合材料,并进行压缩性能测试,探讨了织物表面结构、聚氨酯泡沫中的含水量对复合材料压缩性能的影响。试验结果表明:织物表面结构紧密(含有更多间隔丝)的复合材料压缩性能较好;但随着含水量的增加,材料的抗压能力下降;含水量少的材料虽然耐压,但手感较硬,舒适性差。

关键词:经编间隔织物;软质聚氨酯泡沫;压缩性能

中图分类号:TS187

文献标识码:A

文章编号:1673-0356(2016)11-0021-04

经编间隔织物是指在前后针床上单独编织的两个表面,通过间隔纱连接而形成的三维立体结构织物^[1]。与传统的二维织物、夹层结构的材料等相比,经编间隔织物可一次性编织且两表面不会发生脱层现象,具有良好的透气性、力学性能等,被应用于许多领域^[2-4]。近年来,许多研究者对该材料的性能进行了研究,指出织物的厚度、间隔丝的直径、排列方式等影响着织物的压缩性能^[5-6]。但是间隔丝易“失稳”的特点限制了该材料的应用。

软质聚氨酯泡沫是由多元醇、异氰酸酯及其他助剂反应制备而成的高分子聚合物^[7],其优良的弹性被广泛应用于垫材、功能面料、运动装备等领域。研究人员对聚氨酯泡沫性能做了大量的分析,如配方中水分含量、表面活性剂、催化剂、交联剂的变化来改变泡沫的泡孔结构,进而影响聚氨酯泡沫的性能^[8-11]。

经编间隔织物常与聚氨酯泡沫的性能对比,但以间隔织物为增强体、聚氨酯为基体组成的材料研究较少。利用软质聚氨酯泡沫优良的弹性,减缓间隔丝易“失稳”的现象,制备一种新的材料(经编间隔织物增强软质聚氨酯泡沫复合材料),并对材料的压缩性能进行测试。

1 试验部分

1.1 经编间隔织物

试验选用了在机号为E20的双针床拉舍尔经编机上编织的4种不同结构参数的经编间隔织物,采用150 dtex的涤纶复丝编织两表面,采用直径为0.05 mm的

涤纶单丝编织间隔层,其表面组织及具体参数如图1和表1所示。

图1中A、B为经缎组织,从图1中可以看出B的纵密要大于A;C为经平组织。由表1可知,表面结构紧密的织物SF5和SF6含有更多的间隔丝。

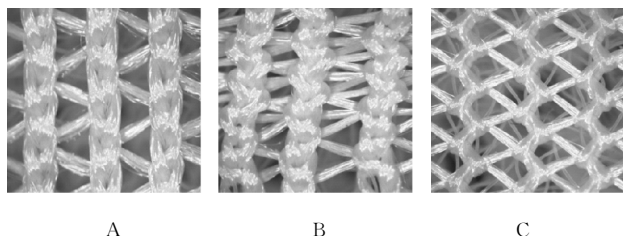


图1 经编间隔织物表面组织

1.2 复合材料制备

采用一步法发泡工艺在室温下制备经编间隔织物增强软质聚氨酯复合材料。按配方称取一定量的多元醇、水、表面活性剂、催化剂等,搅拌2~3 min配成A料。称取一定量的异氰酸酯为B料,将B料倒入装有A料的杯中,高速搅拌4 s后倒入模具中,并迅速将织物置于模具中后快速合模,使聚氨酯泡沫均匀地填充在织物中,熟化15 min后开模。

此外,为探究聚氨酯配方中不同含水量对材料性能的影响,制备了含有1份、1.5份以及2份水的经编间隔织物增强软质聚氨酯复合材料,具体参数见表2。

1.3 性能测试

压缩性能按照GB/T 8168-2008进行测试。

2 结果与讨论

2.1 典型复合材料分析

以复合材料C6的应力-应变曲线为代表分析材料在不同压缩阶段的压缩行为,并与相同厚度下的纯聚氨酯的压缩行为进行对比。它们的压缩应力-应变

收稿日期:2016-09-28

作者简介:王栋栋(1992-),男,硕士研究生,研究方向:针织复合材料,E-mail:george_dongdong.wang@outlook.com。

*通信作者:龙海如,男,教授,E-mail:hrlong@dhu.edu.cn。

曲线如图 2 所示。

由图 2 可知,复合材料 C6 在整个压缩过程中的压缩强度明显大于聚氨酯的压缩强度,这说明经编间隔织物对复合材料压缩性能起到了增强作用。材料的整个压缩过程可分为 3 个阶段。第 I 阶段,应力随应变的增大迅速上升,聚氨酯泡沫和间隔丝同时承力,间隔

丝由于被泡沫包覆使其抗弯性能得以提高。材料在第 II 阶段呈现出“小应力,大变形”,该阶段材料的变形主要包括间隔丝的弯曲和聚氨酯泡沫的变形甚至破裂。当应力超过材料所能承受范围时,材料发生快速致密化进入第 III 阶段。

表 1 经编间隔织物的基本参数

织物编号	表面组织结构	厚度/mm	横密/纵行 · (5 cm) ⁻¹		纵密/横行 · (5 cm) ⁻¹		面密度/g · m ⁻²	间隔丝含量/根 · cm ⁻²
			正面	反面	正面	反面		
SF3	A+A	4.39	44	44	85	85	308.71	145
SF4	A+C	4.84	44	42	101	105	318.55	177
SF5	B+C	5.01	44	42	139	135	342.69	236
SF6	B+C	4.50	44	45	136	133	338.92	233

表 2 复合材料及聚氨酯的基本参数

材料编号	厚度/mm	体积密度/g · cm ⁻³	硬度
C3	5.03	0.357	60
C4	5.42	0.363	64
C5	5.59	0.370	70
C6	5.14	0.361	66
C6 ₍₁₎	5.14	0.377	72
C6 ₍₂₎	5.14	0.331	53

注:C3~C6 表示聚氨酯配方中含有 1.5 份的水,C6₍₁₎和 C6₍₂₎表示分别含有 1 份和 2 份水。

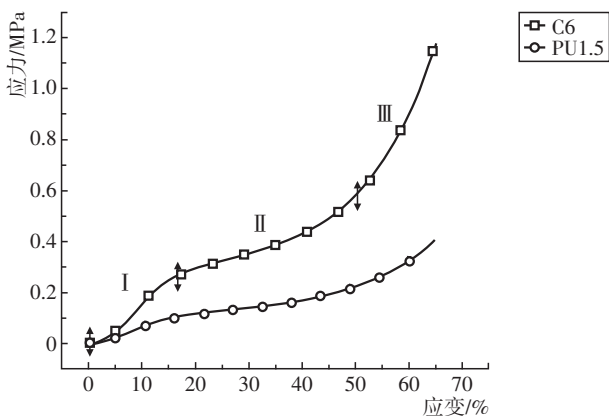


图 2 复合材料 C6 与聚氨酯泡沫的压缩曲线

对于材料的压缩性能,通常以屈服阶段中上屈服点的强度以及屈服阶段所占的范围来评价抗压性能、能量吸收的好坏。抗压性能可以通过材料在压缩阶段所做功 W 来表征:

$$W = \int_0^{\epsilon} \sigma(\epsilon) d\epsilon \quad (1)$$

能量吸收效果可采用能量吸收率 E 来表征:

$$E = \frac{\int_0^{\epsilon} \sigma(\epsilon) d\epsilon}{\sigma} = \frac{W}{\sigma} \quad (2)$$

图 3 是 C6 的压缩及能量吸收曲线。在 I 阶段,C6 能量吸收随应变的增大而增加,并且能量吸收率在位于上屈服点时达到最大;进入 III 阶段,C6 的能量吸收随应变的增大出现下降的趋势。图中的阴影部分表示 C6 从 I 阶段至 II 阶段所做的功。

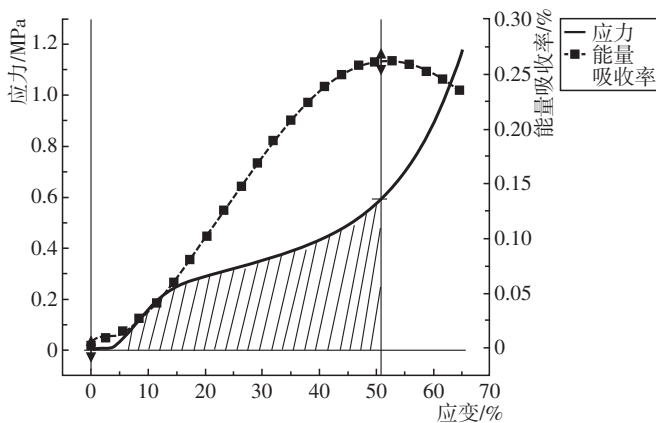


图 3 复合材料 C6 的压缩及能量吸收曲线

2.2 试验结果分析

2.2.1 间隔织物表面结构对复合材料压缩性能的影响

复合材料 C3~C6 的压缩应力-应变及能量吸收曲线如图 4 和图 5 所示,表 3 为材料压缩过程中的相对指标。可以发现 C5 与 C6 的压缩强度要大于 C4 与 C3,并且所有材料从初始阶段到屈服阶段的应变均超过 50%。

由表 1 可知,间隔织物 SF3 与 SF6、SF4 与 SF5 的厚度十分接近,但 SF5 和 SF6 的表面结构较 SF3、SF4 紧密(SF5 与 SF6 的纵密要大于 SF3 与 SF4),更重要

的是,表面结构紧密的间隔织物中含有更多的间隔丝。与聚氨酯复合后,表面结构紧密的复合材料 C6 和 C5 的硬度大于 C3 和 C4 的硬度。在压缩过程中,含间隔丝较多的材料(较硬的材料)可承受更多的压力,而聚氨酯泡沫对间隔丝的包覆作用,又进一步提高了间隔丝的抗弯性能,从而材料具有更好的抗压性能。从表 3 中可知,C5 和 C6 的压缩评价指标均要优于 C4 和 C3。

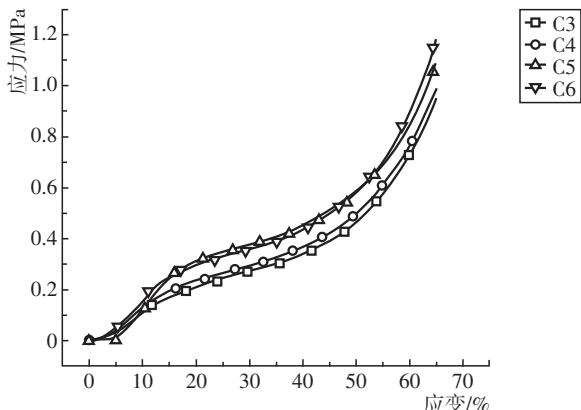


图 4 复合材料 C3~C6 的应力—应变曲线

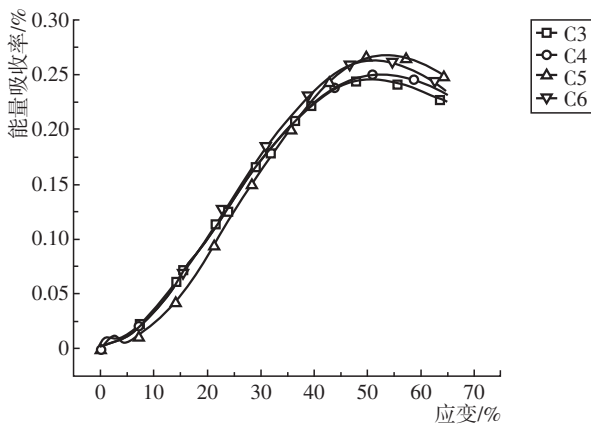


图 5 复合材料 C3~C6 的能量吸收曲线

表 3 复合材料压缩做功及能量吸收

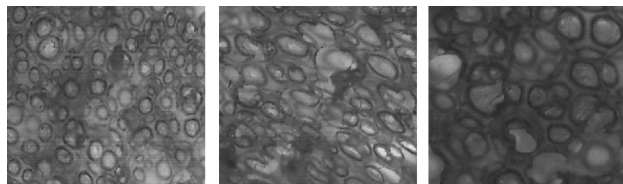
材料编号	总压缩功 /J	能量吸收率	初始阶段到屈服阶段		
			应变/%	应力/MPa	压缩功/J
C3	21.45	0.245	50.62	0.477	11.74
C4	22.99	0.250	51.25	0.514	13.09
C5	27.02	0.268	52.95	0.606	16.99
C6	27.36	0.263	50.83	0.595	16.14

2.2.2 聚氨酯配方中含水量对复合材料压缩性能的影响

不同含水量的复合材料的压缩曲线如图 7 所示。从图中观察到:含 1 份水的复合材料 C6₍₁₎ 压缩性能要好于含有 1.5 份水及 2 份水的复合材料。

从表 2 可知,含有 1 份水的复合材料 C6₍₁₎ 的密度

为 0.377 g/cm³,硬度为 72,要大于含有 1.5 份及 2 份水的复合材料的密度及硬度。材料的密度和硬度随着含水量的增加而下降,聚氨酯泡沫的泡孔却随着含水量的增加而增大甚至发生破裂,如图 6 所示。



(a) 含 1 份水 (b) 含 1.5 份水 (c) 含 2 份水

图 6 不同含水量的聚氨酯泡沫的泡孔结构

泡沫泡孔增大,材料硬度下降导致材料在压缩过程中易于变形,并且泡沫对间隔丝的支撑作用也进一步减弱,使得含水量较多的复合材料容易被压陷,抗压能力变差。含 1 份水的复合材料 C6₍₁₎ 的密度、硬度大,抵抗压缩的能力好,但由于材料较硬,手感较差,其舒适性不如含水量较多的材料。

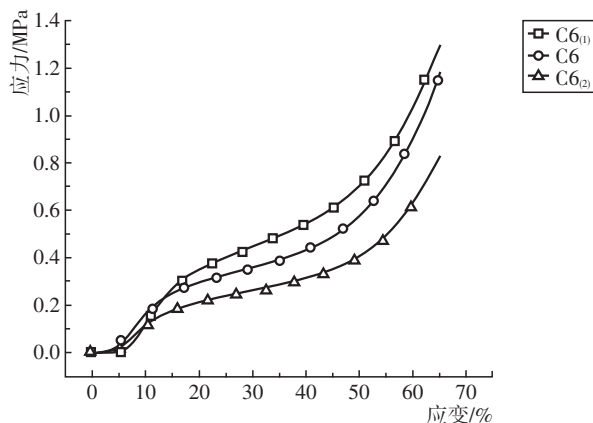


图 7 不同含水量的复合材料的压缩曲线

3 结论

(1)经编间隔织物作为增强体,提高了复合材料的压缩性能。所有复合材料从初始阶段到屈服阶段的应变均超过 50%,这说明所制得的复合材料的抗压能力较理想。

(2)聚氨酯泡沫对间隔丝的包覆作用影响材料的压缩性能,表面结构紧密(含有更多间隔丝)的复合材料具有较好的抗压缩性能。

(3)含水量的增加会导致材料抗压能力的下降,但含水量少的复合材料硬度偏大,手感及舒适度差,在选择聚氨酯配方时,需综合考虑。

参考文献:

- [1] Liu Y P, Hu H. Compression behavior of warp-knitted spacer fabrics for cushioning applications[J]. Textile Research Journal, 2011, 82(1): 1-10.
- [2] Chen S, Long H R. Mechanical properties of 3d-structure composites based on warp-knitted spacer fabrics[J]. Autex Research Journal, 2015, 15(2): 127-137.
- [3] Zhi C, Long H R. Compressive properties of syntactic foam reinforced by warp-knitted spacer fabric[J]. Cellular Polymers, 2015, 34(4): 173-188.
- [4] Liu Y P, Hu H, Long H R, *et al.* Impact compressive behavior of warp-knitted spacer fabrics for protective applications[J]. Textile Research Journal, 2012, 82(8): 773-788.
- [5] Guo X F, Long H R. Investigation on the impact and compression-after-impact properties of warp-knitted spacer fabrics[J]. Textile Research Journal, 2013, 83(9): 904-916.
- [6] Velosa J C, Rana S, Figueiro R, *et al.* Mechanical behavior of novel sandwich composite panels based on 3D-knitted spacer fabrics [J]. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2012, 31(2): 95-105.
- [7] 徐培林, 张淑琴. 聚氨酯材料手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [8] Qian-Shu Lu, Lan-Hui Sun. Optimization on the thermal and tensile influencing factors of polyurethane-based polyester fabric composites[J]. Composites: Part A, 2010, 41(8): 997-1005.
- [9] 王娜, 周冬杰, 顾尧. 发泡工艺对高回弹聚氨酯泡沫塑料发泡速率及泡孔结构的影响[J]. 上海塑料, 2012, 160(4): 31-36.
- [10] 王娜, 顾尧. 发泡工艺对高回弹聚氨酯泡沫塑料力学性能的影响[J]. 上海塑料, 2013, 161(1): 13-18.
- [11] Thirumal M, Dipak K, Nikhil S, *et al.* Effect of Foam Density on the Properties of Water Blown Rigid Polyurethane Foam[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2008, 108(3): 1810-1817.

Compression Properties of Warp-knitted Spacer Fabric Reinforced Flexible Polyurethane Composites

WANG Dong-dong, LONG Hai-ru*

(Donghua University, Shanghai 201620, China)

Abstract: Six kinds of warp knitted spacer fabric reinforced flexible polyurethane composites were prepared by one-step foaming process. Compression test was carried out to investigate the effects of fabric surface structure, water content of polyurethane foam on the compression properties of composites. The results showed that composites with denser surface structure (containing more spacer yarns) had good compression performance. However, the compressive capacity decreased with the increase of water content of PU. Composite with lower water content had a better compression, but the hand-feeling was poor.

Key words: warp-knitted spacer fabric; flexible polyurethane foam; compression properties

科学家研制出纳米新型布料 有望广泛用于服装业

美国斯坦福大学一个团队在《科学》杂志上报告表示,他们研制出一种成本低廉的新型布料,能在反射太阳光的同时,让体热尽量辐射逸出,因此制成衣服穿在身上将会让人感到超级“凉爽”。

人体的多数热量都以红外线的形式向外辐射散失,红外夜视仪的工作原理就是对人体在夜间辐射出的红外线进行探测。负责这项研究的斯坦福大学材料科学与工程系副教授崔屹介绍说,超级“凉爽”的布料需要满足的条件就是让人体尽量畅通无阻地向外散射红外线,同时对可见光不透明,这样才可以穿在身上。

据介绍,新型布料以纳米多孔聚乙烯为原料。这种类型的聚乙烯材料常用于锂电池生产,其纳米孔可以散射波长 0.4~0.7 μm 的可见光,却让波长 7 微米

到 14 微米的人体红外线几乎畅通无阻透过,同时纳米孔径表面修饰后具有良好的透气透水性。

对比实验显示,新型布料仅令皮肤温度增加 0.8℃,而棉布会增加 3.5℃,市售聚乙烯织物则增加 2.9℃。这就是说,与棉布及市售聚乙烯织物相比,穿着新型布料制成的衣服会让人感觉凉爽得多,可以减少空调、电扇的使用。

崔屹说,这种纳米多孔聚乙烯有望广泛应用于服装业,尤其是运动服装业。他们现在开发的是无纺布类第一代技术,此外还将研发第二代纺织型超级“凉爽”布料,其机械强度等性能将跟真正的布料基本一样,但也会超级“凉爽”。

(摘自:新华网)