

PES 泡沫芯材的压缩性能研究^{*}

李文晓 官 威

(同济大学航空航天与力学学院, 上海 200092)

摘要 测试了非连续法和连续法两种工艺制备的聚醚砜(PES)泡沫在三个主方向上的压缩性能。结果表明, 泡沫孔穴的取向对 PES 泡沫芯材压缩性能的影响不容忽视。

关键词 PES 泡沫 压缩性能 各向异性

聚醚砜(PES)是一种聚芳砜树脂,是由英国帝国化学公司(ICI)于1972年研发成功并且商品化的一种热塑性特种工程塑料。到1992年其专利期满前,一直由该公司独家生产经营。专利期满后,美国Amoco公司、西德BASF公司和日本住友化学公司3家开始生产销售。

PES分子结构主要由砜基、醚基和次苯基组成,既不含热稳定性较差的脂肪烃链节,又不含刚性大的联苯链节,被誉为第一个综合了高热变形温度、高冲击强度和优良成型性的工程塑料。其具有强度高、耐高温(可在180℃以上使用)、耐燃、抗辐射、抗酸、抗氧化、抗溶剂及良好的生物相容、物理力学性能和绝缘性能等。这些性能使其适用于制造高强度、低蠕变性、高尺寸稳定性、能在较高温度下使用的制品,广泛应用于电子电器、机械设备、交通运输、医疗、食品领域等^[1-2]。

泡沫夹层结构以其质量轻、刚度大、隔声减噪、吸能等优异性能广泛应用于运载火箭、航空、风力发电机叶片、体育运动器材、医用设备、船舶制造、列车机车等领域^[2]。目前可用作夹层结构的硬质聚合物泡沫主要有聚醚酰亚胺(PEI)泡沫、聚甲基丙烯酸酯(PMI)泡沫、交联聚氯乙烯泡沫和PES泡沫等。PES树脂可通过连续法和非连续法两种途径进行发泡,制成高性能泡沫芯材。2003年3月在日内瓦举行的汽车展览会上,德国首次推出了以非连续法成型的PES泡沫Ultratect为芯材制成的BMW M3CSL型运动车的后座靠背。这种后座靠背质量为5.5 kg,只有钢质结构的一半,汽车碰撞实验显示性能相同,而振动阻尼优于传统结构制品。2007年前后,瑞典Diab公司开始销售连续成型的PES泡沫Divinycell F90^[3-5],用于高速列车上满足欧洲阻燃标准的夹层结构内饰。

目前国内外对PES泡沫的研究报道不多,其中张洪波等^[4]以PES为基体制得了高孔隙率的多孔

材料,并对其压缩强度进行了测试,发现PES泡沫的压缩强度随孔隙率的增大而几乎呈线性降低趋势;PES泡沫的压缩强度随孔隙率的变化趋势仅与孔的结构有关,而与骨架的构成无关;PES泡沫的压缩强度随热处理时间的增加而增大。耿伟等^[6]给出了PES泡沫的力学性能参考值,包括拉伸屈服强度、断裂伸长率、拉伸弹性模量等。

对于泡沫芯材的各向异性性能,Gibson和Ashby认为归因于孔穴形状和材质的各向异性两种因素^[7]。由于对各向异性的严格处理较困难,目前对各向异性性能的研究方法仍以试验为主。笔者研究了不同制备工艺生产的PES泡沫在微结构上的各向异性程度,测试了PES泡沫在三个方向上的压缩性能。

1 实验部分

1.1 主要原材料

I型PES泡沫:连续成型PES泡沫芯材,牌号Divinycell F90,密度为90 kg/m³,瑞典Diab公司;

II型PES泡沫:非连续成型PES泡沫芯材,牌号Ultratect,密度为83 kg/m³,德国AC.S公司。

1.2 主要仪器与设备

电子万能试验机:SHIMADZU AG-I型,日本岛津公司;

高变焦比显微镜:Union DZ3型,日本Union公司。

1.3 性能测试

压缩性能按GB/T 8813-2008测试。泡沫试样共分9组,每组5件。

GB/T 8813-2008中的标准试样尺寸为100 mm ×100 mm ×40 mm,但受到试样芯材原材料尺寸

^{*} 上海市自然科学基金项目(08ZR1420400)、上海市重点学科建设项目(B302)

收稿日期:2010-05-24

的限制(原材料平板厚度只有 40 mm)。笔者采用边长为 40 mm 的立方体试样进行测试。加载方向如图 1 所示。

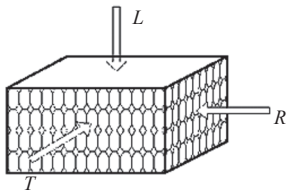


图 1 加载方向示意图

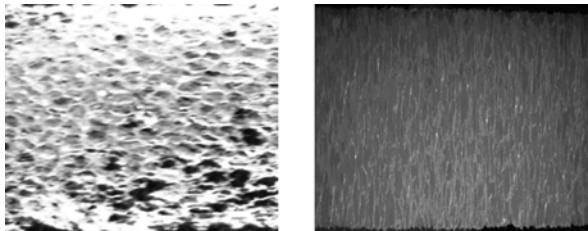
取相对形变 $\varepsilon < 10\%$ 时的最大压缩力除以试样的初始横截面积作为泡沫的压缩强度。

采用高变焦显微镜观察微结构并拍照。

2 结果与讨论

2.1 泡沫微结构与制备工艺的关系

图 2 为 I 型和 II 型两类 PES 泡沫芯材沿厚度方向的截面图。由图 2 可知,两类材料的孔穴微结构均为六边形。其中 I 型 PES 泡沫为闭孔,泡沫材料为无规则堆积的多面体,单胞断面呈规整的六边形,单胞内各边长几乎相等;而 II 型 PES 泡沫沿厚度方向为开孔结构,泡孔狭长,沿泡沫厚度方向的泡孔尺寸明显超过面内两个方向的泡孔尺寸,相差约 5 ~ 10 倍。这种微结构的差异源于两种泡沫成型工艺的不同:I 型泡沫是用拉挤工艺连续成型,而 II 型泡沫是在静止的模腔中发泡成型,两种成型工艺发泡过程中气体的排出方向不同。



(a) (b)
a—I 型 PES 泡沫; b—II 型 PES 泡沫

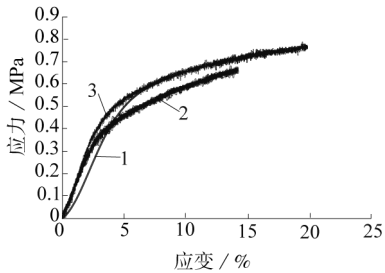
图 2 PES 泡沫芯材沿厚度方向的截面图

2.2 试样尺寸对压缩性能的影响

为研究用非标准尺寸 40 mm ×40 mm ×40 mm 试样所测结果的有效性,对不同尺寸的三种 I 型 PES 泡沫试样进行压缩性能测试,其结果如图 3 所示。由图 3 可见,用边长为 40 mm 的正方体试样测试泡沫的压缩性能是可行的。

2.3 泡沫空穴方向性对压缩性能的影响

两种 PES 泡沫芯材在三个主方向上压缩性能的对比见表 1。图 4 所示为试样尺寸为 40 mm ×40



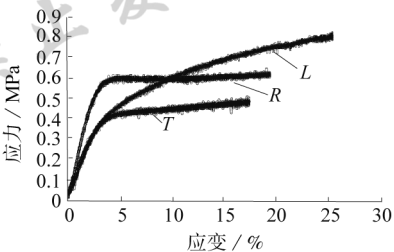
1—100 mm ×100 mm ×40 mm; 2—50 mm ×50 mm ×40 mm;
3—40 mm ×40 mm ×40 mm

图 3 I 型泡沫压缩试样的尺寸对压缩性能的影响

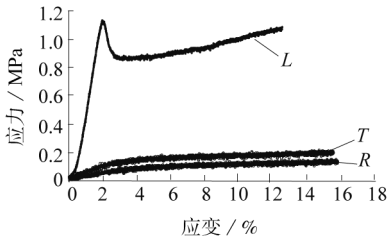
mm ×40 mm 的两种 PES 泡沫在三个主方向上的压缩应力 - 应变曲线。

表 1 两种泡沫材料主方向上的压缩性能

泡沫类型	加载方向	压缩强度 /MPa	压缩弹性模量 /MPa
I 型	L	0.62	15.34
	R	0.59	18.22
	T	0.47	13.25
II 型	L	1.08	73.78
	R	0.17	4.02
	T	0.12	1.94



(a)



(b)

a—I 型 PES 泡沫; b—II 型 PES 泡沫

图 4 两种泡沫芯材在三个主方向上的压缩应力 - 应变曲线

由图 4a 可知, I 型 PES 泡沫沿三个方向的压缩破坏模式各不相同。其在沿 L 方向受压缩时,刚塑性泡沫特征不明显,未出现明显的泡孔坍塌区,应力 - 应变曲线分别经历弹性段、弹性屈服段和压密段;而在面内方向上则表现为明显的刚塑性泡沫特征,即经历弹性段后进入塑性屈服段,应力 - 应变曲线上出现一个长长的应力平台。泡沫芯材在三个方向上受压时进入密实化的时间也有先后: T 方向受压时,泡沫应变达到约 18% 即进入密实化,而 R 方向为 20%, L 方向更大。泡沫芯材的密实化是由于泡

沫变形过大,当孔壁相互接触时,孔壁开始受压,应力急剧上升导致的。通过由三个方向进入密实化阶段的先后顺序,可以初步判定三个方向的泡孔长度。

由图 4b 可知,II 型 PES 泡沫的压缩性能呈明显的各向异性:在 L 方向上,泡沫的压缩弹性模量和塑性坍塌强度远远高于另外两个方向,这是由于泡沫孔穴的各向异性造成的。绝大多数孔壁沿厚度方向取向,如图 2 所示,压缩强度和压缩弹性模量在孔穴的最大拉长方向上最大;面内两个方向上的性能几乎相同,承载能力均很低。此外,三个方向的压缩应力-应变曲线均有应力平台区。

II 型 PES 泡沫芯材的高度各向异性使其在厚度方向上的压缩性能优于 I 型 PES 泡沫芯材,在密度低于 I 型泡沫芯材的情况下,不仅压缩强度提高了 60%,压缩弹性模量也提高了近 5 倍。表 2 列出 II 型 PES 泡沫在厚度方向上的压缩强度和压缩弹性模量与同密度等级的 PMI、PEI 等结构用刚性聚合物泡沫的对比^[8]。由表 2 可知,3 种泡沫芯材的压缩性能接近。

表 2 3 种泡沫芯材压缩强度和压缩弹性模量对比

泡沫类型	密度 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	压缩强度 / MPa	压缩弹性模 量 / MPa
II 型 PES	83	1.08	73.78
PMI	75	1.7	105
PEI	80	1.1	62

在泡沫夹层结构设计中,通常将泡沫芯材按照各向同性材料处理^[9]。PES 泡沫芯材具有自熄性,如果辅以适当的夹层结构设计,在航空航天和高速轨道交通等领域都具有很大的应用潜力。通过研究可知,即使对于泡孔尺寸各向异性程度不明显的 I

型 PES 泡沫,其压缩强度也存在明显的不同,侧向分别比厚度方向大约降低 4.8% 和 24.2%,在今后的 PES 泡沫芯材的夹层结构设计中需予以重视。

3 结论

生产工艺对 PES 泡沫的微结构和性能起决定性的作用。严格地说,两种 PES 泡沫芯材均为各向异性,但程度不同。连续成型工艺生产的 PES 泡沫虽然在泡沫微结构上各向异性程度不明显,但其在三个主方向上的压缩性能仍有明显差别。非连续法成型的 PES 泡沫泡孔微结构反映在压缩性能方面,呈现高度的各向异性特征,而且在厚度方向上其压缩强度和压缩弹性模量均明显高于其它两个方向。

参考文献

[1] 光吉.热塑性聚醚砜的结构性能和用途[J].塑料加工与应用,1994(1):40-46.

[2] 毛博.高性能树脂——聚醚砜树脂[J].化工新型材料,2007,35(12):72-73.

[3] 宋义恩,魏晓波,张绍英.耐高温热塑性树脂——聚醚砜中试研究[J].化学工程,1993,21(6):6-11.

[4] 张洪波,黄丽,宋秀卿,等. PES 高孔隙率多孔材料的研究[J].工程塑料应用,1994,22(4):18-21.

[5] 海松.聚醚砜材料的性能及其在汽车上的应用[J].汽车工艺与材料,2005(11):35-37.

[6] 耿伟,张国利.活性稀释剂含量对 VARTM 树脂工艺性能的影响[J].纺织学报,2007,28(5):32-34.

[7] [美]吉布森,[英]阿什比.多孔固体结构与性能[M].第2版.刘培生,译.北京:清华大学出版社,2003.

[8] 孙春方,李文晓,薛元德,等.高速列车用 PMI 泡沫力学性能研究[J].玻璃钢/复合材料,2006(4):13-15.

[9] 汤超,陈秀华,汪海.泡沫夹层结构力学性能的非线性有限元分析[J].力学季刊,2009,30(2):273-280.

STUDY ON COMPRESSION PROPERTIES OF PES FOAM CORE

Li Wenxiao, Guan Wei

(School of Aerospace Engineering and Applied Mechanics, Tongji University, Shanghai 200092, China)

ABSTRACT The compression properties of PES foams manufactured by continuous process and discontinuous process were tested in three principal directions. The results showed that the influences of the foam cell orientation to the compression properties of foam core were innegligible.

KEYWORDS PES foam, compression property, anisotropy

日本大赛璐-赢创和宝理塑料计划合作开发 PEEK 项目

日本工程塑料生产商大赛璐-赢创(Daicel-Evonik)公司和宝理塑料日前联合声明,双方计划在今年底前启动一合资项目以开发日本国内聚醚醚酮(PEEK)市场。

Daicel-Evonik 于 2007 年开始在日本国内销售来自于

德国赢创德固赛公司的进口 PEEK 产品 Vestakeep。

此次 Daicel-Evonik 公司与宝理塑料建立合作关系,该公司是想利用宝理塑料公司在工程塑料市场开发领域的经验来促进这种产品在日本的销售。据两家公司称,Vestakeep 近年来已在不同的领域得到应用,包括电子产品、汽车和半导体生产领域。(桑维涛)