

短纤维对橡胶发泡复合材料增强机理的细观分析

林 桂¹，张建春²，张秀娟¹，徐槟阳¹，李广宇³，张立群¹

(1. 北京化工大学 材料科学与工程学院, 北京 100029; 2. 中国人民解放军后勤士兵系统研究中心, 北京 100088; 3. 核工业二九五大胶辊厂, 福建 龙岩 350001)

摘要:分别制备未增强的橡胶发泡体、未处理短纤维增强的橡胶发泡体和预处理短纤维增强的橡胶发泡体,考察气体泡孔和短纤维在橡胶发泡复合体中的微观形态,细观分析短纤维对橡胶发泡复合材料拉伸行为和压缩行为过程各阶段的增强机理。结果表明:气体泡孔在 3 种发泡复合材料基体中分布均匀,模压工艺使得短纤维在基体中呈现为平面分布,未处理短纤维周围有气泡包围,而预处理短纤维与橡胶间粘合良好;短纤维能有效地提高发泡复合材料在初始阶段的拉伸模量和 100%定伸应力,特别是预处理短纤维表面与橡胶之间具有良好的粘合,有利于传递应力,限制橡胶基体的变形,而对拉伸强度却影响不大。在压缩弹性阶段,由于主要承载的泡壁中纤维呈平面取向,短纤维对压缩模量影响不大,但能有效地限制橡胶发泡复合材料在后屈曲阶段的压缩变形,提高其在高应变下的压缩强度,预处理短纤维增强效果明显高于未处理短纤维。

关键词:短纤维;橡胶发泡复合材料;拉伸;压缩;增强机理

中图分类号:TQ332. 6;TQ340. 656;TQ330. 1⁺5 **文献标识码:**A **文章编号:**1000-890X(2004)01-0005-09

纤维增强聚合物发泡体是高聚物基体与纤维及气体所组成的三相体系的新型复合材料,由于它集中了发泡聚合物材料质量小和纤维增强材料强度高、压缩永久变形低等优点,因此已经进入了结构材料的应用领域,并逐渐受到工程界的重视^[1,2]。日本已经有专利^[3,4]报道用纤维增强 NR 或二烯类 SR 的发泡体用于填充轮胎,据称这种轮胎具有很好的抗湿滑缓冲等性能。用木质素短纤维增强塑料发泡体得到的三相复合材料同样具备未增强、未发泡塑料的高硬度、冲击强度、弹性、柔顺性等性能,同时价格大幅度下降,这种复合材料已经替代部分木材等结构材料^[5,6]。用玻璃纤维增强的环氧发泡复合材料等有较低的密度和较高的力学性能,可望在船舶、汽车等大型且结构复杂的零部件以及体育用品等方面得到广泛的应用^[7],有报道^[8]称已将玻璃纤维增强环氧树脂发泡体运用在冲浪板等体育用品上。另外,Murthy M V 等^[9]研究表明,结合了短纤维本身的功能、在聚碳酸酯发泡体中

引入镀镍的石墨短纤维,通过模压发泡成型得到的材料应用于导电、防辐射等领域,材料的辐射屏蔽效率、体积电阻等物理性能优异。特别是在发泡的橡胶中加入少量的短纤维,虽然对橡胶发泡体没有增强的作用,但对于解决橡胶发泡体收缩率大的问题却很有效,采用短纤维/橡胶复合材料的发泡体作为芯层主体材料的军靴已经开发成功^[10]。用短切玻璃纤维增强聚氨酯发泡体已经成为研究热点^[11~20]。短纤维增强使橡胶发泡体的物理性能得到明显改善^[21,22],因此很有必要对短纤维增强橡胶发泡体的拉伸和压缩增强机理进行探索和研究。本工作分别制备了不加短纤维的橡胶发泡体、未处理短纤维/橡胶发泡体、预处理短纤维/橡胶发泡体,观察了复合材料的气体泡孔和短纤维在橡胶发泡复合体中的微观形态及分布,细观分析了短纤维对橡胶发泡复合体拉伸行为和压缩行为过程各阶段的增强机理以及破坏失效机理。

1 实验

1.1 原材料

NR, 1[#]烟胶片,云南西双版纳农垦厂产品;发泡剂 H,上海向阳化工厂产品;锦纶 6 短纤维,

作者简介:林桂(1977-),男,福建永泰人,北京化工大学在读博士研究生,主要从事橡胶和塑料的加工工艺及其在工程上的应用研究。

直径 $20\text{ }\mu\text{m}$, 长 5 mm , 黑龙江省富锦市短纤维预处理厂产品; 预处理剂, 自制; 其它原材料均为市售品。

1.2 配方

基本配方: NR 100, 氧化锌 5, 硬脂酸 2, 促进剂 DM 1.2, 促进剂 M 0.8, 促进剂 TMTD 0.2, 碳酸钙 50, 炭黑 N330 40, 增塑剂 10, 硫黄 2, 防老剂 D 2, 短纤维(变品种) 20, 发泡剂 H 变量。

1.3 短纤维的预处理及加工工艺

将配制好的预处理剂和短纤维按一定的配比加入到高速运转的高速搅拌机中, 通过机械搅拌力的作用将预处理剂均匀地涂敷到短纤维的表面, 然后在 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ 下烘干 8 h , 使预处理剂和短纤维表面发生反应, 得到预处理锦纶短纤维。

将处理和未处理短纤维按照常规混炼工艺分别与橡胶和配合剂混合, 并多次薄通混炼胶使短纤维平面取向。在 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 平板模压机上控制压力硫化发泡成型, 得到不同发泡倍率的橡胶发泡复合体, 然后在 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 烘箱中二次硫化 2 h 。

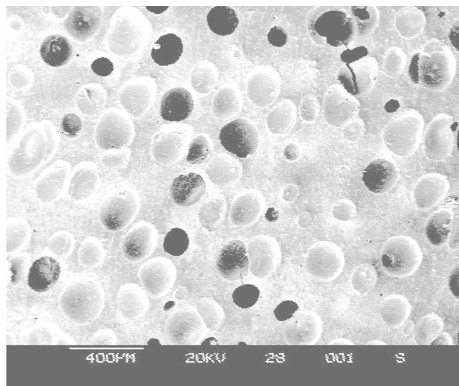
1.4 测试

用英国剑桥 S250 III 型扫描电子显微镜对泡孔、短纤维在橡胶发泡体中的形态、拉伸破坏形态和压缩屈曲形态进行观测。橡胶发泡复合材料拉伸破坏行为按照相关的 ASTM 标准进行测试, 得到拉伸的应力-应变曲线, 每个试样测试 5 次, 取平均结果, 并根据曲线取应变为 100% 时的应力值及拉伸强度、扯断伸长率及拉伸模量。橡胶发泡复合体的撕裂强度按照相关的 ASTM 标准进行测试。橡胶发泡复合材料压缩试样用锋利快刀裁切成底面 $20\text{ mm}\times 20\text{ mm}$, 厚 $14\sim 15\text{ mm}$ 的立方体形状试样, 按照 ISO 3386/2:1987 标准在英国产 Instron 电子拉力机上以 $5\text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ 的速度均匀移动压缩, 测试试样的压缩应力-应变行为。

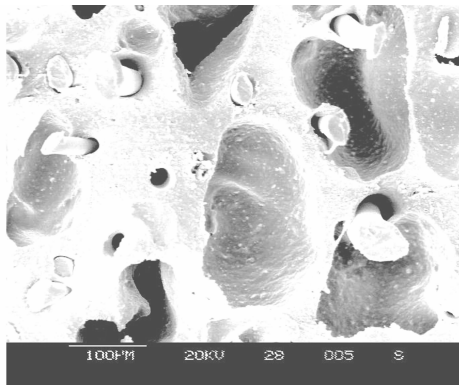
2 结果与讨论

2.1 短纤维在橡胶发泡复合材料中的微观形态

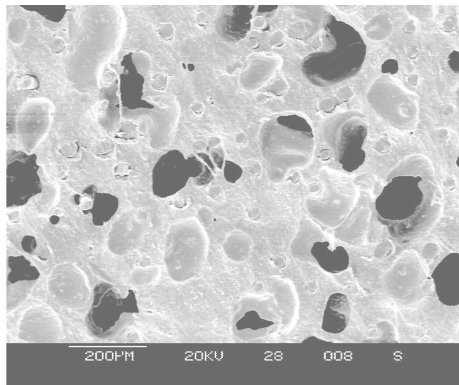
采用扫描电镜对不加短纤维、用未处理短纤维及预处理短纤维增强的橡胶发泡复合材料的微观结构进行了观测, 其微观形态如图 1 所示。



(a) 未增强橡胶发泡复合体



(b) 未处理短纤维/橡胶发泡复合体



(c) 预处理短纤维/橡胶发泡复合体

图 1 橡胶发泡复合材料的微观形态

从图 1 可以看出, 经过适当的工艺过程, 3 个体系都获得泡孔分布均匀的闭孔结构, 模压发泡工艺获得的复合体中的短纤维呈现平面取向, 但复合体的泡孔形状和短纤维在基质中的粘粘情况不尽相同。不加短纤维的橡胶发泡材料中泡孔结构比较规则, 呈现为球形, 泡壁厚度也比较均匀; 用未处理短纤维增强的橡胶发泡复合材料泡孔则呈现较为不规则形状, 部分短纤维虽能较好地

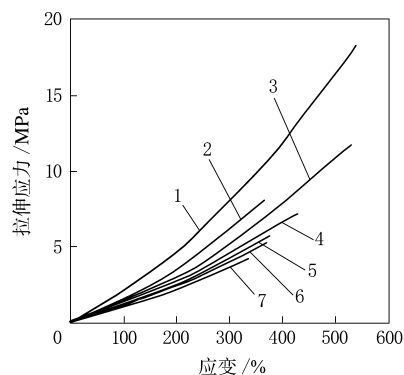
在橡胶基体中,但仍然有相当多的短纤维悬空在泡孔中,或从泡壁穿出,少量还镶嵌在泡壁上,即在未处理的短纤维周围大量的气泡包围;用预处理短纤维增强的橡胶发泡复合材料的泡孔也呈现为不规则形状,但大部分短纤维都较好地与橡胶基体结合,较少出现悬空和短纤维穿出泡孔等现象。分析认为:没有短纤维增强的橡胶发泡体基体粘度均匀,在硫化发泡时发泡剂产生的气体能各向同性地膨胀后定型成型,这与塑料发泡和海绵成型的同相成型原理相同。但在短纤维增强体系中,由于短纤维刚性相的存在,对基质产生很强的牵制作用,发泡剂产生的气体在膨胀过程中各向受力不均匀造成了定型后泡孔的不规则。比较用未处理短纤维和预处理短纤维增强的橡胶发泡复合体发现,未处理的短纤维与基质之间的界面作用是很弱的,这种表面能突变的区域就成为气泡成核点。经过预处理的短纤维能克服二者之间界面相容性差、粘合差的缺点,排除了该区域成为气泡成核点的可能,所获得的橡胶发泡复合材料就没有气泡包围在短纤维的周围。实际上,我们希望短纤维能驻留于泡壁基质间。因此,采用预处理的短纤维作为增强相更符合要求。

2.2 短纤维对橡胶发泡复合材料拉伸行为的增强机理

对3种橡胶发泡复合材料的拉伸性能进行了测试,其拉伸应力-应变曲线如图2所示。从图2可以看出,3种橡胶发泡复合材料的拉伸应力-应变的行为特征不同。

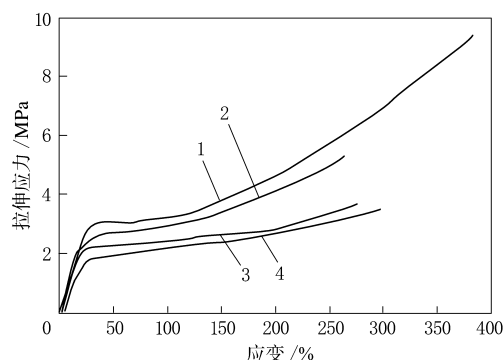
2.2.1 拉伸应力-应变的初始阶段

未增强的橡胶发泡复合体在拉伸的起始阶段[如图2(a)所示]就表现出应变较大的弹性区,模量较低。分析认为:在拉伸应变的起始阶段,具有较低模量、易变形的橡胶基体和可以看作零模量的气泡是承载的主要贡献者,复合体在低应力作用下产生较大的应变,其变化还属于弹性变形。短纤维增强橡胶发泡体系中[如图2(b)和(c)所示],产生较低应变则需要较大的应力,在拉伸的起始阶段表现出较高的初始模量,特别是预处理短纤维/橡胶发泡复合体系中的初始模量更高。细观分析短纤维橡胶发泡复合体的结构以及其在



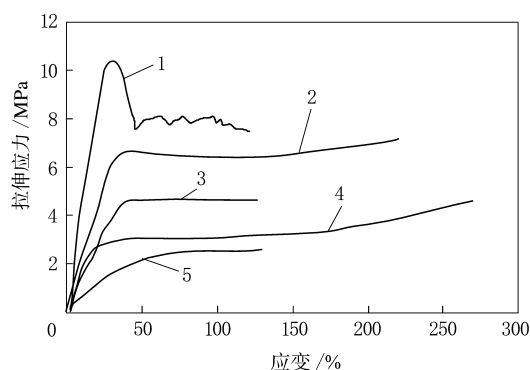
(a) 未增强橡胶发泡复合体

相对密度:1—1;2—0.74;3—0.693;4—0.68;
5—0.65;6—0.6;7—0.48。



(b) 未处理短纤维/橡胶发泡复合体

相对密度:1—1;2—0.74;3—0.587;4—0.52。



(c) 预处理短纤维/橡胶发泡复合体

相对密度:1—1;2—0.8;3—0.7;4—0.68;5—0.62。

图2 橡胶发泡复合材料的拉伸应力-应变行为

拉伸和压缩时的受力情况后认为:在短纤维增强的橡胶发泡体中,泡孔较大而且分布均匀,短纤维呈现二维分布,复合体可以看作是由层状面和竖直泡壁组成。在拉伸应变的起始阶段,如图3



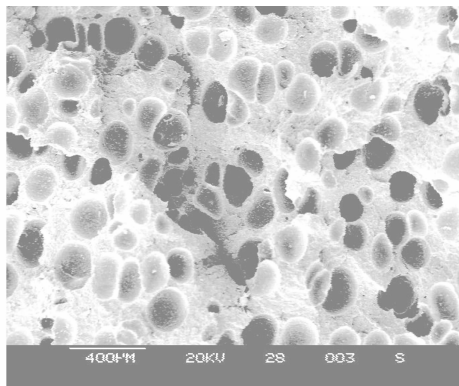
图3 短纤维增强的橡胶发泡体受拉伸应力作用示意

所示具有高模量的刚性短纤维在短纤维增强的橡胶发泡复合体中是承载的主要贡献者,短纤维在体系中起着良好的限制变形的作用,产生较小的变形需要较大的应力作用,体现在其初始阶段的模量明显增大。预处理的短纤维由于界面的良好粘合表现出限制变形能力更强,初始阶段的模量更高。

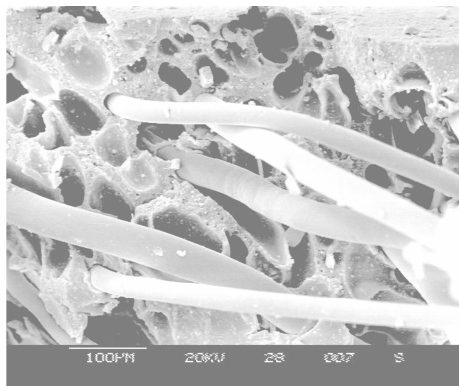
2.2.2 拉伸高应变阶段

在拉伸高应变阶段,随着应变的逐渐增大,未增强的橡胶发泡复合体出现模量急剧上升而后导致材料的破坏失效。分析认为:随着应变的增大,基体承载能力主要由橡胶基体和发泡体的发泡密度决定,相对密度越高的发泡体,橡胶基体承载能力越大,而气泡孔产生缺陷的几率就越小,因而在高应变下承载能力也越强,破坏失效的应变也越高,最后超过发泡复合体的承载能力而破坏。从其拉伸断面 SEM 照片[如图 4(a)所示]分析,没有加短纤维的橡胶发泡复合体拉伸破坏的裂纹是从泡孔孔径较大、孔壁较薄、负载能力较小的泡壁先产生并向邻近的泡体扩展,导致材料变形失效,表现为泡壁弯折伴随泡壁的张开撕裂,这与 Kasner A I 等^[23]的研究结果是一致的。

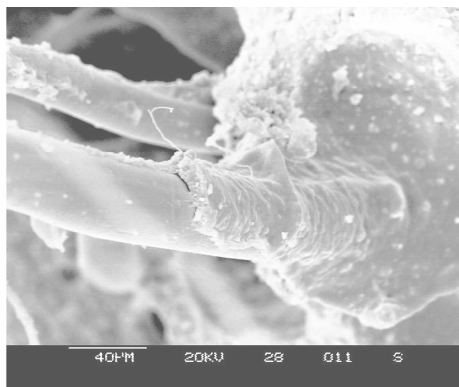
采用短纤维增强的橡胶发泡体系中,随着应变增大,出现一段平坦区,在预处理短纤维体系中,甚至出现应力下降,尔后才出现平坦区,最后随着应力的增大而出现材料的失效破坏。分析认为:随着应变的增大,短纤维的应变和橡胶基体的应变不相同,刚性的短纤维变形能力不如橡胶基体,在短纤维与橡胶基体接触的界面处应力集中得不到良好的分散传递,但当界面应力集中使应力大于短纤维与橡胶基体间的粘合力时就会产生界面滑脱,或者成为裂纹的起始点。未处理短纤维由于界面处存在气泡,与橡胶基体间粘合性差,界面处很容易产生脱粘,短纤维大部分被抽出,脱粘的纤维表面很光滑,而且产生脱粘的应变和应



(a) 未增强橡胶发泡复合体



(b) 未处理短纤维/橡胶发泡复合体



(c) 预处理短纤维/橡胶发泡复合体

图4 橡胶发泡复合材料的拉伸断裂破坏面 SEM 照片

力也明显比具有良好粘合的预处理短纤维增强橡胶体系产生脱粘的应变和应力低。脱粘后短纤维在体系中的增强作用已经不明显,应力承载者变为橡胶基体,承载能力也明显降低,因而会出现应力平坦区。脱粘后橡胶基体中反而留下更多的缺陷,更容易成为破坏起始点,最后随着应变的逐渐增大,界面缺陷逐渐扩大,进而贯穿基体导致材料的失效破坏。观察未处理短纤维增强橡胶发泡复

合体的拉伸破坏形态[如图 4(b)所示]可以发现:与没有加短纤维的橡胶发泡体破坏形式类似,泡孔孔径较大、孔壁较薄之处仍然是产生缺陷的起点,短纤维并没有成为承载应力的主体,在拉伸破坏时由于界面粘合较弱而产生脱粘,从而可能导致了短纤维周围基体的失效破坏,虽然消耗了部分断裂功,但由于破坏点的显著增多而导致材料更早的破坏,使伸长率下降,因而拉伸强度没有得到提高。

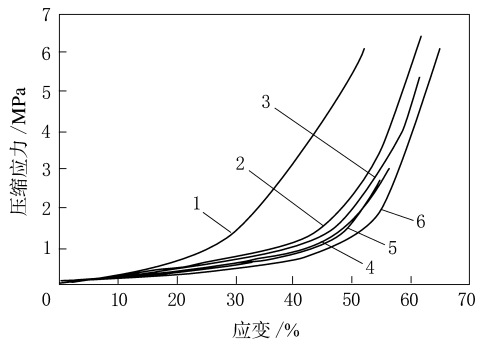
预处理的短纤维增强橡胶发泡复合体系中,由于良好的界面结合,脱粘时将会产生界面撕裂或由于基质传递高应力而造成的断裂,当然也有部分由于预处理不够完善出现局部滑脱的现象,但产生脱粘的应力和应变明显高于未处理短纤维体系的脱粘应力和应变。脱粘后,承载的主体变为橡胶基体,短纤维的贡献很小,出现应力下降的平坦区。最后随着应变的增大,裂口增大、扩张而产生材料的断裂失效破坏。观察预处理短纤维/橡胶发泡复合材料拉伸破坏的微观形态[如图 4(c)所示]也可以发现,短纤维的破坏形式为断裂和抽出,但抽出时产生界面撕裂的现象,短纤维一定程度上起到了承载应力、使应力转向、阻止裂纹扩展的作用,增强了橡胶发泡复合材料泡壁的刚度、强度等物理性能。这也正应验了复合材料增强理论中增强体、基体、界面三要素的重要性。

2.3 短纤维对橡胶发泡复合材料压缩行为的增强机理

对不加短纤维、加未处理短纤维、加预处理短纤维的橡胶发泡复合材料的压缩应力-应变行为进行了测试,结果如图 5 所示。从图 5 中可以看出,橡胶发泡复合体在压缩过程中都经历泡孔结构弹性变形阶段、经过拐点后泡孔被不断压实的屈服吸能阶段和最终压实后应力-应变曲线急剧上升阶段。这种弹性泡沫材料在单向应力模式下的应力-应变关系也可采用 Gibson 和 Ashby 理论^[24,25]进行分析,把应力-应变曲线分成 2 个区域,即线弹性区域和后屈服区域。

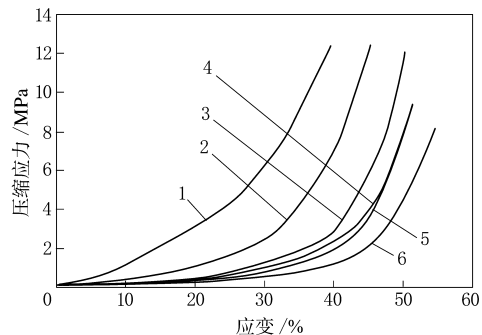
2.3.1 压缩的线弹性区域

在线弹性区域($0 \leq \epsilon \leq \epsilon_{cl}$, ϵ 为压缩应变, ϵ_{cl} 为线性弹性的最大应变)压缩应变和压缩应力之间的关系可以用表达式 $\sigma = \epsilon E_{fc}$ 表示。式中 σ 为压缩应



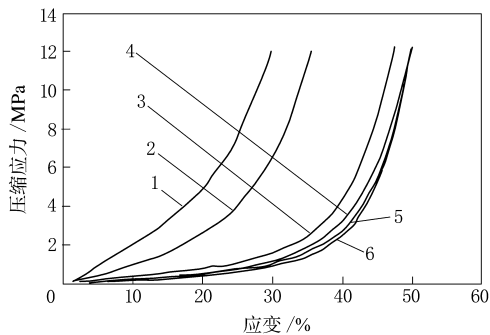
(a) 未增强橡胶发泡复合体

相对密度: 1—1; 2—0.74; 3—0.693; 4—0.68; 5—0.65; 6—0.6。



(b) 未处理短纤维/橡胶发泡复合体

相对密度: 1—1; 2—0.74; 3—0.63; 4—0.59; 5—0.587; 6—0.52。



(c) 预处理短纤维/橡胶发泡复合体

相对密度: 1—1; 2—0.8; 3—0.7; 4—0.68; 5—0.62; 6—0.587。

图 5 橡胶发泡复合材料的压缩应力-应变行为

力, E_{fc} 为多孔材料的有效弹性模量。因此压缩弹性模量表征了橡胶发泡复合材料的抗压缩强度大小。未增强的橡胶发泡复合体在压缩的起始阶段就表现出应变较大的弹性区, 模量较低。分析认为: 在压缩应变的起始阶段, 具有较低模量的橡胶基体和可以看作零模量的气泡是承载的主要贡献者, 而真正起承载作用的是橡胶发泡体中竖直方向的泡壁, 它易变形, 承载能力低, 在低应力作用

下产生较大的应变,其变化还属于弹性变形,具有良好的重复性。

采用短纤维增强的橡胶发泡体系中[如图5(b)和(c)所示],产生较低应变却仍然只需要较小的应力,在压缩的起始阶段也表现出较低的初始模量,即使是预处理短纤维增强的橡胶发泡复合体的初始模量与未增强的橡胶发泡复合体初始模量也很接近。

细观分析认为:如图6所示,短纤维增强的橡胶发泡复合体中,由于模压发泡工艺特点导致短纤维在橡胶发泡基体中呈现平面分布,没有沿着压缩受力方向分布,短纤维只能增强泡壁在平面方向上的弯曲刚度,限制橡胶基体在平面方向的变形,而只略微提高了竖直方向泡壁的刚度,短纤维并没有起到类似“柱子”的增强作用。在压缩应变的起始阶段,具有高模量的刚性短纤维在橡胶发泡复合体中不是承受载荷的主要贡献者,而竖直方向的泡壁才真正起到承载应力的作用。在承受压缩应力时,竖直方向的泡壁就容易产生向泡孔内部弯曲的变形,泡壁向泡孔内部自由空间弯曲,泡孔的上下泡面同时也弯曲。由于泡壁的承受载荷能力较小,泡孔的空间大,基本上与无短纤维增强的橡胶发泡复合体的竖直方向泡壁承载能力相同,因此在初始压缩阶段复合材料在很小的外应力作用下产生大的应变,压缩模量与未增强的橡胶发泡复合体相差不大。可以说在该压缩阶段,短纤维基本上没有表现出对橡胶发泡复合体的增强作用。根据以上分析,我们认为如果改变发泡成型的工艺,使一部分短纤维竖直地存在于竖直方向的泡壁中,这样就可以大大提高泡壁的弯曲刚度,从而提高橡胶发泡体在低应变下的压缩模量。

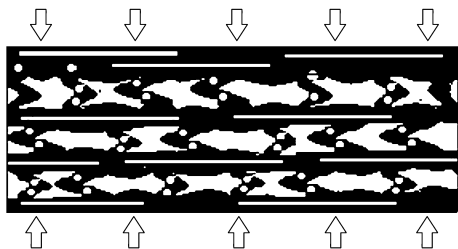
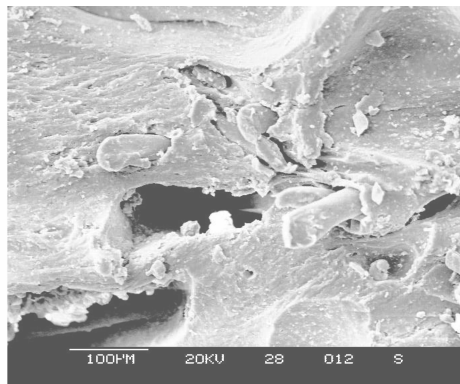


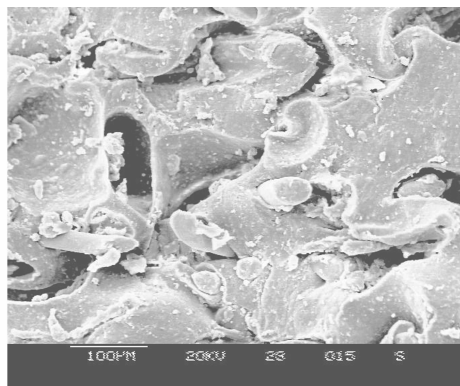
图6 短纤维增强橡胶发泡体受压缩应力作用示意

2.3.2 压缩的后屈曲区域

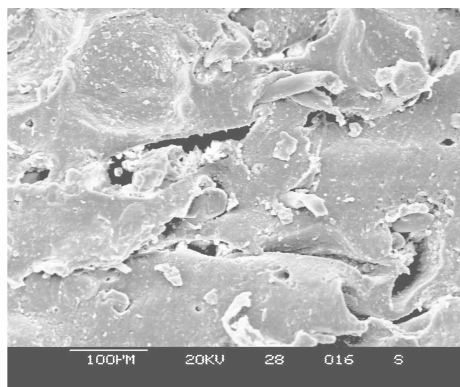
橡胶发泡复合材料在压缩经过拐点后的高应变后屈曲区域,随着应变增大,泡孔被逐渐压实,屈曲的泡壁变得紧凑,泡壁之间相互挤压成实心体,如图7(b)和(c)所示,而且闭孔内的气体由于压缩产生更大的反压力,这时产生微小应变需很



(a)压缩应变为10%



(b)压缩应变为25%



(c)压缩应变为50%

图7 橡胶发泡复合材料在不同压缩阶段的变形形态

大的应力,即压缩应力-应变曲线急剧上升[如图 5(b)和(c)所示]。因此在该阶段继续加大压缩应力只能使橡胶基体变得更加密实,橡胶整体向边缘方向移动。对短纤维增强的橡胶发泡复合材料而言,由于试验获得的橡胶发泡复合材料是经过模压控制压力发泡制备而成,短纤维在橡胶发泡复合体中的分布主要还是呈平面分布,因此在施加压缩载荷过程中,橡胶发泡复合材料的压缩过程可以认为是受压方向压缩、而在平面方向上是向外拉伸的过程,短纤维在与压力方向相垂直的方向上承受载荷能力较差,而在拉伸时的强度较高,短纤维(特别是预处理短纤维)起到了在橡胶发泡复合材料与压力方向相垂直的方向上限制变形的作用。

压缩应变为 50% 可以认为是发泡复合体承受高负荷、出现大变形量的典型。短纤维对压缩应变为 50% 时的压缩应力的影响如图 8 所示,在高压压缩变形下,此时气泡完全塌陷,短纤维在发泡复合材料中的增强效果明显地体现出来,预处理短纤维因具有良好的界面粘合而比未处理短纤维具有更好的增强效果。

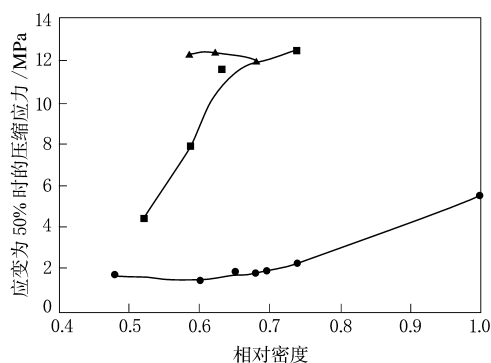


图 8 橡胶发泡复合材料压缩应变为 50% 时压缩应力与相对密度的关系曲线

●—未增强橡胶发泡复合体; ■—未处理短纤维/橡胶发泡复合体; ▲—预处理短纤维/橡胶发泡复合体。

相对密度较大的短纤维增强橡胶发泡体受到压缩应力作用时,其受力变形情况如图 9 所示。高密度的短纤维增强橡胶发泡体中不存在低密度的含短纤维的层状面和明显的竖直方向泡壁,当其受压缩应力作用时,其中的气泡很快便被压实,短纤维增强橡胶发泡体在承受更大的压缩应力作

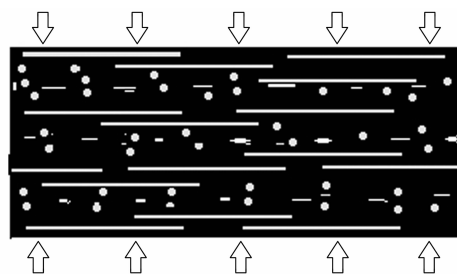


图 9 相对密度较大的短纤维增强橡胶发泡体受压缩应力作用示意

用时,就容易向边界方向产生位移,基体中的短纤维可以发挥其限制基体变形的作用。预处理短纤维对橡胶发泡复合体的限制变形能力体现得更加明显。

3 结论

(1) 气体泡孔在 3 种橡胶发泡复合材料中分布均匀,模压工艺使得短纤维在橡胶基体中呈现平面分布,未处理的短纤维周围有气泡包围,而预处理的短纤维与橡胶间粘合良好。

(2) 短纤维对橡胶发泡复合体拉伸行为有明显增强作用,主要表现在拉伸过程的初始阶段,预处理短纤维的增强效果比未处理短纤维更明显。短纤维对橡胶发泡体的拉伸强度提高并不明显。

(3) 短纤维对橡胶发泡复合体的拉伸过程的增强机理表现为短纤维能很好限制橡胶发泡体在拉伸低应变下的变形,特别是预处理短纤维表面与橡胶之间具有良好的粘合,有利于传递应力,使其限制变形的能力更强。在拉伸应力平坦区,短纤维与橡胶之间界面已经滑脱,拉伸行为是橡胶发泡基体的行为表现,短纤维在该区域没有表现出增强行为。

(4) 短纤维对橡胶发泡复合体压缩过程弹性变形阶段的增强并不明显,而在高压压缩应变下短纤维对橡胶发泡复合体的增强才得以体现,预处理短纤维的增强效果比未处理短纤维更为明显。

(5) 在压缩弹性阶段,由于主要承载的泡壁中纤维呈平面取向,短纤维的增强机理表现为略微提高泡壁的刚度。短纤维对高压压缩应变下橡胶发泡复合体的增强机理表现为短纤维能限制橡胶基体向边缘移动。预处理短纤维由于与橡胶基体间良好的粘合作用,限制变形能力更强。

参考文献:

- [1] 林桂,刘力,张建春,等. 纤维增强聚合物发泡体的研究进展[J]. 中国塑料,2002,16(1):7-11.
- [2] 吴舜英,徐敬一. 泡沫塑料成型[M]. 北京:化学工业出版社,1996.
- [3] Kadowaki R, Okumura T, Okumura K. Fiber-reinforced expandable composite resin material for molding, premolded item produced therefrom, and molding method thereof[P]. JPN:JP 10 168 206,1998-06-23.
- [4] Nomura M, Wada K. Production of fiber reinforced thermoplastic resin lightweight molded product [P]. JPN:JP 10 138 276,1998-05-26.
- [5] Ghaus R. Foaming of PS/wood fiber composites using moisture as a blowing agent[J]. Polym. Eng. Sci., 2000, 40(10): 2 124-2 132.
- [6] Laurent M, Mautuana N, Chul P, *et al.* Cell morphology and property relationship of microcellular foamed PVC/wood-fiber composites[J]. Polym. Eng. Sci., 1998,38(11):1 682.
- [7] 许鑫华,方洞浦,陈贻瑞. 纤维增强环氧发泡复合材料的研究[J]. 化学工业与工程,1997,14(1):37-40.
- [8] Blezki A K, Kukek K, Gassan J. The influence of micropores on the dynamic-mechanical properties on reinforced epoxy foams[J]. J. Mater. Sci., 1998,33(12):3 207-3 211.
- [9] Murthy M V, Luxon B A, Carey R S, *et al.* KUC. Metal coated graphite fiber structural foam composites[A]. Fourteen Annual Structural Foam Conference and Parts Competition. Boston, Massachusetts, USA; 1986.
- [10] 张建春,陈绮梅,梁高勇. 一种含短纤维的海绵橡胶[P]. 中国专利:1 376 731,2002-10-30.
- [11] 陈再新,闻狄江,李国忠,等. 玻璃纤维增强灌注型聚氨酯泡沫塑料的微观结构和增强机理[J]. 高分子材料科学与工程,1999,15(5):102-104.
- [12] 李国忠,于衍真. 玻璃纤维对硬质聚氨酯泡沫塑料的增强机理的探讨[J]. 高分子材料科学与工程,1997,13(4):131.
- [13] 闻狄江,陈再新,李国忠. 玻璃纤维增强灌注型聚氨酯泡沫塑料的拉伸、压缩性能和破坏机理[J]. 复合材料学报,1999,16(4):64-67.
- [14] 闻狄江. 玻璃纤维增强硬质聚氨酯泡沫塑料的研究[J]. 塑料工业,1984(3):21-26.
- [15] 卢子兴,李怀祥,田常津,等. 不同载荷作用下泡沫塑料的变形和失效机理分析[J]. 塑料,1996,25(1):38-41.
- [16] 卢子兴,王建华,谢若泽,等. 增强聚氨酯泡沫塑料力学行为的研究[J]. 复合材料学报,1999,16(2):39-45.
- [17] 卢子兴,田常津,韩铭宝,等. 聚氨酯泡沫塑料冲击力学性能的实验研究[J]. 高分子材料科学与工程,1995,11(6):76.
- [18] 王伟力,李善高,钱七虎. RPU 破坏及增强机理的细观分析[J]. 高分子材料科学与工程,2001,17(4):23-26.
- [19] 王建华,芦艾,周秋明,等. 短切玻璃纤维增强硬质聚氨酯泡沫塑料的压缩性能[J]. 高分子材料科学与工程,2001,17(3):150-152.
- [20] Goods S H, Neuschwanger C L, Whinnery L L, *et al.* Mechanical properties of a particle-strengthened polyurethane foam[J]. J. Appl. Polym. Sci., 1999,74(11):2 724-2 736.
- [21] 林桂,刘力,张建春,等. 短纤维/橡胶发泡复合材料的微观结构及拉伸破坏机理[J]. 橡胶工业,2003,50(1):9.
- [22] 鞠晓霞,王爱华,陈占勋. 树脂于涤纶短纤维改性天然胶发泡的研究[J]. 特种橡胶制品,1991(3):1-3.
- [23] Kasner A I, Meinecke E A. Porosity in rubber, review[J]. Rubber Chem. and Technol. 1996,68(3): 425-443.
- [24] Gibson L J, Ashby M F. The mechanics of three dimensional cellular materials[A]. Proceeding of Royal Society. London: 1982. A382.
- [25] Gibson L J, Ashby M F. Cellular Solid[M]. Oxford: Pergam Press,1988. 161.

第二届全国橡胶工业用织物和骨架材料技术研讨会论文

Study on reinforcement mechanism of short fiber/rubber foam composite

LIN Gui¹, ZHANG Jian-chun², ZHANG Xiu-juan¹, XU Bin-yang¹, LI Guang-yu³, ZHANG Li-qun¹

(1. Beijing University of Chemical Technology, Beijing 100029, China; 2. Quartermaster Research Institute of General Logistics Department, CPLA, Beijing 100088, China; 3. No. 295 Rubber Roll Factory, Longyan 350001, China)

Abstract: The rubber foam composites without short fiber (RF), reinforced by untreated short fiber (USRF) or pretreated fiber (TSRF) were prepared by mold foam technique. The morphology of cell and short fiber in each composite and the reinforcement mechanism of short fiber in the composite during tensile and compression processes were investigated. The results showed that the cells distributed uniformly in the matrixes of all three composites; the compression molding technique made the short fiber distribute planarly in the matrix; the short fiber could improve the tensile modulus of composite at the first stage and the modulus at 100% elongation, and had little effect on tensile strength; the untreated fiber was surrounded with many cells, but the pretreated fiber bonded well to the rubber matrix, which was beneficial to transfer the stress and confine the deformation in rubber matrix; the

short fibers, whether pretreated or not, had little effect on the compressive modulus at the compressive elasticity stage because they were planarly oriented in the cell walls which were the main loading elements; and the short fiber, especially the pretreated short fiber greatly restricted the distortion at the high compressive strain stage resulting in higher compressive strength.

Keywords: short fiber; rubber foam composite; tensile; compression; reinforcement mechanism

第二届全国橡胶制品技术研讨会 在海口召开

中图分类号: TQ336.2/3/4/1⁺2 文献标识码: D

中国化工学会橡胶专业委员会与橡胶专业委员会橡胶制品分委会和胶管胶带分委会联合举办的第二届全国橡胶制品技术研讨会于 2003 年 11 月 24~29 日在海口召开, 来自橡胶制品生产企业和相关原材料、设备生产企业及有关大专院校、研究院所等单位的 130 名代表出席了会议。

围绕橡胶制品创新与发展的主题, 会议共交流论文 80 篇(已汇编成册)。论文涉及胶管、胶带、内胎、密封橡胶制品、减震橡胶制品和医用橡胶制品等产品, 内容包括橡胶制品及原材料的发展趋势、原材料的应用研究、废橡胶的再生利用、新型橡胶制品的开发与制备、橡胶制品的测试及工艺装备研究等。经与会代表投票、专家组评定, 共有 10 篇论文获奖。北京橡胶工业研究设计院谢忠麟等的《二元共聚氯醚橡胶的硫化》和北京化工大学姚明等的《配位-萃取法脱除 HNBR 胶液中铈催化剂》获荣誉奖, 华东理工大学吴驰飞的《阻尼橡胶及其应用》获一等奖, 上海交通大学任文坛等的《原位合成丙烯酸盐改性氯化聚乙烯制备吸水膨胀橡胶的研究》和台湾嘉南药理科技大学林建宏等的《纳米炭黑表面物理化学结构对橡胶补强之研究》获二等奖, 北京化工大学张琦等的《Mg(OH)₂ 粒径对其填充橡胶复合材料阻燃性能和力学性能的影响》、上海交通大学郑华等的《EPDM/蒙脱土纳米复合材料的制备与性能研究》、西北橡胶塑料研究设计院李晓强的《软丁腈橡胶的性能及其配合加工技术》、南京七四二五工厂丁庆凯的《新型机车车辆制动软管及总成的研制》、株洲时代新材料科技股份有限公司陈平等的《拖车用球铰的耐疲劳性能研究》获三等奖。

会议还为国内外原材料和设备生产商提供了

介绍产品和发布信息的机会, 密切了原材料和设备生产商与橡胶制品生产企业的联系, 为今后的合作打下了基础。

与会代表的交流和会议论文可以反映出, 我国橡胶制品工业正在蓬勃发展, 具体表现如下。

①汽车、医用、机械、建筑等领域用橡胶和橡塑制品品种不断增多, 产品结构不断改善, 专用化和功能化程度越来越高。

②为进一步提高产品性能和满足产品特殊性(如耐高低温、耐高压、耐介质、绝缘、阻燃、减震和环保)要求, 除特种橡胶和专用配合剂的应用更加广泛外, 橡胶和配合剂的改性、并用研究也更加深入, 纳米填料(炭黑和无机填料)的应用更加普遍。

③为适应日益苛刻的环保要求, 废旧橡胶制品的再生倍受重视, 再生胶的应用领域和掺用量不断扩大, 纳米再生胶粉的研制和应用也开始受到关注。

④橡胶制品加工工艺和模具结构不断改进, 加工设备和模具逐步向半自动化、自动化和高效节能化方向发展。

但我国橡胶制品工业的总体状况仍不容盲目乐观, 主要问题是产品竞争更加激烈, 高性能的原材料价格昂贵, 设备和模具的自动化程度普遍较低, 性能及其测试的标准化水平与先进国家相比还存在较大差距, 产品的开发周期较长。我们应通过对原材料、产品结构和品种、生产工艺、生产设备的不断创新和发展及标准化水平的提高, 以全面、快速提高我国橡胶制品工业的水平。

本次会议以论文题材广、技术内容和市场信息丰富而受到与会代表的好评。

应广大橡胶制品生产企业及相关单位的要求, 该研讨会将每两年举办一次。

(本刊编辑部 黄家明供稿)