

不同应变率下多壁碳纳米管/天然橡胶复合材料的抗冲击性能研究

景玉龙,杜华太,江美娟,孔义,王存铎,谢富霞

(中国兵器工业集团第五三研究所,山东 济南 250031)

摘要:研究多壁碳纳米管(MWNTs)/天然橡胶复合材料在不同应变率下的抗冲击性能。结果表明:随着MWNTs用量的增大,复合材料的压缩弹性模量和吸能率增大,抗冲击性能提高;在MWNTs的用量相同时,复合材料的吸能率随着应变率的增大而增大,且增幅随着MWNTs用量的增大而变大。

关键词:多壁碳纳米管;天然橡胶;复合材料;抗冲击性能

中图分类号:TQ330.38*3;TQ332 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-890X(2016)10-0586-04

橡胶材料凭借绝缘、耐腐蚀等诸多优点广泛应用于军用和民用领域,其具有粘弹性,即橡胶材料通常表现出较强的时间和温度依赖性。在不同的应变率情况下橡胶材料的力学响应不同,特别是在碰撞、爆炸、冲击等高应变率下,橡胶材料的力学特性更需要特别的研究和关注^[1-7]。

本工作利用分离式霍普金森压杆对4种不同多壁碳纳米管(MWNTs)用量的MWNTs/天然橡胶(NR)复合材料进行了高应变率下的冲击试验,并与准静态条件下橡胶材料的应力应变性能进行对比,研究MWNTs/NR复合材料的抗冲击性能。

1 实验

1.1 主要原材料

NR,1#烟胶片,马来西亚产品;MWNTs,中国科学院成都有机化学有限公司产品。

1.2 试验配方

NR 100,氧化锌 5,硬脂酸 2,防老剂4010NA 1,硫黄 2,促进剂NOBS 1.5,促进剂DM 0.5,MWNTs 变量。

1.3 主要设备与仪器

JIC-725型两辊开炼机,广东湛江橡塑机械制品厂产品;2 L剪切式密炼机,益阳橡胶塑料机械

集团有限公司产品;100 t平板硫化机,磐石石油压工业(安徽)有限公司产品;RPA2000型橡胶加工分析仪,德国耐驰公司产品;分离式霍普金森压杆系统,压杆直径为14.5 mm,中国兵器工业集团第五三研究所产品;Instron 8032型万能材料试验机,英国Instron公司产品。

1.4 试样制备

(1)混炼胶。在密炼机中进行MWNTs/NR母胶的混炼,先将1 kg的NR加入密炼机中预热,3 min后将200 g MWNTs加入密炼机中,充分混合8 min后排胶,制得MWNTs/NR母胶;再将母胶按照试验配方添加其他填料及硫化剂等,在开炼机上充分混合制备成MWNTs用量分别为0,3,5和7份的MWNTs/NR混炼胶。

(2)硫化胶。用RPA2000型橡胶加工分析仪测定胶料正硫化时间(t_{90});在平板硫化机上硫化,硫化条件为145 °C/10 MPa $\times t_{90}$ 。

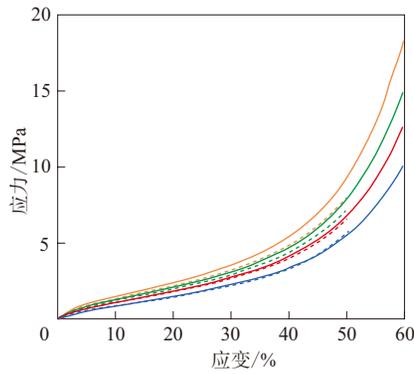
试样为圆柱体,直径为(10 \pm 0.15) mm,高为(5 \pm 0.25) mm。

2 结果与讨论

2.1 压缩应力应变性能

在准静态下,主要考察应变率和MWNTs用量对复合材料压缩弹性模量、吸能率以及抗变形能力的影响。MWNTs/NR复合材料在两种低应变率下的应力-应变曲线如图1所示。

作者简介:景玉龙(1988—),男,山东济南人,中国兵器工业集团第五三研究所助理工程师,硕士,主要从事特种橡胶材料的研制工作。



MWNTs用量/份:—0;—3;—5;—7。实线和虚线的应变率分别为0.01和0.001 s⁻¹。

图1 MWNTs/NR复合材料在低应变率下的应力-应变曲线

从图1可以发现:在准静态条件下,MWNTs/NR复合材料在两种低应变率下的压缩应力-应变曲线的变化趋势相同,随着MWNTs用量的增大,压缩应力-应变曲线均更加倾斜,压缩弹性模量增大。压缩应力-应变曲线下方的积分面积越大,材料吸能率越高,吸能效果越好;反之,则吸能率越低,吸能效果越差。随着MWNTs用量的增大,MWNTs/NR复合材料的吸能率提高。

未添加MWNTs时,材料在两种低应变率下的压缩应力-应变曲线几乎重合,应变率对材料的压缩应力-应变性能影响不大;随着MWNTs用量的增大,MWNTs/NR复合材料在两种低应变率下的应力-应变曲线逐渐发生偏离,且随着MWNTs用量的增大,这种偏离逐渐增大。不同用量MWNTs/NR复合材料在两种低应变率下的压缩弹性模量对比见表1。

表1 准静态下MWNTs/NR复合材料的压缩弹性模量

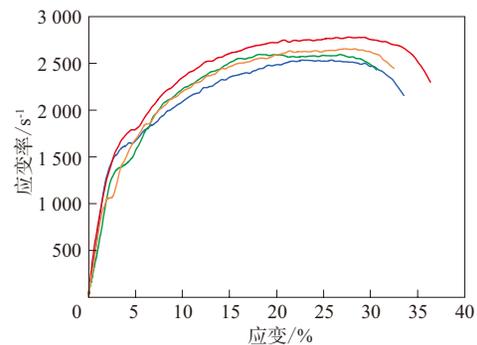
项 目	MPa			
	MWNTs用量/份			
	0	3	5	7
$E_{0.01}$	124.088 0	172.606 3	221.664 3	328.002 1
$E_{0.001}$	105.681 9	153.660 0	200.177 0	241.692 3
$E_{0.01}-E_{0.001}$	18.406 1	18.946 3	21.487 3	103.390 9

由表1可见,应变率为0.001和0.01 s⁻¹时,MWNTs/NR复合材料的压缩弹性模量随MWNTs用量的变化趋势基本相同,均随MWNTs用量的增大而提高。此外,在MWNTs的用量相同时,应变率为0.01 s⁻¹的复合材料压缩弹性模量较高,且随

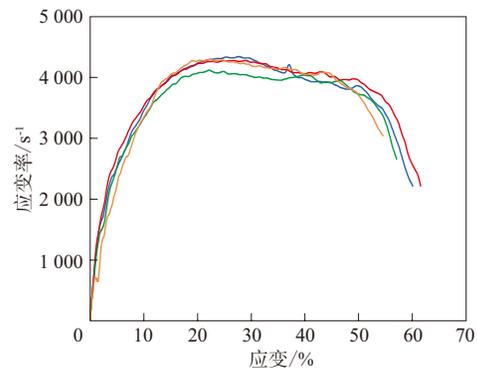
着MWNTs用量的增大,二者的差值增大。这种现象说明MWNTs的加入提高了复合材料的抗变形能力,从而提高了材料的吸能率,尤其是在应变率增大时,这一效果更加显著。这可能是因为复合材料中加入的MWNTs具有非常高的模量,其值最高可达1 TPa,但其却拥有良好韧性,当复合材料受到外力作用时,可以通过自身的微小形变及与NR基体间的摩擦等消耗一部分能量,使复合材料的抗变形能力提高,吸能率增大。

2.2 在高应变下的抗冲击性能

MWNTs/NR复合材料在不同高应变率下的应变率-应变曲线如图2所示。



(a) 应变率为2 250~2 500 s⁻¹



(b) 应变率为3 750~4 000 s⁻¹

MWNTs用量/份:—0;—3;—5;—7。

图2 高应变率下MWNTs/NR复合材料的应变率-应变曲线

从图2可以看出,不同MWNTs用量的MWNTs/NR复合材料均可以在较小的应变时很快达到预设的应变率范围,并且稳定在这一应变率范围内。因此可以粗略地认为:在对4种复合材料进行霍普金森压杆试验测试时,应变率是恒定不变的,在此基础上研究应变率和MWNTs用量对MWNTs/NR

复合材料抗冲击性能的影响。

MWNTs/NR复合材料试样在霍普金森压杆试验前后的照片对比见图3。

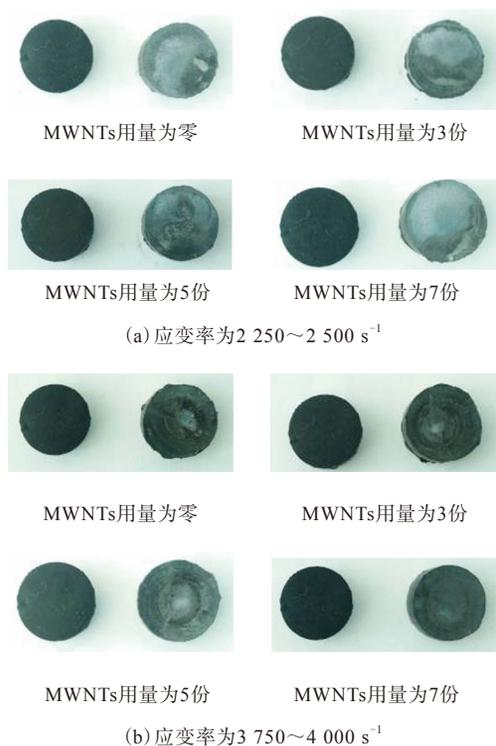


图3 不同应变率下冲击试验前后的试样照片

从图3可以看出:在应变率为 $2.250\sim 2.500\text{ s}^{-1}$ 时,4种MWNTs/NR复合材料试样在冲击试验测试前后的外观以及尺寸等均未发生明显变化;在应变率为 $3.750\sim 4.000\text{ s}^{-1}$ 时,4种MWNTs/NR复合材料试样在霍普金森压杆试验测试前后的外观及尺寸均发生较大变化,钢弹的冲击使试样中心位置产生了较大的变形,中心向内凹陷形成“坑”状,且这种凹陷的“坑”状变形会随着MWNTs用量的增大而逐渐减小。这种现象说明,MWNTs的加入提高了复合材料的抗冲击与抵御变形的能力。

高应变率下MWNTs/NR复合材料应力-应变曲线如图4所示。从图4可以看出:与准静态条件下MWNTs/NR复合材料的压缩应力-应变曲线相比,高应变率下复合材料的曲线形状有所不同,这主要是由于外力的加载方式不同所引起的,准静态下对试样所施加的外力随着应变的增大逐渐增大,而在高应变率下对试样所施加的外力为一恒定冲量,在

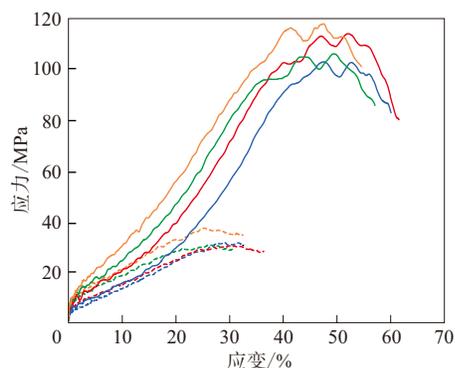


图4 高应变率下MWNTs/NR复合材料应力-应变曲线与试样接触的过程中,力逐渐减小,使得压缩应力-应变曲线的形状与准静态下不同。但是,在不同应变率下,MWNTs/NR复合材料的压缩应力-应变曲线随MWNTs用量的变化趋势基本一致。

由图4还可以看出:当MWNTs用量为零、应变小于15%时,材料在两种高应变率下的压缩应力-应变曲线基本重合,但随着MWNTs用量的增大,复合材料在两种高应变率下的压缩应力-应变曲线逐渐发生偏离,且随着MWNTs用量的增大,这种偏离随之变大,这与准静态下的变化基本一致。MWNTs/NR复合材料试样在两种高应变率下的压缩应力-应变曲线初期的压缩弹性模量对比见表2。

表2 高应变率下MWNTs/NR复合材料的压缩弹性模量

项 目	MPa			
	MWNTs用量/份			
	0	3	5	7
$E_{3.750\sim 4.000}$	234.429	333.740	455.323	537.836
$E_{2.250\sim 2.500}$	204.585	256.906	367.575	392.360
ΔE	29.844	76.834	87.748	145.476

注: $\Delta E = E_{3.750\sim 4.000} - E_{2.250\sim 2.500}$

由表2可见,在两种高应变率下,MWNTs/NR复合材料的压缩弹性模量的变化趋势基本相同,均随MWNTs用量的增大而升高。在MWNTs用量相同时,应变率为 $3.750\sim 4.000\text{ s}^{-1}$ 的压缩弹性模量高于应变率为 $2.250\sim 2.500\text{ s}^{-1}$ 的压缩弹性模量,且随着MWNTs用量的增大,二者的差值不断增大。这说明MWNTs的加入在一定程度上提高了复合材料的抗变形能力和吸能率,特别是当应变率增

大时,这一效果更为显著。这一规律与准静态下复合材料的压缩弹性模量变化一致。

3 结论

(1) 随着MWNTs用量的增大,MWNTs/NR复合材料的压缩应力-应变曲线更加倾斜,复合材料的压缩弹性模量和吸能率增大,抗冲击性能提高。

(2) 在MWNTs的用量相同时,MWNTs/NR复合材料的吸能率会随着应变率的增大而增大,且这种增幅会随着MWNTs用量的增大而变大,这说明添加MWNTs后,复合材料的抗冲击性能增强。

参考文献:

- [1] 王宝珍,胡时胜,周相荣. 不同温度下橡胶的动态力学性能及本构模型研究[J]. 实验力学,2007,22(1):1-6.
- [2] 张伟,宋长江,张海波,等. 硫化橡胶材料动力学性能试验研究[J]. 兵器材料科学与工程,2010,33(6):17-18.
- [3] 吴长河,冯晓伟,叶培,等. 应变率对硫化橡胶压缩力学性能的影响[J]. 功能材料,2013,44(8):1098-1101.
- [4] 王绪财,彭刚,冯家臣,等. 应变率对乙烯基酯树脂压缩力学行为影响的研究[J]. 工程塑料应用,2010,38(5):59-61.
- [5] 赵荣国,陈朝中,罗文波,等. 聚合物材料SHPB实验关键问题[J]. 固体力学学报,2011,32(s1):134-144.
- [6] 宋力,胡时胜. 软材料的霍普金森压杆测试新技术[J]. 工程力学,2006,23(5):24-28.
- [7] 景玉龙,杜华太,江美娟,等. CNT表面改性与CNT/橡胶复合材料研究[J]. 特种橡胶制品,2014,35(4):65-74.

收稿日期:2016-04-22

Study on Impact Resistance of MWNTs/NR Composites under Different Strain Rate

JING Yulong, DU Huatai, JIANG Meijuan, KONG Yi, WANG Cunduo, XIE Fuxia

(CNGC Institute 53, Jinan 250031, China)

Abstract: The impact resistance of MWNTs/NR composite under different strain rate was investigated. The results showed that, as the addition level of MWNTs increased, the compressive elastic modulus and the energy absorbability of the composites increased, and the impact resistance was improved. When the addition level of MWNTs was the same, the energy absorbability of composites increased with the strain rate increasing, and the increase was greater as the addition level of MWNTs became greater.

Key words: MWNTs; NR; composite; impact resistance

一种用于鞋底制作的石墨复合材料

中图分类号:TS943.714;TQ330.38⁺³ 文献标志码:D

由青岛天地碳素有限公司申请的专利(公开号 CN 104744737A,公开日期 2015-07-01)“一种用于鞋底制作的石墨复合材料”,涉及的复合材料配方为:天然橡胶 35~42,热塑性聚氨酯 30~40,石墨纤维 55~65,麻纤维 30~35。由于该复合材料添加了石墨纤维和麻纤维等,因此其耐磨性能和防腐蚀性能得到有效提高,且制备方法简单,生产成本低,应用范围广,制作的鞋底舒适、轻便。

(本刊编辑部 赵 敏)

一种用于油箱的波纹橡胶垫及其制备方法

中图分类号:TQ336.4⁺² 文献标志码:D

由安徽中鼎密封件股份有限公司申请的专利(公开号 CN 104761827A,公开日期 2015-07-08)“一种用于油箱的波纹橡胶垫及其制备方法”,涉及的波纹橡胶垫配方为:三元乙丙橡胶 160~190,炭黑 110~140,间接法氧化锌 4~6,橡胶填充油 20~40,润滑剂 1~2,硫黄 0.3~0.8,促进剂 3~5。与现有技术产品相比,该波纹橡胶垫具有良好的抗震和降噪性能以及高强度,能满足油箱对波纹橡胶垫长寿命的要求。

(本刊编辑部 赵 敏)