

文章编号: 1006-9941(2015)02-0140-06

DMA 方法研究多壁碳纳米管/F2314 复合材料的粘弹性能

林聪妹, 刘佳辉, 刘世俊, 黄忠, 李玉斌, 张建虎

(中国工程物理研究院化工材料研究所, 四川 绵阳 621999)

摘要: 用熔融共混法制备了多壁碳纳米管(MWCNTs)/氟聚物(F2314)复合材料。用动态机械热分析(DMA)法考察了MWCNTs含量对复合材料粘弹性能(动态力学行为和三点弯曲蠕变性能)的影响。结果表明,随着MWCNTs含量的增加,MWCNTs/F2314复合材料的储能模量增加,玻璃化转变温度和损耗因子峰值($\tan\delta_{\max}$)减小。MWCNTs的存在使得MWCNTs/F2314复合材料的蠕变应变和稳态蠕变速率减小。80℃/0.1MPa下,当MWCNTs含量从2%增加到20%时,MWCNTs/F2314复合材料的蠕变应变和稳态蠕变速率分别减小87.6%和84.7%。Burger四元件模型可以模拟MWCNTs/F2314复合材料的蠕变行为,并获得蠕变曲线的本构方程。

关键词: 多壁碳纳米管; 含氟聚合物(F2314); 复合材料; 蠕变

中图分类号: TJ55; O64

文献标志码: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2015.02.007

1 引言

自1991年Iijima^[1]在制取C₆₀的实验中发现碳纳米管(CNTs)以来,CNTs以其独特的无缝纳米管状纤维结构、极高的抗拉强度、良好的导电和导热性能,广泛应用于含能材料领域,已成为一个重要研究方向^[2-3]。在黑索今(RDX)和太安(PETN)中掺杂碳纳米管,可以有效降低RDX和PETN的激光起爆能量,提高激光起爆感度^[4]。添加碳纳米管可使奥克托今(HMX)和六硝基六氮杂异伍兹烷(CL-20)的热分解活化能降低,促进HMX和CL-20的热分解^[5]。高翠玲等^[6]在碳纳米管有序阵列中成功填充了RDX,得到装填RDX纳米线的碳纳米管有序阵列,有望获得具有特定功能的微结构含能材料。目前碳纳米管在含能材料领域的应用研究主要集中在对单质炸药性能的影响方面,关于碳纳米管对粘结剂体系性能影响的研究报道较少。虽然粘结剂体系在高聚物粘结炸药(PBX)中含量很少,但是其组成和性能直接影响PBX的性能^[7],因此需要对粘结剂本身的组成和性能关系进行深入研究。

含氟聚合物具有优良的物理、化学稳定性,良好的耐老化性能,与混合炸药其它组分的相容性好,本身密

度高,作为粘结剂在PBX中应用广泛^[8-9]。本研究采用多壁碳纳米管(MWCNTs)改性含氟聚合物F2314,测试了复合材料的动态力学行为和三点弯曲蠕变性能,获得了蠕变本构方程,为碳纳米管复合材料在PBX中的应用提供理论依据。

2 实验部分

2.1 原料

多壁碳纳米管(MWCNTs),外径为10~30nm,长度为5~15μm,深圳纳米港公司提供;F2314,氟含量为26.3%,重均分子量为 $2.74 \times 10^5 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$,分散系数为3.37,中昊晨光化工研究院生产。

2.2 MWCNTs/F2314复合材料的制备

将质量分数为(2%、5%、10%和20%)的MWCNTs与F2314进行密炼混合,然后微注塑制成30mm×10mm×2mm的样条,分别记作MF-1、MF-2、MF-3和MF-4,用于动态力学行为和三点弯曲蠕变性能测试。

2.3 动态力学试验

动态力学行为测试在德国NETZSCH公司DMA 242热机械分析仪上进行,采用三点弯曲样品夹具,选择温度扫描模式,工作频率为1Hz,实验温度为0~150℃,升温速率为 $1 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

2.4 三点弯曲蠕变试验

在德国NETZSCH公司DMA 242热机械分析仪

收稿日期: 2013-11-17; 修回日期: 2014-01-06

作者简介: 林聪妹(1985-),女,助理研究员,主要从事高聚物粘结炸药的配方设计和性能研究。e-mail: lincmei2009@163.com

上进行三点弯曲蠕变性能测试:采用跨距为 20 mm 的三点弯曲样品夹具,测试不同温度下 MWCNTs/F2314 复合材料的三点弯曲蠕变性能。试验过程由仪器控温模块自动恒温,控温精度为 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$,试验时间设定为 5400 s。

3 结果与讨论

3.1 MWCNTs/F2314 复合材料的动态力学行为

采用动态机械热分析法(DMA)测试了 F2314 及 MWCNTs/F2314 复合材料的动态力学温度谱。MWCNTs/F2314 复合材料的储能模量(E')随温度的变化曲线如图 1 所示。由图 1 可见,MWCNTs 的加入使 MWCNTs/F2314 复合材料的储能模量明显提高。MWCNTs 的比表面积大,其表面与 F2314 基体相互作用,较大地限制了 F2314 分子链段的运动,这使得 MWCNTs/F2314 复合材料的分子链段运动较纯 F2314 链段困难,跟不上外力的变化,呈现较大的刚性。另一方面,MWCNTs 的刚性大于 F2314 分子链,因此复合材料的 E' 较纯 F2314 明显增大。随着 MWCNTs 含量增加,MWCNTs/F2314 复合材料的储能模量增加。当 MWCNTs 含量为 20 wt% 时,常温下 MF-4 的储能模量为纯 F2314 的 2.64 倍。这主要是因为 MWCNTs 含量越高,与 F2314 基体形成的界面越多,处于界面的 F2314 分子越多,分子链的运动能力越差,表现为 MWCNTs/F2314 复合材料的储能模量越高。

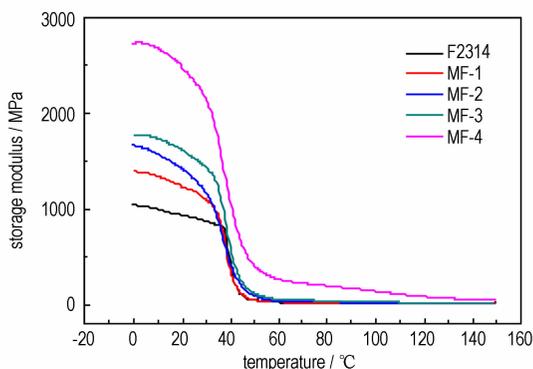


图 1 MWCNTs/F2314 复合材料的储能模量与温度的关系

Fig. 1 Curves of storage modulus (E') vs temperature of MWCNTs/F2314 samples

MWCNTs/F2314 复合材料的损耗因子($\tan\delta$)随温度的变化曲线如图 2 所示,相应的 MWCNTs/F2314 复合材料的玻璃化转变温度(T_g)和 $\tan\delta$ 峰值

($\tan\delta_{\max}$)见表 1。由表 1 可见,MWCNTs/F2314 复合材料的玻璃化转变温度比纯 F2314 低,且随着碳纳米管含量增加,玻璃化转变温度略微向低温方向偏移。在其它纳米复合材料中也发现了类似的现象^[12-13]。例如,Jin 等^[14]研究了沉淀法制备的 MWCNTs/PC 复合材料,发现复合材料的玻璃化转变温度比纯 PC 降低。他们认为玻璃化转变温度的下降源于复合材料中 PC 分子的活动性增加以及复合材料的自由体积增加。MWCNTs/F2314 复合材料的玻璃化转变损耗峰强度(即损耗峰面积)较纯 F2314 大为减弱,MF-4 的 $\tan\delta_{\max}$ 比纯 F2314 减小 74.3%。这可能是由于 MWCNTs 的存在促进了 F2314 的结晶,MWCNTs 对 F2314 有异相成核作用,提高了材料的结晶能力,使 F2314 非晶区受限,从而影响与松弛有关的分子运动,最终导致松弛对应的玻璃化转变损耗峰强度减弱。

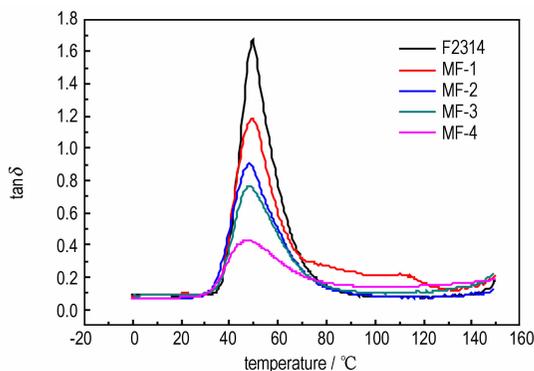


图 2 MWCNTs/F2314 复合材料的损耗因子($\tan\delta$)与温度的关系

Fig. 2 Curves of loss factor ($\tan\delta$) vs temperature of MWCNTs/F2314 samples

表 1 F2314 及 MWCNTs/F2314 复合材料的动态力学性能参数

Table 1 Dynamic mechanical parameters of F2314 and MWCNTs/F2314

sample	$T_g / ^{\circ}\text{C}$	$\tan\delta_{\max}$
F2314	49.5	1.673
MF-1	49.2	1.188
MF-2	48.2	0.904
MF-3	48.1	0.768
MF-4	47.8	0.430

Note: T_g is glass transition temperature, $\tan\delta_{\max}$ is peak value of loss factor.

3.2 MWCNTs//F2314 复合材料的三点弯曲蠕变性能

图 3 为 MWCNTs/F2314 复合材料在恒定应力为 0.1 MPa 时不同温度下的三点弯曲蠕变应变曲线。从图 3 可以看出,在试验测试的时间范围内,试样没有

被破坏。MWCNTs/F2314 复合材料的蠕变曲线明显分为两个阶段,即加载时的瞬时弹性应变以及稳态蠕变阶段。蠕变初始阶段,蠕变应变随时间的增加而迅

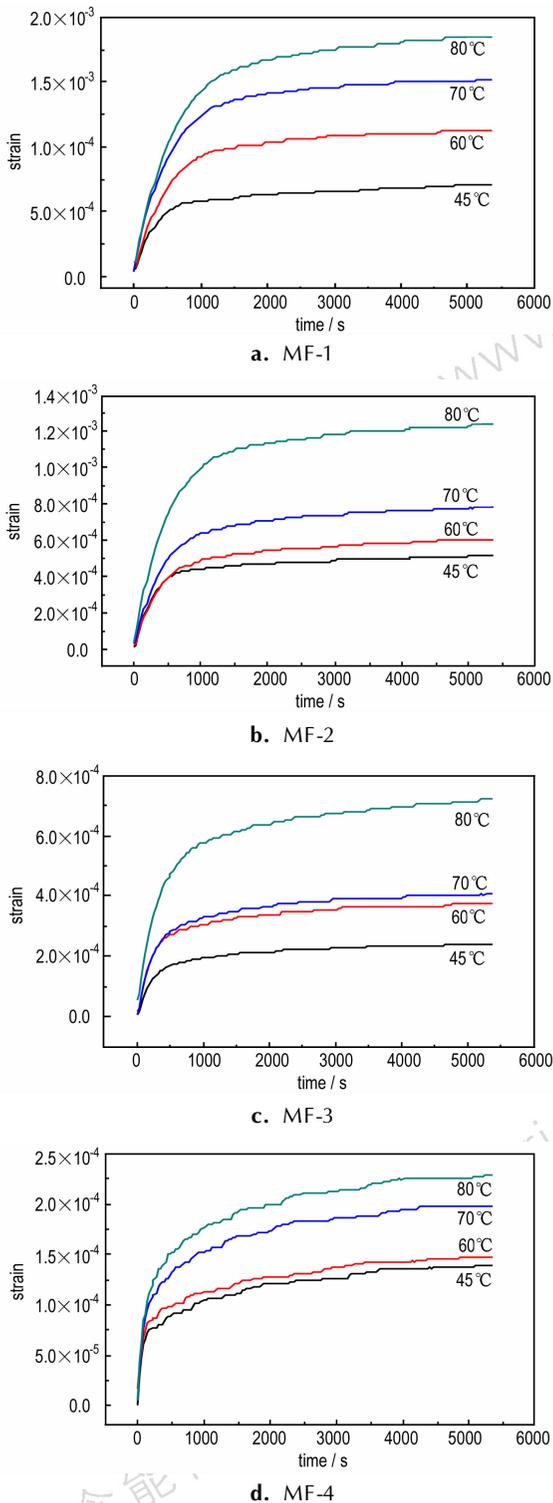


图3 0.1 MPa 时不同温度下 4 种 MWCNTs/F2314 复合材料的蠕变应变曲线

Fig. 3 Creep strain curves of four MWCNTs/F2314 samples at different temperatures and 0.1 MPa

速增加,之后随着施加应力时间的延续,应变的变化趋于平缓。对蠕变曲线稳态段进行线性拟合可得到稳态蠕变速率,如图 4 所示。表 2 列出了 MWCNTs/F2314 复合材料的蠕变性能参数。从图 3 和表 2 可知,随着温度升高,MWCNTs/F2314 复合材料的蠕变应变增加,稳态蠕变速率提高。当温度相同时,MWCNTs 含量是影响蠕变性能的一个重要因素。80 °C 下,当 MWCNTs 含量从 2% (MF-1) 增加到 20% (MF-4) 时,MWCNTs/F2314 复合材料的蠕变应变减小 87.6%,稳态蠕变速率降低 84.9%,显示出良好的尺寸稳定性及长期负荷能力。这主要是因为 MWCNTs 和 F2314 基体间存在良好的界面作用,在外力作用下,易于将载荷通过 F2314 向碳纳米管传递。远离 MWCNTs 的 F2314 基体本体强度较小,外力作用下形成裂纹并扩展,当裂纹扩展到具有皮芯结构的 MWCNTs 时,裂纹发生分叉和偏转,使裂纹扩展阻力增加。此外,MWCNTs 在 F2314 基体中随机分布且相互搭接,由于 MWCNTs 具有较大的长径比,可以形成骨架结构阻碍周围高分子链的移动。随着 MWCNTs 含量增加,搭接点数目增加,在基体中形成相互缠结的网络结构,对周围高分子链移动的阻碍作用增强,从而提高了抗蠕变性能。

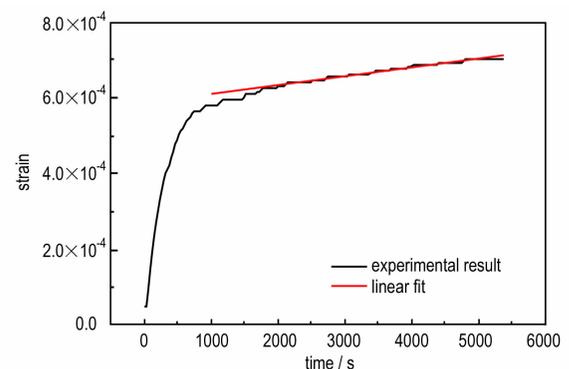


图4 45 °C/0.1 MPa 下 MF-1 的蠕变曲线稳态段线性拟合示意图

Fig. 4 The linear fit of the creep strain curves of MF-1 during steady state at 45 °C and 0.1 MPa

为了更加深刻地理解蠕变力学松弛现象,许多学者提出了采用理想弹簧和理想粘壶,以各种不同方式组合起来,模拟蠕变过程,如 Maxwell 模型、Voigt(或 Kelvin)模型、Burger 四元件模型等^[15]。其中,Burger 四元件模型应用最为广泛,可以比较完整地描述聚合物的蠕变行为^[16-17],如图 5 所示。

表 2 MWCNTs/F2314 复合材料的蠕变性能参数

Table 2 The creep property parameters of MWCNTs/F2314 samples

sample	constant creep strain rate/s ⁻¹				creep strain at 5400 s			
	45 °C	60 °C	70 °C	80 °C	45 °C	60 °C	70 °C	80 °C
MF-1	2.305×10 ⁻⁸	2.836×10 ⁻⁸	3.213×10 ⁻⁸	5.746×10 ⁻⁸	7.025×10 ⁻⁴	1.130×10 ⁻³	1.520×10 ⁻³	1.850×10 ⁻³
MF-2	1.347×10 ⁻⁸	1.865×10 ⁻⁸	2.259×10 ⁻⁸	3.071×10 ⁻⁸	5.132×10 ⁻⁴	6.010×10 ⁻⁴	7.831×10 ⁻⁴	1.240×10 ⁻³
MF-3	7.246×10 ⁻⁹	1.172×10 ⁻⁸	1.251×10 ⁻⁸	2.316×10 ⁻⁸	2.400×10 ⁻⁴	3.777×10 ⁻⁴	4.054×10 ⁻⁴	7.202×10 ⁻⁴
MF-4	6.017×10 ⁻⁹	6.313×10 ⁻⁹	7.469×10 ⁻⁹	8.640×10 ⁻⁹	1.394×10 ⁻⁴	1.470×10 ⁻⁴	1.984×10 ⁻⁴	2.290×10 ⁻⁴

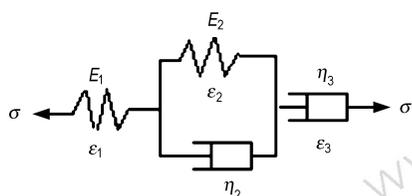


图 5 Burger 四元件力学模型示意图

Fig.5 Schematic drawing of Burger four-element mechanical model

Burger 四元件力学模型可以看作是 Maxwell 模型和 Voigt 模型串联而成的,蠕变过程中 $\sigma = \sigma_0$, 因此聚合物基复合材料的总应变^[15]:

$$\varepsilon(t) = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = \frac{\sigma_0}{E_1} + \frac{\sigma_0}{E_2}(1 - e^{-t/\tau}) + \frac{\sigma_0}{\eta_3}t \quad (1)$$

式中, t 为蠕变时间, s; $\varepsilon(t)$ 为蠕变应变 ε 随 t 的函数; ε_1 为普弹形变; ε_2 为高弹形变; ε_3 为粘性流动形变; σ_0 为初始应力, MPa; E_1 为普弹形变的弹性模量, MPa; E_2 为高弹形变的弹性模量, MPa; τ 为松弛时间, s; η_3 为本体黏度, MPa·s。

表 3 不同试验条件下 Burger 四元件模型的拟合参数

Table 3 The fitting parameters of Burger four-element model under different testing conditions

sample	test condition	E_1 /MPa	E_2 /MPa	τ /s	η_3 /MPa·s	R
MF-1	45 °C/0.1 MPa	1.822×10 ⁴	1.742×10 ²	289.84	4.051×10 ⁶	0.99855
	60 °C/0.1 MPa	2.846×10 ⁴	1.001×10 ²	453.96	4.041×10 ⁶	0.99936
	70 °C/0.1 MPa	2.890×10 ³	7.410×10 ¹	485.99	3.811×10 ⁶	0.99982
	80 °C/0.1 MPa	2.688×10 ³	6.308×10 ¹	540.94	2.173×10 ⁶	0.99971
MF-2	45 °C/0.1 MPa	2.176×10 ⁴	2.225×10 ²	271.01	7.119×10 ⁶	0.99819
	60 °C/0.1 MPa	2.758×10 ⁴	2.004×10 ²	359.31	4.943×10 ⁶	0.99888
	70 °C/0.1 MPa	7.028×10 ³	1.527×10 ²	404.96	4.341×10 ⁶	0.99950
	80 °C/0.1 MPa	3.996×10 ³	9.271×10 ¹	473.26	3.783×10 ⁶	0.99981
MF-3	45 °C/0.1 MPa	1.157×10 ⁴	5.328×10 ²	283.01	1.087×10 ⁷	0.99660
	60 °C/0.1 MPa	7.632×10 ³	3.403×10 ²	257.97	6.902×10 ⁶	0.99623
	70 °C/0.1 MPa	6.756×10 ³	3.132×10 ²	308.12	6.485×10 ⁶	0.99643
	80 °C/0.1 MPa	1.894×10 ³	1.856×10 ²	366.21	3.957×10 ⁶	0.99886
MF-4	45 °C/0.1 MPa	3.124×10 ³	1.403×10 ³	340.46	1.334×10 ⁷	0.98119
	60 °C/0.1 MPa	2.886×10 ³	1.344×10 ³	247.29	1.222×10 ⁷	0.98434
	70 °C/0.1 MPa	2.806×10 ³	8.437×10 ²	318.95	1.051×10 ⁷	0.98791
	80 °C/0.1 MPa	2.635×10 ³	7.165×10 ²	323.81	9.247×10 ⁶	0.98959

Note: E_1 is elastic modulus of regular elastic deformation, E_2 is elastic modulus of high elastic deformation, τ is relaxation time, η_3 is bulk viscosity, R is correlation coefficient.

将方程(1)两边同除以 σ_0 , 得方程(2):

$$\frac{\varepsilon(t)}{\sigma_0} = \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}(1 - e^{-t/\tau}) + \frac{1}{\eta_3}t \quad (2)$$

在蠕变过程中, 由于恒定应力加载, 蠕变过程也可以用蠕变柔量 D 来表示:

$$D(t) = \frac{\varepsilon(t)}{\sigma} \quad (3)$$

方程(2)就转化为蠕变柔量方程:

$$D(t) = \frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2}(1 - e^{-t/\tau}) + \frac{1}{\eta_3}t \quad (4)$$

以 MF-1 为例, 采用 Origin 8.0 数据分析软件, 对加载应力为 0.1 MPa 时 45 °C 下蠕变柔量曲线进行非线性拟合, 如图 6 所示。非线性拟合得到 Burger 四元件模型中 MWCNTs/F2314 复合材料的各参数(弹性模量 E_1 、 E_2 、松弛时间 τ 和本体黏度 η_3) 的值列于表 3。从图 6 和表 3 可以看出, 拟合曲线与蠕变实验曲线几乎完全重合, 且拟合相关系数 R 都达到 0.981 以上, 说明 Burger 四元件模型可以高精度模拟 MWCNTs/F2314 复合材料的蠕变行为。

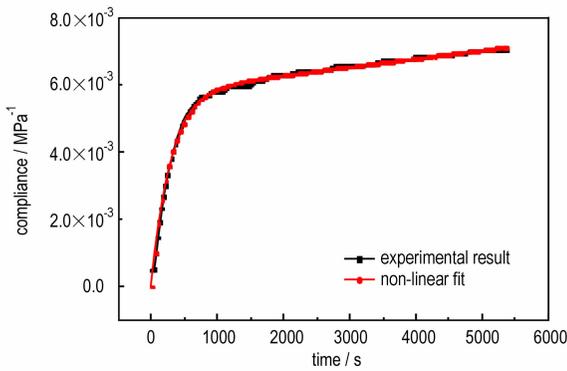


图6 45 °C/0.1 MPa下MF-1的蠕变柔量及其拟合曲线

Fig.6 Creep compliance curve and fitting curve for MF-1 at 45 °C and 0.1 MPa

由表2拟合结果可知,应力为0.1 MPa时,随着温度的升高,MWCNTs/F2314复合材料高弹形变的弹性模量 E_2 逐渐降低,表现出明显的温度依赖性。温度升高,F2314的分子热运动加剧,体积膨胀,分子间的自由空间加大,材料宏观表现为刚性下降,弹性模量降低。同时,温度升高,MWCNTs/F2314复合材料中F2314分子链越更容易发生延展和相对滑移,因此MWCNTs/F2314复合材料中本体黏度 η_3 降低。相同温度和应力作用下,随着MWCNTs含量增加,MWCNTs/F2314复合材料的弹性模量 E_2 和本体黏度 η_3 逐渐增加。拟合参数中弹性模量 E_2 和本体黏度 η_3 随温度以及MWCNTs含量的变化趋势与稳态蠕变速率的变化趋势相反,这表明 E_2 和 η_3 可以作为判定材料蠕变性能的特征参量。 E_2 和 η_3 增加意味着MWCNTs/F2314复合材料的抗蠕变性能提高。

4 结论

(1) 多壁碳纳米管(MWCNTs)对MWCNTs/F2314复合材料的储能模量(E')、玻璃化转变温度(T_g)和损耗因子 $\tan\delta$ 峰值($\tan\delta_{\max}$)具有显著影响。当MWCNTs含量为20%时,常温下MWCNTs/F2314复合材料的 E' 比纯F2314提高1.64倍, T_g 比纯F2314降低1.7 °C, $\tan\delta_{\max}$ 比纯F2314减小74.3%。

(2) MWCNTs的加入明显改善了MWCNTs/F2314复合材料的三点弯曲蠕变性能。MWCNTs/F2314复合材料的蠕变特性符合Burger四元件力学模型,拟合参数中弹性模量 E_2 和本体黏度 η_3 可以作为判定材料蠕变性能的特征参量。

参考文献:

- [1] Iijima A. Helical microtubes of graphitic carbon [J]. *Nature*, 1991, 354: 56–58.
- [2] 顾克壮, 李晓东, 杨荣杰. 碳纳米管对高氯酸铵燃烧和热分解的催化作用[J]. *火炸药学报*, 2006, 29 (1): 48–51.
GU Ke-zhuang, LI Xiao-dong, YANG Rong-jie. Catalytic action on combustion and thermal decomposition of AP with CNTs [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2006, 29 (1): 48–51.
- [3] 黄辉, 王泽山, 黄亨建, 等. 新型含能材料的研究进展[J]. *火炸药学报*, 2005, 28 (4): 9–14.
HUANG Hui, WANG Ze-shan, HAUNG Heng-jian, et al. Researches and progresses of novel energetic materials [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2005, 28 (4): 9–14.
- [4] 徐姣, 吴立志, 沈瑞琪, 等. 掺杂和密闭透窗对炸药激光起爆感度的影响[J]. *火炸药学报*, 2011, 34 (1): 77–79.
XU Jiao, WU Li-zhi, SHEN Rui-qi, et al. Effects of dopants and confined windows on laser initiation sensitivity of explosives [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2011, 34 (1): 77–79.
- [5] 曾贵玉, 林聪妹, 周建华, 等. 碳纳米管对HMX热分解行为的影响[J]. *火炸药学报*, 2012, 35 (6): 55–57.
ZENG Gui-yu, LIN Cong-mei, ZHOU Jian-hua, et al. Influences of carbon nanotubes on the thermal decomposition behavior of HMX [J]. *Chinese Journal of Explosives & Propellants*, 2012, 35 (6): 55–57.
- [6] 高翠玲, 刘晏棠, 黄辉, 等. 填充含能分子的碳纳米管有序阵列的构筑和表征[J]. *含能材料*, 2004, 12 (增刊): 534–536.
GAO Cui-ling, LIU Min-tang, HUANG Hui, et al. Fabrication and characterization of an ordered array of the energy-containing molecule-filling carbon nanotubes [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2004, 12 (Suppl.): 534–536.
- [7] 林聪妹, 刘世俊, 涂小珍, 等. TATB基PBX及其改性配方的蠕变性能[J]. *含能材料*, 2013, 21 (4): 506–511.
LIN Cong-mei, LIU Shi-jun, TU Xiao-zhen, et al. Creep properties of TATB-based polymer bonded explosive and its modified formulation [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2013, 21 (4): 506–511.
- [8] Souers P C, Lewis P, Hoffman M, et al. Thermal expansion of LX-17, PBX 9502, and ultrafine TATB [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2011, 36: 335–340.
- [9] Thompson D G, Brown G W, Olinger B, et al. The effects of TATB ratchet growth on PBX 9502 [J]. *Propellants, Explosives, Pyrotechnics*, 2010, 35: 507–513.
- [10] 张朝阳, 舒远杰, 赵小东, 等. 两种氟聚合物在TATB晶体表面吸附的动力学模拟[J]. *含能材料*, 2005, 13 (4): 238–241.
ZHANG Chao-yang, SHU Yuan-jie, ZHAO Xiao-dong, et al. Dynamics simulation of adsorptions of two fluorine-polymers on TATB crystal surfaces [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2005, 13 (4): 238–241.
- [11] 孙杰, 董海山, 郑培森, 等. F2314粘结HMX的研究[J]. *含能材料*, 2000, 8 (4): 155–157.
SUN Jie, DONG Hai-shan, ZHENG Pei-sen, et al. Study on fluoropolymer F2314 bonded HMX [J]. *Chinese Journal of Energetic Materials (Hanneng Cailiao)*, 2000, 8 (4): 155–157.
- [12] Liu Y L, Hsu C Y, Wei W L, et al. Preparation and thermal

- properties of epoxy-silica nanocomposites from nanoscale colloidal silica[J]. *Polymer*, 2003, 44: 5159-5167.
- [13] Kwon S C, Adachi T, Araki W, et al. Thermo-viscoelastic properties of silica particulate-reinforced epoxy composites: Considered in terms of the particle packing model[J]. *Acta Materialia*, 2006, 54: 3369-3374.
- [14] Jin S H, Choi D K, Lee D S. Electrical and rheological properties of polycarbonate/multiwalled carbon nanotube nanocomposites [J]. *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 2008, 313-314: 242-245.
- [15] 何曼君, 陈维孝, 董西侠. 高分子物理[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2005.
- [16] Yakushev P N, Peschanskaya N N. Creep rate variability in gel-spun polyethylene[J]. *Polymer Engineering and Science*, 1975, 15(3): 1286-1293.
- [17] Lee S Y, Yang H S, Kim H J, et al. Creep behavior and manufacturing parameters of wood flour filled polypropylene composites[J]. *Composite Structures*, 2004, 65: 459-469.

Characterization Viscoelastic Properties of Multi-walled Carbon Nanotubes/F2314 Composites Using DMA Method

LIN Cong-mei, LIU Jia-hui, LIU Shi-jun, HUANG Zhong, LI Yu-bin, ZHANG Jian-hu

(Institute of Chemical Materials, CAEP, Mianyang 621999, China)

Abstract: Multi-walled carbon nanotubes (MWCNTs)/fluoropolymer (F2314) composites were prepared via a melt blending process. The influences of MWCNTs content on the viscoelastic properties (dynamic mechanical behavior and three-point bending creep properties of MWCNTs/F2314) were explored using dynamic mechanical analysis (DMA) method. The results show that with increasing the MWCNTs content, the storage modulus (E') of MWCNTs/F2314 composites increases, the glass transition temperature (T_g) and peak value of loss factor ($\tan\delta_{max}$) decrease. The creep strain and constant creep strain rate of MWCNTs/F2314 composites distinctly decrease due to the presence of MWCNTs. At 80 °C/0.1 MPa, when the MWCNTs content (mass fraction) increases from 2% to 20%, the creep strain and constant creep strain rate of MWCNTs/F2314 composites decrease by 87.6% and 84.7%, respectively. Burger four-element mechanical model can be used to simulate the creep behaviors of MWCNTs/F2314 composites and obtain the constitutive equations of creep curves.

Key words: multi-walled carbon nanotubes(MWCNTs); fluoropolymer (F2314); composite; creep

CLC number: TJ55; O64

Document code: A

DOI: 10.11943/j.issn.1006-9941.2015.02.007



《含能材料》高效毁伤弹药专栏征稿

高效毁伤弹药以“利用最小化成本获得最大化效果”为目标,对含能材料的性能和能量提出了更高的要求。为进一步促进高效毁伤弹药及其技术的研究,本刊将于2015年增设高效毁伤弹药专栏,内容涉及(1)传统含能材料的优化和改进以及先进含能材料的开发和应用,包括:传统含能材料合成、制造、处理和应用的新技术,新的CHON含能材料的开发和应用,金属化炸药,非传统概念炸药(如燃料空气炸药、温压炸药),高能量密度材料;(2)含能材料能量的控制输出研究,包括:能量输出增强(如组合装药),能量输出聚焦/定向,能量输出模式可控(如多模装药),能量输出范围可控(如低附带毁伤炸药)。欢迎广大学者投稿,来稿时请选择对应的专栏。

《含能材料》编辑部