

文章编号:1001-4888(2018)01-0008-09

典型非金属材料动静态应力—应变曲线测量^{*}

黄亚烽¹, 沈珉¹, 孟宪明²

(1. 天津大学 机械工程学院 力学系, 天津 300072; 2. 中国汽车技术研究中心, 天津 300300)

摘要: 为测试聚碳酸酯(PC)和聚甲醛(POM)两种工程材料在中、低应变率下的动静态拉伸力学性能,本文采用液压伺服加载设备结合数字图像相关方法(DIC)进行了试验研究,测量得到了动静态应力—应变曲线。结果表明,PC材料断裂应力具有较强的应变率敏感性,适用于吸能构件;POM材料断裂应力应变均具有较强的应变率敏感性,适用于结构性构件。结合微观结构图像,分析其拉伸过程中细观结构变化,为典型粘弹塑性材料(PC)和脆性材料(POM)宏观力学行为提供了微观解释。本文试验曲线为这类材料结构的数值仿真分析提供了试验数据。

关键词: 非金属材料; 动态拉伸力学性能; 微观结构; 破坏特征

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **DOI:** 10.7520/1001-4888-16-289

0 引言

非金属材料包括塑料、橡胶、织物和玻璃等各种无机和有机材料,具有已知材料中可变性范围最广的力学性质,为不同工程应用提供了广阔的选择余地,但也对仿真分析造成了困难。常用非金属材料中,聚碳酸酯(PC)和聚甲醛(POM)具有出色的力学特性,分别代表了粘弹塑性和脆性两种典型力学行为。

PC的应用范围主要集中在玻璃装配、汽车工业、电子电器等,而POM适用于齿轮、轴承、汽车零部件等,这两种材料动静态力学性能测试,对于工程中的应用分析具有重要意义。动力学问题与传统静力学问题的主要区别在于,静力学问题是研究固体材料处于静力平衡状态下的力学行为。而在动载荷条件下,材料微观结构处于随时间变化的动态过程,考虑内部微元的惯性效应及微观结构,材料宏观力学行为上表现为应变率相关性。

材料高应变率效应研究多采用霍普金森杆、冲击及爆炸等试验方法;胡文军等^[1]对聚碳酸酯的冲击压缩性能进行了试验研究;Sato等^[2]采用平板冲击试验,在一维应变下对PC材料应变率范围 $10^{-4} \sim 10^7 \text{ s}^{-1}$ 的应力应变关系进行了研究;AL-Maliky和Parry^[3]利用膨胀环技术对高密度聚乙烯 10^4 s^{-1} 应变率进行了研究;Gerlach等^[4]对RTM-6树脂进行了冲击载荷作用下的力学性能研究;Smith等^[5]研究了玻璃纤维/涤纶非金属复合材料在 $10^{-3} \sim 10^3 \text{ s}^{-1}$ 应变率下的拉伸强度;卢子兴和高镇同^[6]采用电子万能试验机及落锤冲击试验方法,测试了玻璃纤维束增强与单丝玻璃纤维增强泡沫塑料动静态力学性能的差异;彭刚等^[7]对基于分离Hopkinson杆的反射式纤维增强复合材料动态拉伸试验技术进行了研究,对于加载杆中可能影响拉伸应力波波形试验分析的干扰波进行了系统的定量分析;付顺强等^[8]采用旋转盘式接杆杆型冲击拉伸试验机和MTS809材料试验机,研究了聚碳酸酯的拉伸力学行为,应变率为准静态和 $380 \sim 1750 \text{ s}^{-1}$,结果表明聚碳酸酯具有明显的应变率相关性,其屈服应力和失稳应变随应变

^{*} 收稿日期: 2016-12-31; 修回日期: 2017-03-10

基金项目: 国家自然科学基金(10972155, 11572218, 81670884)资助

通讯作者: 沈珉(1963—),男,博士,副教授。主要研究领域:实验固体力学、复合材料力学。Email: minshen@tju.edu.cn

率增加而增大；吴恒毅等^[9]用 MTS810 试验机和自行研制的中应变率试验机对有机玻璃 (PMMA) 准静态 (应变率 $2.38 \times 10^{-4} \sim 2 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$) 和中应变率 ($2.92 \times 10^{-1} \sim 18.6 \text{ s}^{-1}$) 单向拉伸力学性能进行了试验研究,建立了其应变率相关本构方程。目前国内暂未见合适的非金属材料中、低应变率下动态力学行为测试标准。

Fitoussi 等^[10]研究了高应变率下 SMC-R26 及编织碳纤维复合材料的宏观及微观变形演化特性,为降低机械扰动并保证应变率稳定性,推荐采用液压伺服动态加载方式;Shokrieh 等^[11]同样采用液压伺服试验设备,测试了玻璃纤维环氧树脂复合材料 100 s^{-1} 以下不同应变率的拉伸力学行为;汪凯等^[12]结合数字图像相关方法开发了车身用 LY12CZ 铝合金材料的非接触动静态力学性能测量方法,但动态加载依然采用滑块冲击模式。与霍普金森杆试验机相比,液压伺服高速加载设备主要针对中、低应变率,在测试过程中加载速率稳定,结合 DIC 方法得到的应力—应变曲线光滑完整。

本文综合文献中的测试方法,针对 PC 和 POM 两种典型非金属材料,考虑实际应用工况 (一般小于 100 s^{-1}),选取液压伺服动态试验机进行动态加载,采用数字图像相关 (Digital Image Correlation, DIC) 方法,测取不同应变率下 PC 和 POM 材料整个拉伸过程应力—应变关系曲线 (本文中所有应力、应变均为真应力、真应变)。结合微观结构图像,分析拉伸过程中材料微观结构的演变历程。为这两种材料力学特性研究提供试验数据,也可为该材料结构件设计的 CAE 仿真提供材料性能的试验数据^[13]。

1 测试方法与试验设备

国内目前还没有完善的非金属材料动态力学性能测试标准^[14],故综合文献方法,本文采用液压伺服动态试验机触发高速摄像机^[12],拍摄试件完整变形过程,利用德国 GOM 公司 ARAMIS 软件进行数字图像相关 (DIC) 处理,对 PC 和 POM 两种非金属材料动静态力学行为进行测试表征。

1.1 材料及试件制备

PC 是分子链中含有碳酸酯基的高分子聚合物,根据酯基的结构可分为脂肪族、芳香族、脂肪族-芳香族等多种类型。由于其他类型的机械性能较低,目前仅有芳香族聚碳酸酯达到工业化生产要求。芳香族聚碳酸酯具有良好的抗冲击性、抗热畸变等性能。

POM 是一种没有侧链、高密度、高结晶性的线型聚合物,以甲醛为原料聚合而得,具有高分子量结构。由于 POM 材料的分子链比较规整,无分枝结构,结晶速度快,结晶度大,工程中有时可用来代替铜、锌、锡、铅等有色金属,具有优异的综合性能。

准静态拉伸试件依据 GBT-1040 标准进行加工及制备,尺寸及参数如图 1(a) 所示;动态拉伸试件依据 ISO-26203 标准加工制备,尺寸及参数如图 1(b) 所示,加工精度均为 $\pm 0.1 \text{ mm}$ 。

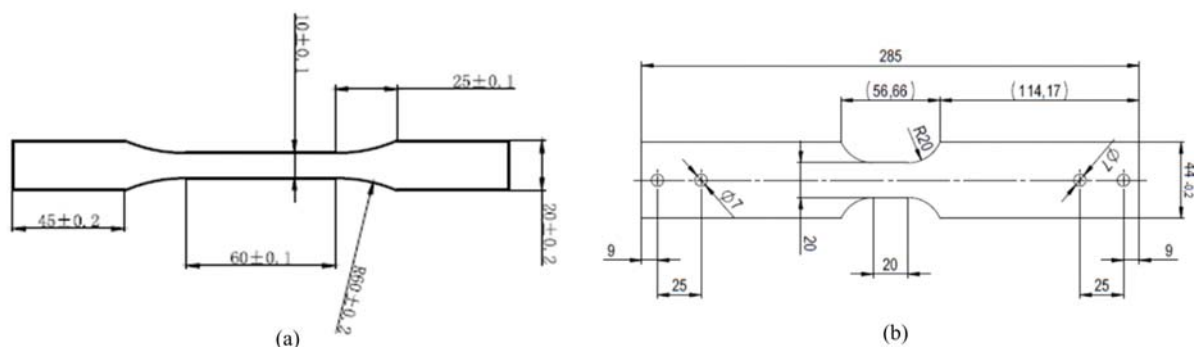


图 1 动静态试件尺寸:(a)静态试件;(b)动态试件

Fig. 1 Dynamic/quasi-static specimen size: (a) Static specimen; (b) Dynamic specimen

1.2 试验设备及测试系统

本文中准静态试验采用 WDW-100 电子万能试验机加载,测试精度为 0.5% 级。试验加载速率设定为 2 mm/min ,采用准静态 DIC 测试系统采集试件变形图像及相应的载荷信息。

动态拉伸试验采用 ZWICK HTM16020 液压伺服大型高速动态试验机,测试精度为 0.5% 级,加载

速度从 10^{-3} 到 20m/s , 载荷传感器为 50kN 量程的压电陶瓷传感器。连接轴承为径压轴承, 最大程度上避免了作动过程中的机械摩擦; 轴承上端采用激光位移传感器记录轴承位移; 配备了两张高速采集卡, 最大采集频率为 10M/s , 图 2 为液压伺服高速拉伸设备系统简图。

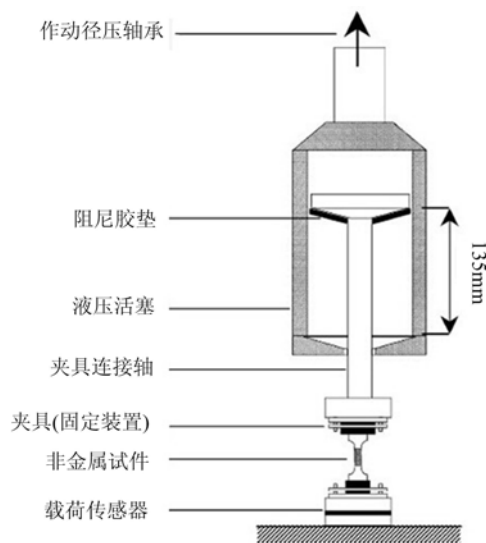


图 2 高速拉伸试验用液压伺服设备系统简图

Fig. 2 Diagram of Hydraulic servo system for dynamic test

在非金属材料实际工程应用中, CAE 仿真所需应变率一般不超过 100s^{-1} , 本文中测试应变率选为 1s^{-1} 、 20s^{-1} 、 100s^{-1} 。利用 Photron SA-Z 高速摄像机采集动态加载过程中试件变形的序列图像。

根据应变率 $\dot{\epsilon}$ 的计算公式:

$$\dot{\epsilon} = \frac{\Delta\epsilon}{\Delta t} = \frac{\Delta L}{L_0} \cdot \frac{1}{\Delta t} = \frac{V}{L_0}$$

其中, Δt 是变化时间; $\Delta\epsilon$ 为 Δt 时间内试件发生的应变; ΔL 为 Δt 时间内测试段伸长量; L_0 为原始标距长度; V 是拉伸速度。

鉴于测试段长度为 20mm , 依据不同测试应变率, 加载速度依次选定为 20mm/s 、 400mm/s 和 2m/s , 试验中图像采集频率依照不同应变率进行设定: 准静态采集间隔约为 2s ; 1s^{-1} 的采集频率为 $500 \sim 1000\text{fps}$; 20s^{-1} 的采集频率为 $5000 \sim 8000\text{fps}$; 100s^{-1} 的采集频率为 $20000 \sim 25000\text{fps}$ 。为采集得到测试段完整变形过程, 高速相机于拉伸前约 20ms 触



图 3 高速 DIC 测试系统图

Fig. 3 High speed DIC test system

发, 预先拍摄试件原始图像作为基准图像, 并依照采集时间将应力与应变结果进行对应。高速 DIC 试验测试系统如图 3 所示, 为满足高速拍摄要求, 提高图像精度, 保证无影效果, 两侧采用无频闪光源(即高速光源)照射试件测试段。

1.3 变形测量的数字图像相关方法

数字图像相关法(DIC)利用试件变形前后的数字图像(图 4), 通过相关算法提取变形信息。DIC 算法要求图像具有随机的灰度分布, 可在待测试件表面制作人工散斑, 通过相关函数和搜索算法, 可准确判断变形前后图像中相对应的像素子区, 从而计算得到整像素位移, 而 DIC 方法可以进一步实施亚像素位移定位算法, 实现更高的位移计算精度^[15]。

本文中采集的变形图像像素尺寸为 $1024 \times 1280\text{pixels}$, 最高采集频率为 200000fps , 采用德国 GOM 公司数字图像相关软件 ARAMIS V8.0 版本进行求解。文中所有变形图像直接与参考图像进行相关计算, 规避了阶梯算法会出现的误差累积, 测试精度为 0.01 像素级。

在试件表面测试段制备人工斑点作为变形信息载体, 斑点应在变形过程中牢固定位于试件表面, 喷漆太薄或太厚均会导致试验结果精确度下降。试验前对试件表面进行喷斑处理, 待完全干燥后进行测试试验, 图 5 为制斑结果及其灰度分布。

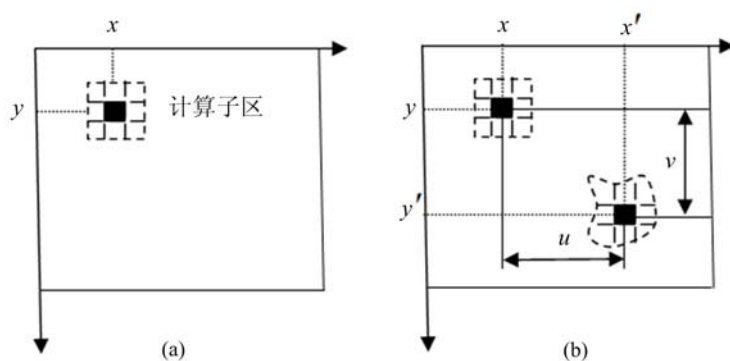


图 4 DIC 方法简介：(a)参考图像；(b)目标图像

Fig. 4 Brief description of the DIC method: (a) Reference image; (b) Target image

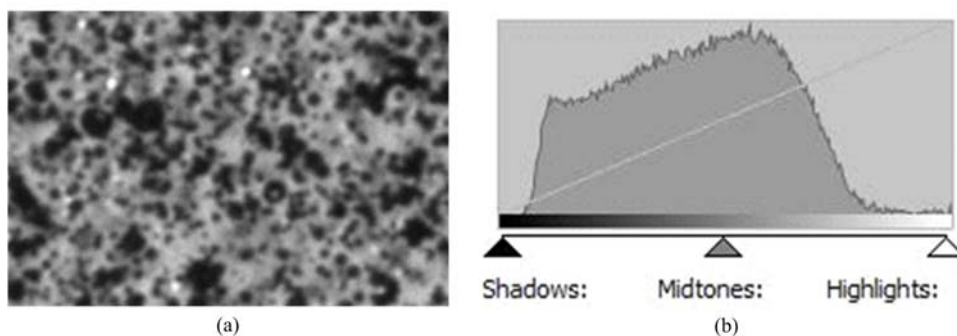


图 5 喷斑图像及灰度分布：(a)制斑结果；(b)灰度分布

Fig. 5 Speckle image and gray level distribution: (a) Spray results; (b) Gray distribution

2 典型非金属材料动静态应力—应变曲线测量

2.1 聚碳酸酯(PC)的动静态应力—应变曲线

图 6 为 PC 准静态拉伸应力—应变曲线，P 点为弹性极限，S 点为屈服强度，M 点为断裂位置。在 OP 段，材料的应力—应变呈线性关系，满足胡克定律；之后 PS 阶段为试件屈服过程；S 点之后发生颈缩并逐步扩展，材料进入扩散性颈缩阶段；在断裂点 M 前，材料表现为应变硬化模式，并在拉伸最后阶段表现为较强的各向异性。

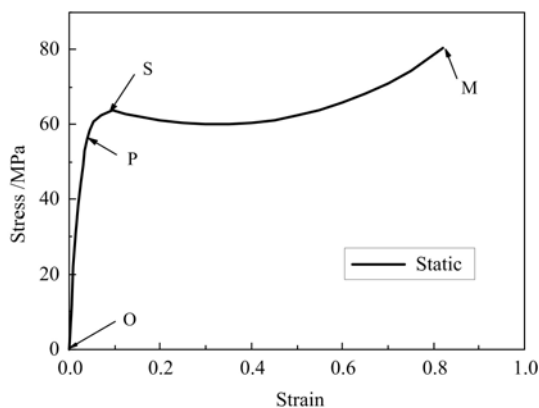


图 6 PC 准静态拉伸应力—应变曲线

Fig. 6 Quasi static true stress-strain curve of PC

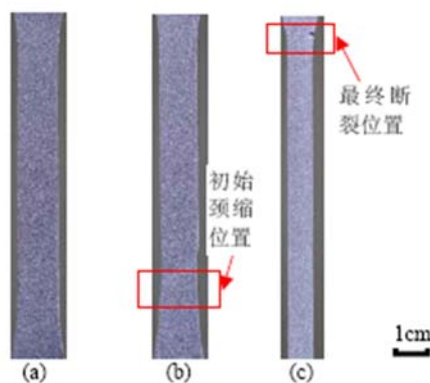


图 7 PC 材料拉伸变形过程：

(a)初始状态，(b)开始颈缩，(c)断裂前

Fig. 7 Tensile process of PC: (a)Initial state,

(b)First necking, (c)Before fracture

图 7 为实际准静态拉伸试验中试件从开始拉伸到出现颈缩，随后出现扩散型颈缩并最终硬化断裂的完整过程。由图可以看出，经过弹性阶段后，材料出现颈缩，随后沿试件长度方向传播，最终进入应变

强化阶段并断裂。

图 8 和图 9 为 PC 材料准静态、 1s^{-1} 、 20s^{-1} 、 100s^{-1} 下应力—应变曲线及不同动态应变率下试件断裂前瞬时图像。可以看出材料动态应力—应变曲线与准静态曲线趋势相似,均出现弹性、屈服、应变强化等阶段,曲线弹性段基本重合;在不同应变率下的整个拉伸过程中,其变形及断裂模式类似。与 Shunqiang Fu 等人^[16]的结果相比,曲线形式类似,验证了结果的可靠性;本文测量了材料中、低应变率结果,并测得材料完整应力—应变曲线。

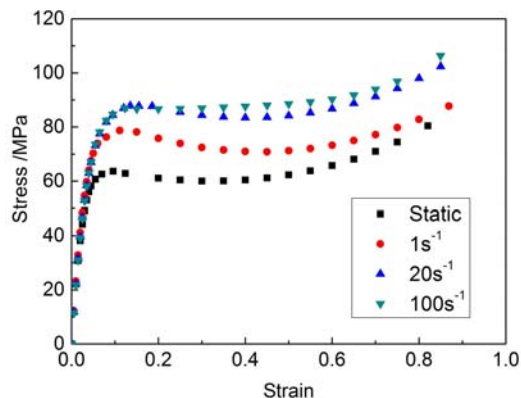


图 8 PC 材料不同应变率应力—应变曲线

Fig. 8 True stress-strain curves under different strain rates of PC

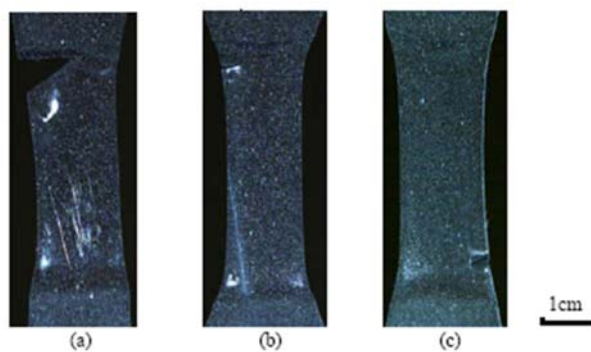


图 9 PC 不同应变率下断裂前瞬时图像:

(a) 1s^{-1} , (b) 20s^{-1} , (c) 100s^{-1}

Fig. 9 Instantaneous images before fracture under different strain rates of PC: (a) 1s^{-1} , (b) 20s^{-1} , (c) 100s^{-1}

PC 在拉伸初始阶段与一般塑料的冷拉现象类似;在应变约 5% 处发生屈服颈缩;随后逐渐扩展,材料进入扩散型颈缩阶段,应力保持基本稳定而应变不断增加,直到颈缩扩散完成,此时应变约为 60%;进一步拉伸,材料进入强化阶段,测试段进一步收缩,应力逐步升高,最大应变达到 80%~90%。

图 10 给出了 PC 材料不同应变率下的断裂应力及断裂应变,其完整曲线形式如图 8 所示,在动态加载条件下,材料表现出应变率敏感性,断裂应力随应变率升高而增大,而断裂应变上下波动且数值变化很小。在动态加载条件下 PC 材料表现为应力强化,抗冲击、吸能效果良好,强度较差,工程中适用于某些缓冲保护构件,不适用于承载、支撑结构。

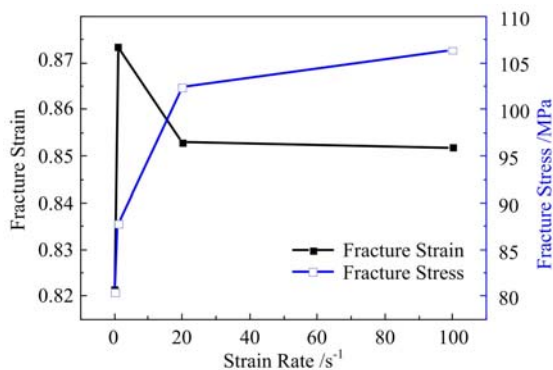


图 10 PC 材料不同应变率下断裂应力及应变

Fig. 10 Fracture stress and strain under different strain rates of PC

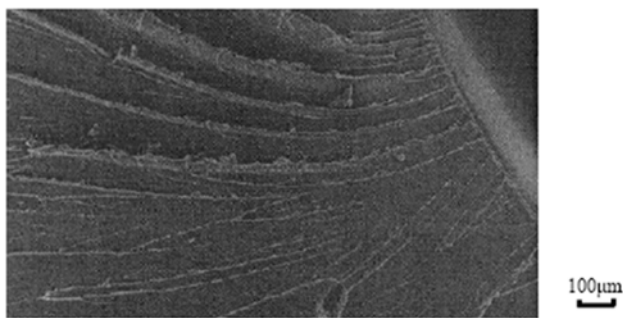


图 11 PC 材料 SEM 图像^[18]

Fig. 11 Scanning electron microscope (SEM) image of PC^[18]

PC 材料拉伸应力—应变曲线表现为嵌段共聚物及其相应均聚物组成的共混物所表现出来的一种特有的应变软化现象。在动态载荷作用下,材料在高应变率表现为玻璃态,低应变率表现为橡胶态,中应变率表现为转变区^[17]。

作为典型的应变诱发塑料—橡胶转变材料,图 11 为 PC 材料拉伸断面扫描电镜 (SEM) 图像^[18]。

拉伸前试样在亚微观上具有无规取向的交替层状结构,其中塑料相和橡胶相都呈连续相。连续塑料相的存在,使材料呈现塑料性质。拉伸过程,塑料相发生歪斜、曲折,并有部分破坏;随着应变进一步增大,塑料相完全破坏并分散在橡胶连续相的微区中,橡胶相成为唯一的连续相使材料呈现高弹性。

拉伸初始阶段材料内部受到阶跃应变作用,高分子链内的键角和键长立即发生变化,引起瞬时应力;一段时间后,卷曲的高分子链通过链段运动逐步舒张,高弹变形逐步增加,这和玻璃态到橡胶态的转变区对应;最终高分子链间发生相对滑移,整链发生运动。由于微观分子结构及排布发生变化的时间相对滞后于外界位移及载荷,导致了随着应变率升高,应力随之上升,表现为应变率升高后的玻璃态。断裂前,PC材料分子排布及结构随外界条件逐步变化,但仍有抵抗断裂的能力;断裂时,塑料相破坏,材料度过高弹性阶段,内部大分子沿拉伸方向排布并最终断裂;由于其内部分子排布及结构基本类似,导致不同应变率下断裂应变变化较小。

2.2 聚甲醛(POM)的动静态应力—应变曲线

图12为POM准静态拉伸应力—应变曲线,其表现为典型硬质脆性塑料力学行为。OP段为其弹性阶段,应力—应变曲线呈线性关系;之后材料进入塑性阶段,随后断裂。整个变形过程中没有明显的颈缩与扩散型颈缩阶段,其断裂应变仅为0.12,但弹性模量较大,约为PC的1.5倍。

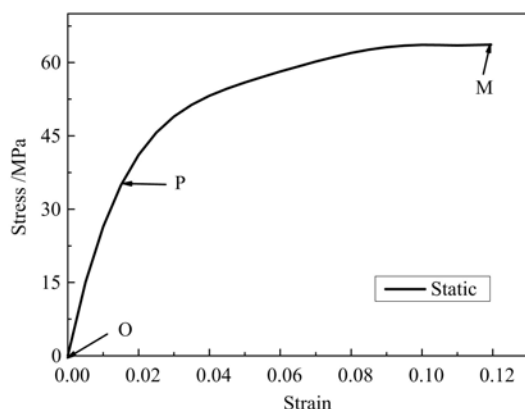


图12 POM准静态拉伸真应力—应变曲线

Fig. 12 Quasi static true stress-strain curve of POM

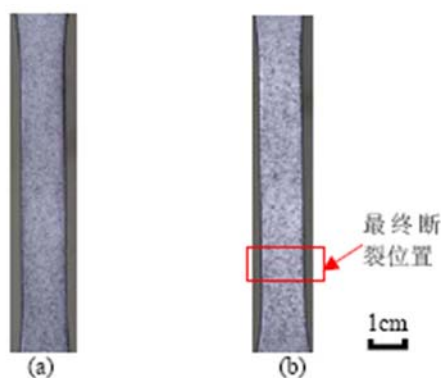


图13 POM拉伸前及断裂前图像:

(a)初始状态, (b)断裂前

Fig. 13 Initial image and pre fracture image of POM:

(a)Initial state, (b)Before fracture

图13为准静态拉伸试验中试件初始及断裂前图像,整个试验过程材料表现为完全脆性,没有发生颈缩现象;进入塑性阶段后,应力仍随应变增大而逐步增大,但增长速率明显放缓,随后发生脆性断裂。

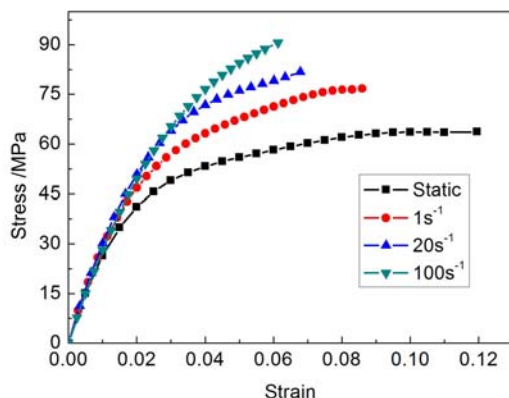


图14 POM材料不同应变率应力—应变曲线

Fig. 14 True stress-strain curves under different strain rates of POM

图14和图15为POM材料准静态、 $1s^{-1}$ 、 $20s^{-1}$ 、 $100s^{-1}$ 下的应力—应变曲线及不同动态应变率下

试件断裂前瞬时图像。POM 材料在不同动态应变率下,应力—应变曲线与准静态曲线类似,弹性阶段基本重合;但经过弹性阶段后,应变率越高,材料应力增长速率越大,表现出应力滞后现象;从动态试验断裂前图像可以看出,POM 材料表现为完全脆性,整个拉伸过程基本不发生颈缩现象。

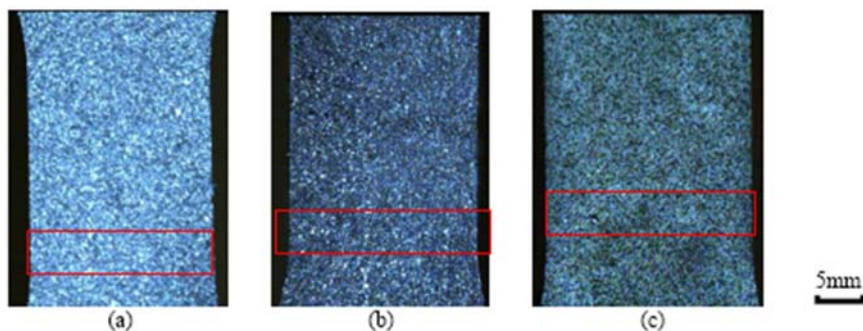


图 15 POM 不同应变率断裂前瞬时图像及断裂位置:(a) 1s^{-1} , (b) 20s^{-1} , (c) 100s^{-1}

Fig. 15 Instantaneous images before fracture and the fracture positions under different strain rates of POM:
(a) 1s^{-1} , (b) 20s^{-1} , (c) 100s^{-1}

图 16 给出了 POM 材料不同应变率下断裂应力及断裂应变的变化趋势。可以看出,POM 材料断裂应变随应变率升高而减小,断裂应力随应变率升高而增大,变化趋势稳定,但应变率上升到一定程度后,断裂应力和断裂应变变化速率减缓。动态加载条件下 POM 材料吸能效果与抗冲击能力较差,工程应用中需考虑其高强度、高脆性的特点,避免受到强冲击载荷作用。

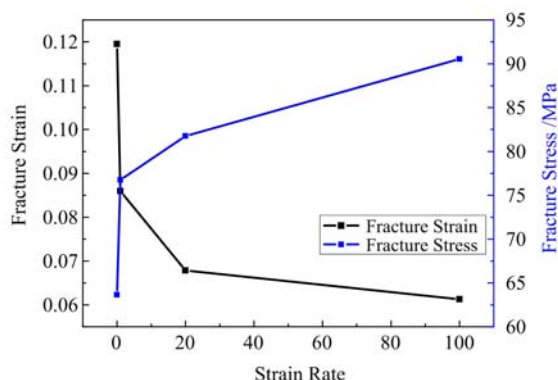


图 16 POM 材料不同应变率下断裂应力及应变

Fig. 16 Fracture stress and strain under different strain rates of POM

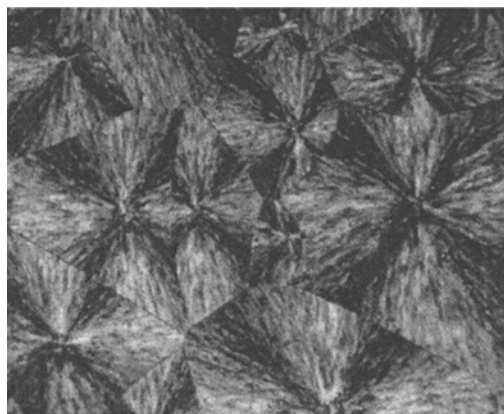


图 17 POM 材料偏光显微镜图像(放大倍数:200)^[19]

Fig. 17 Optical micrograph of POM
(magnification: 200)^[19]

POM 材料表现为以上的力学行为,主要原因是 POM 材料分子链比较规整,图 17 为其偏光显微镜图像^[19],可以看出内部球晶结晶后尺寸很大,因此 POM 材料具有较高的刚度和硬度。由于其较高的结晶度,其力学性能表现为明显的玻璃态,抵抗蠕变、应力松弛的能力提高,而塑性、冲击韧性降低。断裂过程微观表现为分子间键的断裂,外界加载条件达到其内部高分子间键的断裂能后,分子键断裂导致宏观材料突然断裂,几乎不发生颈缩现象。

正由于 POM 材料内部高结晶度导致大球晶的存在,当受到外界动态载荷时,其内部的大球晶产生应力集中现象,使其冲击强度下降。作为一种高结晶度材料,在不同应变率测试中,POM 表现出类似于金属材料的应力滞后现象,内部高分子在外载荷作用下基本没有滑移,断裂瞬时,高分子间键断裂,材料突然破坏。

3 结论

非金属材料力学特性范围极其广泛,不能采用统一本构模型描述。本文利用液压伺服动态加载设

备结合高速 DIC 系统,测量 PC 和 POM 两种材料动静态应力—应变曲线;参考微观结构图像,分析其动态加载条件下微结构变化。

(1) PC 材料在动态拉伸破坏过程中,材料断裂应力随应变率上升而增大,但断裂应变变化很小,在实际工程中,可采用 PC 作为某些缓冲部件的主要材料,尽可能吸收碰撞能量,减小撞击造成的损伤;

(2) POM 材料在动态拉伸破坏过程中,材料断裂应力随着应变率上升而增大,断裂应变减小,表现为明显的脆性,但其弹性模量约为 PC 的 1.5 倍,强度很高,适用于支架、卡扣等强度要求较高的构件,但应避免强冲击载荷作用;

(3) 非金属材料宏观力学行为与其微观结构紧密相关,不同的微观结构特性决定了其独特的力学特性,需从高分子链接方式、结晶方式、微结构等方面综合考虑材料设计、制备方法,以满足实际工程中的应用需求。

参考文献:

- [1] 胡文军,唐录成,张方举,等.聚碳酸酯冲击压缩的实验研究[J].高分子材料科学与工程,2006,22(6):165—168 (HU Wenjun, TANG Lucheng, ZHANG Fangju, et al. Experimental study of polycarbonate's impact compression[J]. Polymer Materials Science & Engineering, 2006, 22(6):165—168 (in Chinese))
- [2] Sato Y, Yoshida M, Nagayama K, et al. Stress-strain relationships of polycarbonate over a wide range of strain rate, including a shock wave regime[J]. International Journal of Impact Engineering, 2008, 35(12):1778—1783.
- [3] Al-Maliky N, Parry D J. Measurements of high strain rate properties of polymers using an expanding ring method [C]. 4th International Conference on Mechanical and Physical Behaviour of Materials under Dynamic Loading, 1994:71—76.
- [4] Robert Gerlach, Clive R Siviour, Nik Petrinic, et al. Experimental characterisation and constitutive modelling of RTM-6 resin under impact loading [J]. Polymer, 2008, 49(11):2728—2737.
- [5] Smith M A, Ellis-Davies G C, Magee J C. Mechanism of the distance-dependent scaling of schaffer collateral synapses in rat CA1 Pyramidal neurons[J]. Journal of Physiology. 2003, 548(1): 245—258.
- [6] 卢子兴,高镇同,田常津,等.两种增强泡沫塑料静动态力学性能的比较[J].北京航空航天大学学报,1996(3): 358—362 (LU Zixing, GAO Zhentong, TIAN Changjin, et al. Comparison of static and dynamic mechanical properties of two kinds of reinforced foam plastics [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 1996(3):358—362 (in Chinese))
- [7] 彭刚,冯家臣,胡时胜,等.纤维增强复合材料高应变率拉伸试验技术研究[J].实验力学,2004,19(2):136—143 (PENG Gang, FENG Jiachen, HU Shisheng, et al. High strain rate tensile testing of fiber reinforced composites[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2004, 19(2):136—143 (in Chinese))
- [8] 付顺强,汪洋,王宇.聚碳酸酯的高应变率拉伸实验[J].实验力学,2009,24(3):202—206 (FU Shunqiang, WANG Yang, WANG Yu. High strain rate tensile test of polycarbonate[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2009, 24(3):202—206 (in Chinese))
- [9] 吴恒毅,马钢,夏源明. PMMA 低、中应变率单向拉伸力学性能的实验研究[J].实验力学,2005,20(2):193—199 (WU Hengyi, MA Gang, XIA Yuanming. Experimental study on uniaxial tensile properties of PMMA at low and medium strain rates[J]. Journal of Experimental Mechanics, 2005, 20(2):193—199 (in Chinese))
- [10] Fitoussi J, Meraghni F, Jendli Z. Experimental methodology for high strain-rates tensile behaviour analysis of polymer matrix composites[J]. Composites Science and Technology, 2005, 65(14):2174—2188.
- [11] Shokrieh M M, Omid M J. Tension behavior of unidirectional glass/epoxy composites under different strain rates [J]. Composites Structures, 2009, 88(4):595—601.
- [12] 汪凯,夏勇,顾功尧,等.用于车身材料力学试验的非接触测量系统开发[J].汽车工程,2008,30(11):1006—1008 (WANG Kai, XIA Yong, GU Gongyao, et al. Development of noncontact measurement system for meechanic testing of car body materials[J]. Automotive Engineering, 2008, 30(11):1006—1008 (in Chinese))
- [13] 刘晨.基于概率有限元的大飞机运输工装夹具可靠性分析[D].天津大学,2010 (LIU Chen. Reliability analysis of large aircraft transport fixture based on probabilistic finite element method[D]. Tianjin University, 2010 (in Chinese))

- [14] 许睿. 随机云杉短纤维增强热塑性复合材料界面对拉伸行为的影响[D]. 天津大学, 2010 (XU Rui. Effect of interface on the tensile behavior of random spruce short fiber reinforced thermoplastic composites[D]. Tianjin University, 2010 (in Chinese))
- [15] 梁冬超. 实验与数值混合法研究植物短纤维复合材料的断裂与增韧行为[D]. 天津大学, 2012 (LIANG Dongchao. Experimental and numerical study on the fracture and toughening behavior of short fiber reinforced composites[D]. Tianjin University, 2012 (in Chinese))
- [16] Shunqiang Fu, Yang Wang, Yu Wang. Tension testing of polycarbonate at high strain rates[J]. Polymer Testing, 2009, 28(7):724–729.
- [17] 何曼君. 高分子物理[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2000 (HE Man jun. Polymer physics[M]. Shanghai: Fudan University Press, 2000 (in Chinese))
- [18] 陈春华. 聚碳酸酯纳米复合材料的制备与性能研究[D]. 太原理工大学, 2008 (CHEN Chunhua. Study on preparation and properties of polycarbonate nanocomposites[D]. Taiyuan University of Technology, 2008 (in Chinese))
- [19] 张丽娟. 耐热、高韧聚甲醛复合材料的制备及结构与性能研究[D]. 北京化工大学, 2012 (ZHANG Lijuan. Preparation of thermostabilization and high tenacity polyoxymethylene composites and study on structure and properties[D]. Beijing University of Chemical Technology, 2012 (in Chinese))

On the measurement of dynamic and static stress-strain curves of typical non-metallic materials

HUANG Ya-feng¹, SHEN Min¹, MENG Xian-ming²

(1. School of Mechanical Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;

2. China Automotive Technology & Research Center, Tianjin 300300, China)

Abstract: In order to measure dynamic and static tensile mechanical properties at low and medium strain rates of two kinds of engineering materials, including polycarbonate (PC) and Polyoxymethylene (POM), experimental study was carried out by using hydraulic servo loading equipment and digital image correlation method (DIC), and dynamic and static stress-strain curves were measured respectively. Results show that the fracture stress of PC material has a strong sensitivity to strain rate, which is suitable for application as energy absorbing component; both fracture stress and strain of POM materials are sensitive to strain rate, which is suitable for application as structural member. Combining with microstructure images, the microstructure change during tensile process was analyzed. It provides a microscopic explanation for macroscopic mechanical behavior of typical viscoelastic plastic materials (PC) and brittle materials (POM). The experimental curves presented in this paper may provide experimental data for numerical simulation of these kinds of materials.

Keywords: non-metallic material; dynamic tensile mechanical properties; microstructure; failure characteristics