

不同应变率下 PC,ABS 和 PC/ABS 合金拉伸变形行为研究*

尹征南¹, 王铁军²

(1. 上海大学;上海市应用数学和力学研究所;

上海市力学在能源工程中的应用重点实验室,上海 200072;

2. 西安交通大学 工程力学系;强度与振动教育部重点实验室,西安 710049)

(本刊编委王铁军来稿)

摘要: 采用实验方法研究了 PC(聚碳酸酯)、ABS(丙烯腈-丁二烯-苯乙烯)和 PC/ABS 合金(PC 与 ABS 共混率为 80:20,60:40,50:50 和 40:60),在不同应变率条件下的拉伸变形行为.采用 MTS-810 万能材料试验机和分离式 Hopkinson 拉杆实验系统分别进行了 PC,ABS 和 PC/ABS 合金室温条件下的准静态和冲击拉伸实验,得到了上述材料在不同应变率条件下的真应力-真应变曲线;通过对其变形特点的详细分析,讨论了应变率和 ABS 含量对拉伸变形的影响,并且给出了 $10^{-4} \text{ s}^{-1} \sim 10^3 \text{ s}^{-1}$ 应变率范围内屈服应力与应变率的线性关系式.

关键词: 高分子; PC/ABS 合金; SHTP; 应变率

中图分类号: O347.3 **文献标志码:** A

DOI: 10.3879/j.issn.1000-0887.2012.04.005

引 言

PC(聚碳酸酯)是一种性能优异的热塑性高分子材料,但是由于缺口敏感性和难于机械加工,PC 的应用受到很大限制.在 PC 中添加少量填充物(如聚烯烃、ABS 和 core-shell 橡胶等),可以大幅提高 PC 的力学和机械加工性能.由于组分匹配所产生的优良性能,PC/ABS 合金在诸如汽车等对韧性要求较高的行业中得到了广泛应用.因此,对 PC/ABS 合金变形行为的研究变得日益重要. Notomi 等^[1]采用实验方法研究了 PC/ABS 合金的准静态拉伸变形和断裂行为; Wang 等^[2]详细研究了三轴应力度对 PC,ABS 和 PC/ABS 合金变形与断裂行为的影响; Seelig 等^[3]采用数值方法研究了 PC/ABS 合金的局部塑性变形对应变率的依赖性; Fang 等^[4]采用三维位移测量系统实验研究了 PC/ABS 合金的大变形行为; Yin 等^[5]采用动态力学分析仪(DMA)和静态松弛实验研究了 PC,ABS 和 PC/ABS 合金的粘弹性变形行为; Yin 等^[6]采用分离式 Hopkinson 压杆(split Hopkinson pressure bar, SHPB)实验系统研究了 PC/ABS 合金在不同温度和应变率条件下的冲击压缩变形行为.

变形对温度和应变率的依赖性是高分子材料最重要的特性之一,MTS 万能材料试验机和

* 收稿日期: 2011-12-15; 修订日期: 2012-01-26

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(11142004);上海市重点学科建设基金资助项目(S30106)

作者简介: 尹征南(1975—),男,河南南阳人,博士(联系人. E-mail: znyin@shu.edu.cn).

分离式 Hopkinson 杆^[7-9] (split Hopkinson bar, SHB) 实验系统通常分别用来研究固体材料在较低 ($<10^{-3} \text{ s}^{-1}$) 和较高 ($>10^2 \text{ s}^{-1}$) 应变率条件下的压缩、拉伸和扭转变形。文献[6]曾采用分离式 Hopkinson 压杆实验系统研究了不同温度下 PC/ABS 合金的压缩变形行为,但是在 $10^{-4} \text{ s}^{-1} \sim 10^3 \text{ s}^{-1}$ 应变率范围内,PC/ABS 合金拉伸变形行为、应变率对屈服应力的影响以及屈服应力和应变率的关系至今未见文献报道。

本文拟采用 MTS-810 万能材料试验机和分离式 Hopkinson 拉杆 (split Hopkinson tension bar, SHTB) 实验系统,在室温下进行 PC, ABS 和 PC/ABS 合金 (80:20, 60:40, 50:50 和 40:60) 的准静态 (加载速度 1 mm/min) 和冲击 (应变率为 $6.0 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$, $1.2 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ 和 $2.2 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$) 拉伸实验。通过实验测量真应力-真应变曲线,并详细讨论应变率和 ABS 含量对变形行为和屈服应力的影响。

1 实 验

1.1 材料与试件

实验材料由日本合成橡胶公司 (Synthetic Rubber Co. Ltd., JSRC) 提供。其中, PC 分子量为 22 000, ABS 中橡胶含量为 18%。合金中 PC 与 ABS 的重量比分别为 80:20, 60:40, 50:50 和 40:60, 其橡胶含量 (wt%) 分别为 3.6, 7.2, 9.0 和 10.8, 橡胶颗粒均匀分布在 ABS 中。ABS 颗粒的直径大小在 200 nm 到 500 nm 之间, ABS 颗粒均匀分布在 PC/ABS 合金中。

准静态拉伸实验采用圆柱型哑铃试样, 试件尺寸如图 1(a) 所示。试件长度为 126 mm, 端部尺寸为 $\phi 12 \times 28 \text{ mm}$, 实验段尺寸为 $\phi 10 \times 70 \text{ mm}$, 端部与与实验段之间采用 R8 mm 圆弧过渡。为了将试件固定在 MTS-810 试验机中, 试件两端分别加工了左旋和右旋螺纹。试件由 15 mm 厚的板材加工而成。每种材料进行 5 次实验后取平均值以减小实验误差。

SHTB 实验采用圆柱型哑铃试样, 试件尺寸如图 1(b) 所示。试件长度为 32 mm, 端部尺寸 $\phi 8 \times 10 \text{ mm}$, 实验段尺寸 $\phi 5 \times 10 \text{ mm}$, 端部与实验段之间采用 R2.5 mm 圆弧过渡。实验段长度与直径之比为 2:1, 可以减小惯性的影响^[10]。为了将试件固定在 SHTB 系统中, 试件两端分别加工了左旋和右旋螺纹, 螺纹尺寸为 M8 \times 1 mm。试件由 15 mm 厚的板材加工而成。每种条件进行 3 次实验后取平均值以减小实验误差。

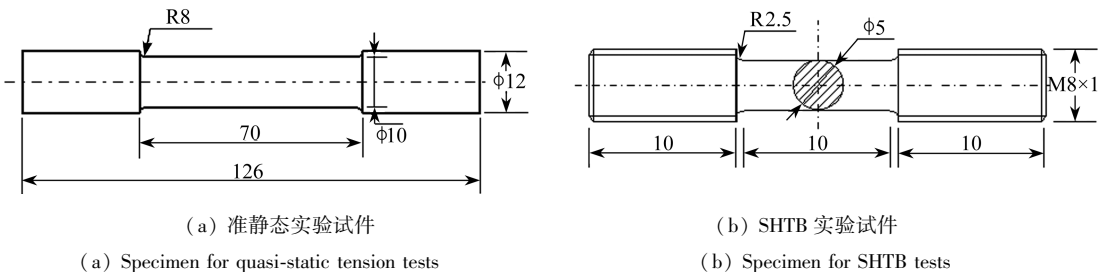


图 1 试件形状与尺寸

Fig. 1 Geometry and dimensions of specimens

1.2 准静态拉伸实验

准静态拉伸实验在 MTS-810 系统上进行。实验温度为室温 (约 300 K), 加载速率为 1 mm/min , 相应的应变率约为 10^{-4} s^{-1} 。实验采用两个引伸计来测量试件变形, 第 1 个引伸计与试件互相垂直, 用来测量试件径向变形; 第 2 个引伸计 (25 mm) 与试件互相平行, 用来测量试件轴向变形。试件的应力等于载荷除以试件最小截面积。

1.3 冲击拉伸实验

冲击拉伸实验在 SHTB 实验系统上进行, 实验应变率分别为 $6.0 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$, $1.2 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ 和 $2.2 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$. 圆柱形试件夹持在入射杆和透射杆之间, 驱动装置推动撞击管撞击入射杆, 试件被拉紧并且在高应变率下产生变形. 数据采集系统 (LDS-Nicolet-Odessey XE 型存储示波器) 通过标准数据分析软件 (Nicolet Odessey 3.10 版) 输出入射波、透射波和反射波电压信号, 以供计算需要.

应变率 $\dot{\varepsilon}(t)$, 工程应变 $\varepsilon(t)$ 和工程应力 $\sigma(t)$ 采用如下公式^[7]计算:

$$\dot{\varepsilon}(t) = \frac{2C}{l_0} \varepsilon_{re}(t), \quad (1a)$$

$$\varepsilon(t) = \frac{2C}{l_0} \int_0^t \varepsilon_{re}(\tau) d\tau, \quad (1b)$$

$$\sigma(t) = \frac{A}{A_0} Y \varepsilon_{tr}(t), \quad (1c)$$

其中, t 是时间, C 是入射杆和透射杆的弹性波速, A_0 和 l_0 是试件的初始截面面积和初始长度, A 是入射杆和透射杆的截面面积, Y 是入射杆和透射杆的弹性模量, $\varepsilon_{re}(t)$ 和 $\varepsilon_{tr}(t)$ 分别是实验系统输出的反射波和透射波电压信号. C , A_0 , l_0 , A 和 Y 的值分别是 5090 m/s , 19.3 mm^2 , 10.0 mm , 153.94 mm^2 和 76.0 GPa .

实际使用中, 通常还需要计算材料的真应力真应变关系. 真应力 $\Sigma(t)$ 与工程应力 $\sigma(t)$ 和真应变 $E(t)$ 与工程应变 $\varepsilon(t)$ 的关系^[11]如下:

$$E(t) = \ln[1 + \varepsilon(t)], \quad (2a)$$

$$\Sigma(t) = \sigma(t) [1 + \varepsilon(t)]. \quad (2b)$$

2 结果与讨论

2.1 PC, ABS 和 PC/ABS 合金的准静态拉伸变形行为

PC, ABS 和 PC/ABS 合金的准静态拉伸真应力 Σ -真应变 E 曲线 (取实验结果平均值) 如图 2 所示, 相应的拉伸特性如表 1 所示, 其中的屈服应力取 Σ - E 曲线峰值处的应力值^[12].

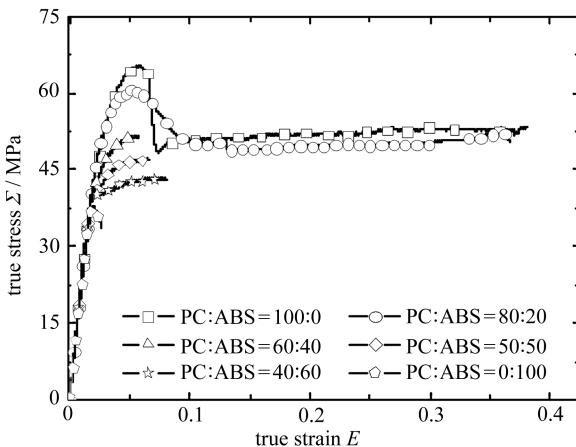


图2 PC, ABS 和 PC/ABS 合金准静态拉伸真应力 Σ -真应变 E 曲线

Fig. 2 Quasi-static tension true stress and true strain curves of PC, ABS and PC/ABS blends

由图 2 可以看出, 准静态拉伸曲线包括弹性段、双曲型屈服段和塑性冷拉变形 (或“颈缩”

扩展)段3部分.在ABS含量较低(<20%)时,屈服后的塑性变形导致了“颈缩”以及“颈缩”沿试件长度方向的扩展;在ABS含量较高(>20%)时,试件不出现“颈缩”现象.同时,屈服应力随ABS含量的提高而减小,相比于PC材料,PC/ABS合金和ABS的屈服应力值分别减小7%~32%和42%.对PC而言,所测得的弹性模量为2.34 GPa,该值与文献[13]中的数值吻合很好;对全部实验材料而言,弹性模量随ABS含量变化不大.

表1 PC,ABS和PC/ABS合金的准静态拉伸特性

Table 1 Tension properties of PC, ABS and PC/ABS blends under quasi-static loading

PC/ABS	Σ_y /MPa	E_y /%	elastic modulus Y /GPa
100:0	65.067	5.7	2.34
80:20	60.799	5.1	2.45
60:40	51.532	5.5	2.42
50:50	47.874	5.7	2.37
40:60	43.792	7.1	2.36
0:100	37.132	2.1	2.25

作为一种韧性玻璃态高分子材料,PC在应变约为5%处发生屈服,在应变约为7%处开始出现“颈缩”,“颈缩”扩展一直持续到应变约为40%处,在7%~40%应变范围内其应力值基本保持不变.PC/ABS(80/20)合金在应变约为5%处发生屈服,在应变约为10%处出现“颈缩”,“颈缩”扩展一直持续到应变约为37%处.相比于PC材料,80/20合金屈服点与“颈缩”段之间的应力过渡更加平缓.对60/40,50/50和40/60合金而言,由于试件断裂,实验曲线不出现明显的“颈缩”段,相应的断裂应变分别为5.2%,6.5%和8.1%;虽然其屈服应力随ABS含量增加而减小,但是断裂应变随ABS含量增加而增大,同时其双曲屈服段随ABS含量提高而越来越平缓.对ABS材料,屈服发生在较小应变(2.3%)处,其后应力快速下降.

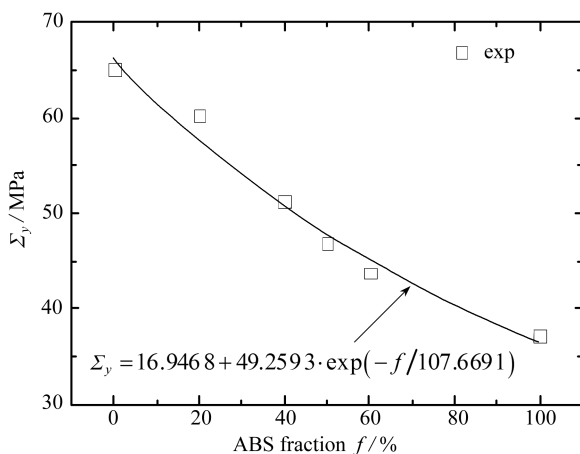


图3 ABS含量对PC,ABS和PC/ABS合金准静态拉伸屈服应力的影响

Fig. 3 Effect of ABS fraction on yielding stress of PC, ABS and PC/ABS blends under quasi-static tension loading

试验观测表明^[2-3],银纹是PC,ABS和PC/ABS合金主要的塑性变形机理,大量的微小银纹总是出现在相与相的交界处或薄弱界面处,且总体上与拉伸方向垂直.分子链运动贯穿PC,ABS和PC/ABS合金的整个变形过程,分子链运动特征是材料宏观变形特点的微观根源.在初始弹性阶段,PC,ABS和PC/ABS合金中分子链处于“停滞”状态,故各种材料弹性模量相差不大;在弹性变形阶段后期,当材料内薄弱界面上的局部应力达到某一临界值时,高分子链开始

滑动或转动,当大多数高分子链开始滑动或转动时,宏观上表现为高分子材料的屈服.高分子链开始滑动前分子链间的摩擦力为静摩擦力,高分子链开始滑动后分子链间的摩擦力为动摩擦力,因为动摩擦力小于静摩擦力,所以屈服后应力会出现一定程度的下降,即软化.对 PC, ABS 和 PC/ABS 合金而言,ABS 含量增加引起材料内薄弱界面处局部应力的临界值降低,故屈服应力随之减小.在塑性变形过程,一部分分子链先被拉直,分子链间的滑动受到阻碍,当拉伸载荷超过被拉直分子链所能承受的载荷时,这部分分子链发生断裂.对 PC 和 80/20 合金而言,分子链的滑动、分子链的拉直和分子链的断裂同时存在且其比率基本保持不变,所以材料在宏观上表现出较长的平台应力段;对 60/40,50/50 和 40/60 合金而言,分子链滑动和拉直的比率较低,所以不出现平台应力段;对 ABS 材料而言,没有分子链滑动和拉直阶段,所以材料屈服后很快发生断裂.

表 1 所列的准静态拉伸屈服应力 Σ_y 值如图 3 所示.由图 3 可以看出,屈服应力 Σ_y 随 ABS 含量增加而明显减小,屈服应力 Σ_y 与 ABS 含量之间近似满足如下关系:

$$\Sigma_y = 16.9468 + 49.2593 \cdot \exp(-f/107.6691), \quad (3)$$

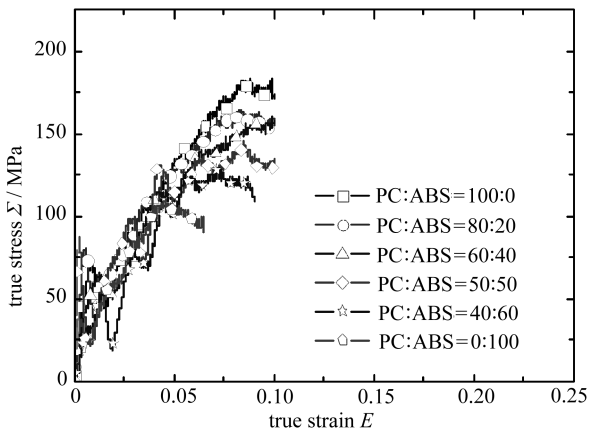
其中, f 是 ABS 含量.

2.2 PC,ABS 和 PC/ABS 合金的冲击拉伸变形行为

由反射波和透射波电压信号以及式(1)和式(2),可以得到 $6.0 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$, $1.2 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ 和 $2.2 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ 应变率条件下 PC,ABS 和 PC/ABS 合金的拉伸真应力 Σ -真应变 E 曲线(如图 4 所示,图中取实验结果平均值).由图 4 可以看出,冲击拉伸变形曲线包含大变形曲线的主要特征段,即初始线性弹性段、非线性屈服段、应变软化段、应变硬化段以及后续再软化段.

在图 4 中,冲击拉伸变形曲线上的屈服应力值约为准静态拉伸屈服应力值的 1.5 ~ 2.0 倍,并且应变率和 ABS 含量对 Σ - E 曲线有很大的影响.PC,ABS 和 PC/ABS 合金的屈服应力随应变率的增加而增大,这主要是由于应变率的增大会使聚合物分子链拉紧从而降低分子链的运动活性^[6].在较高应变率(如 $1.2 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ 和 $2.2 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$)条件下,应变硬化率(应力-应变曲线斜率)随应变率增加而增大,相应的应变硬化和应变软化范围也随之不同.

在冲击拉伸实验中^[14],大量的银纹仍然会出现在相与相的交界处或薄弱界面处,且总体上与拉伸方向垂直;分子链运动贯穿 PC,ABS 和 PC/ABS 合金的整个变形过程,是材料宏观变



(a) $6.0 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$ 应变率

(a) $6.0 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$ strain rate

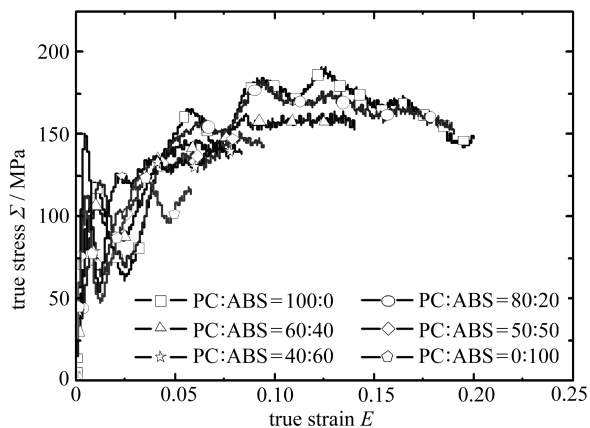
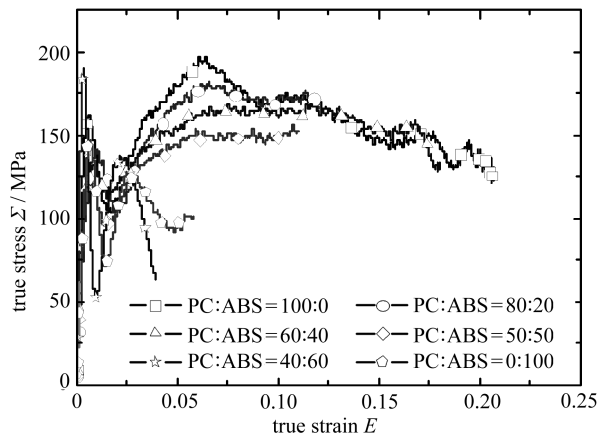
(b) $1.2 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ 应变率(b) $1.2 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ strain rate(c) $2.2 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ 应变率(c) $2.2 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ strain rate图 4 PC, ABS 和 PC/ABS 合金冲击拉伸真应力 Σ - 真应变 E 曲线

Fig. 4 True stress and true strain curves of PC, ABS and PC/ABS blends under impact tension loading

形特点的微观解释. 在初始弹性阶段, PC, ABS 和 PC/ABS 合金中分子链处于“停滞”状态, 故各种材料弹性模量变化不大; 在弹性变形阶段后期, 当多数高分子链开始滑动或转动时, 宏观上表现为高分子材料的屈服; 高分子链开始滑动前分子链间的摩擦力为静摩擦, 高分子链开始滑动后分子链间的摩擦力为动摩擦, 动摩擦力总是小于静摩擦力, 所以材料屈服后应力会出现一定程度的下降, 即软化; 随着高分子链的滑动, 一些高分子链被拉直, 后继变形必须克服这些被拉直的高分子链的作用, 因而应力开始升高, 宏观上表现为高分子材料的强化. 在塑性变形过程, 其中一部分分子链先被拉直, 分子链间的滑动受到阻碍, 当拉伸载荷超过该部分分子链所能承受的载荷时, 这部分分子链即被拉断; 应变率增加使得分子链活性降低, 分子链间的滑动速率增加, 分子链间的滑动需要克服 van der Waals 力以及滑动摩擦力等, 增加滑动速率必须增加应力以克服分子链间的滑动阻力, 从而使得屈服应力随应变率的增加而增大; 应变率的增加还会使得单个分子链的解缠能力增加, 同时使得单个分子链断裂的几率增加, 这样使试样断裂时所剩余的承载分子链的总数减少. 总之, 随着应变率的增加, 单个分子链的断裂几率

增加,最后剩余的完整分子链的总数减少,这就使得高分子材料断裂前被拉直和拉断的分子链的总数增加,也就使得最终断裂应变减小。

从真应力-真应变曲线可以得到表 2 所列的屈服应力 Σ_y 值。由表 2 可以看出,在 $6.0 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$ 应变率条件下,当 ABS 含量 $f < 50\%$ 时,屈服应力 Σ_y 随应变率增加而缓慢增大;当 ABS 含量 $f > 50\%$ 时,屈服应力 Σ_y 随应变率增加而快速增大。在 $1.2 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ 和 $2.2 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$ 应变率条件下,当 ABS 含量 $f < 50\%$ 时,屈服应力 Σ_y 随应变率增加而缓慢增大;当 ABS 含量介于 50% 与 60% 之间时,屈服应力 Σ_y 随应变率增加而快速增大;当 ABS 含量 $f > 60\%$ 时,屈服应力 Σ_y 随应变率增加而减小。

表 2 冲击拉伸条件下 PC,ABS 和 PC/ABS 合金的屈服应力 Σ_y 值

Table 2 Values of the yield stress of PC, ABS and PC/ABS blends under impact tension loading

PC/ABS	$6.0 \times 10^2 \text{ s}^{-1}$	$1.2 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$	$2.2 \times 10^3 \text{ s}^{-1}$
100:0	55.064 7	95.687 1	129.459 1
80:20	51.688 3	96.920 1	112.935 7
60:40	52.063 2	86.292 9	106.274 9
50:50	59.152 1	88.877 2	99.116 9
40:60	42.251 5	118.055 7	149.818 1
0:100	29.476 6	81.719 3	116.514 6

2.3 应变率对 PC,ABS 和 PC/ABS 合金屈服应力的影响

针对 PC,ABS 和 PC/ABS 合金在 10^2 s^{-1} 到 10^4 s^{-1} 应变率条件下的冲击压缩变形, Yin 等^[6] 曾提出过一个线性关系来描述 Σ_y/T 和 $\lg(\dot{E}/\dot{E}_0)$ (\dot{E}_0 是参考应变率)之间的关系。结合表 1 和表 2 的结果可以看出,当 $\dot{E} < 10^2 \text{ s}^{-1}$ 时, Σ_y/T 的值随应变率增加变化不大;当 $\dot{E} \geq 10^2 \text{ s}^{-1}$ 时, Σ_y/T 的值随应变率增加而快速增大。Mulliken 等^[15] 在 PC 和 PMMA 材料实验中发现了相同的规律,其转换应变率分别为 150 s^{-1} 和 100 s^{-1} ; 此转换应变率称之为高分子材料的 β 相变门槛值,如果应变率超过此门槛值,高分子链运动所需克服的阻力将大大增加。Ree 等^[16] 指出,在 高分子材料中, β 相变也会随温度变化而出现,提高应变率和降低温度对分子链运动阻力的影响是相同的。

在本文所讨论的应变率范围 ($10^{-4} \text{ s}^{-1} \sim 10^3 \text{ s}^{-1}$) 内,前述 Σ_y/T 和 $\lg(\dot{E}/\dot{E}_0)$ 之间的线性关系式^[6] 显然不再适用。因此,此处采用下述方程来描述 Σ_y/Σ_0 和 \dot{E}/\dot{E}_0 之间的关系:

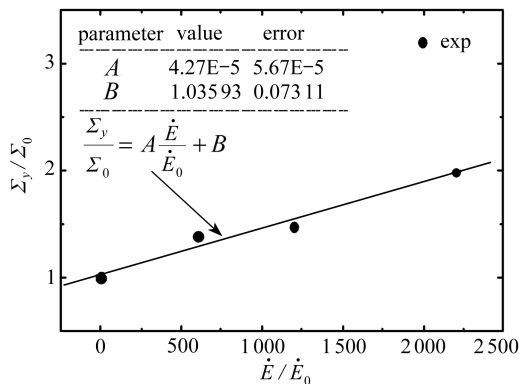
$$\frac{\Sigma_y}{\Sigma_0} = A + B \frac{\dot{E}}{\dot{E}_0}, \quad (4)$$

其中, Σ_0 是准静态拉伸屈服应力值, A 和 B 是材料常数。为不失一般性,取 $\dot{E}_0 = 1 \text{ s}^{-1}$ 。式(4)中 A 和 B 的值如表 3 所列。

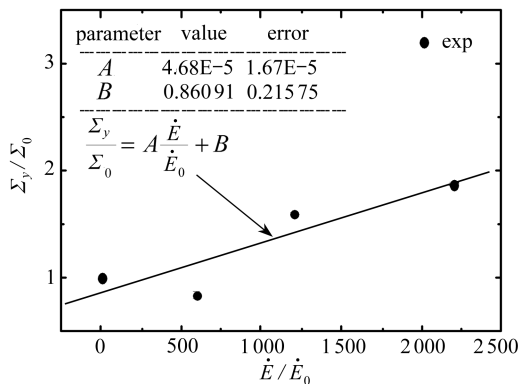
表 3 式(4)的参数值

Table 3 Values of the parameters in eq. (4)

PC/ABS	A	B
100:0	4.26E-05	1.035 93
80:20	4.68E-05	0.860 91
60:40	5.38E-05	0.901 24
50:50	5.35E-04	1.033 33
40:60	1.23E-03	0.786 13
0:100	1.09E-03	0.689 16

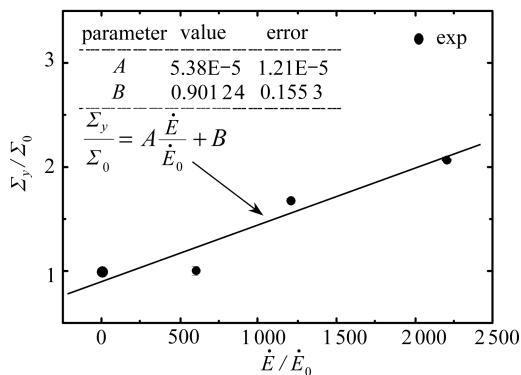


(a) PC :ABS=100:0



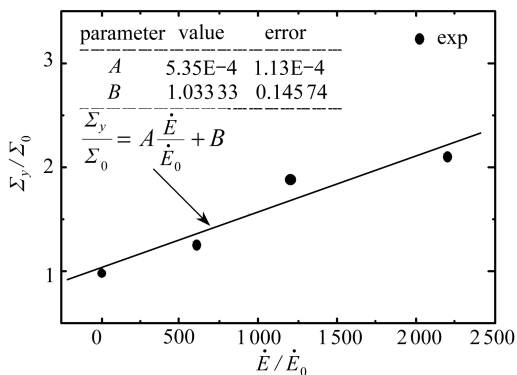
(b) PC :ABS=80:20 合金

(b) PC :ABS=80:20 blend



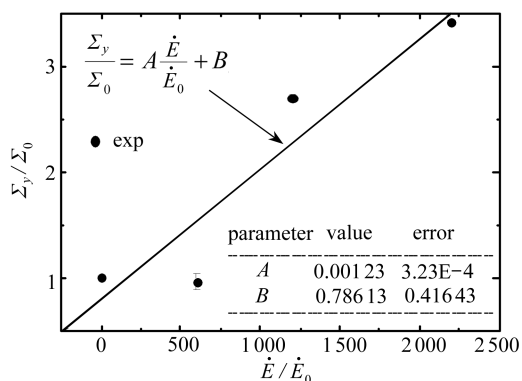
(c) PC :ABS=60:40 合金

(c) PC :ABS=60:40 blend



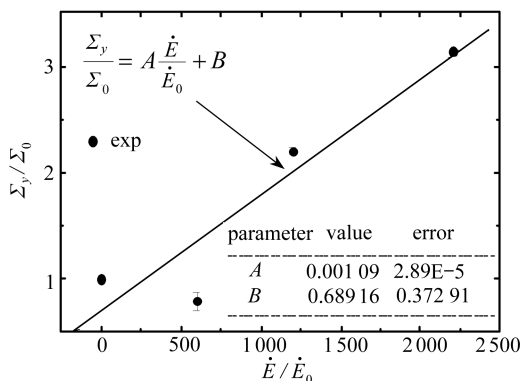
(d) PC :ABS=50:50 合金

(d) PC :ABS=50:50 blend



(e) PC :ABS=40:60 合金

(e) PC :ABS=40:60 blend



(f) PC :ABS=0:100

图5 应变率对 PC、ABS 和 PC/ABS 合金屈服应力的影响

Fig.5 Effect of strain rate on the yielding stress of PC, ABS and PC/ABS blends

对 PC、ABS 和 PC/ABS 合金,式(4)所预测的 $\frac{\Sigma_y}{\Sigma_0} \sim \frac{\dot{E}}{\dot{E}_0}$ 曲线如图 5 所示,图中所列误差为参数拟合的标准差。从图 5 可以看出,式(4)能够比较准确地拟合 10^{-4} s^{-1} 到 10^3 s^{-1} 应变率

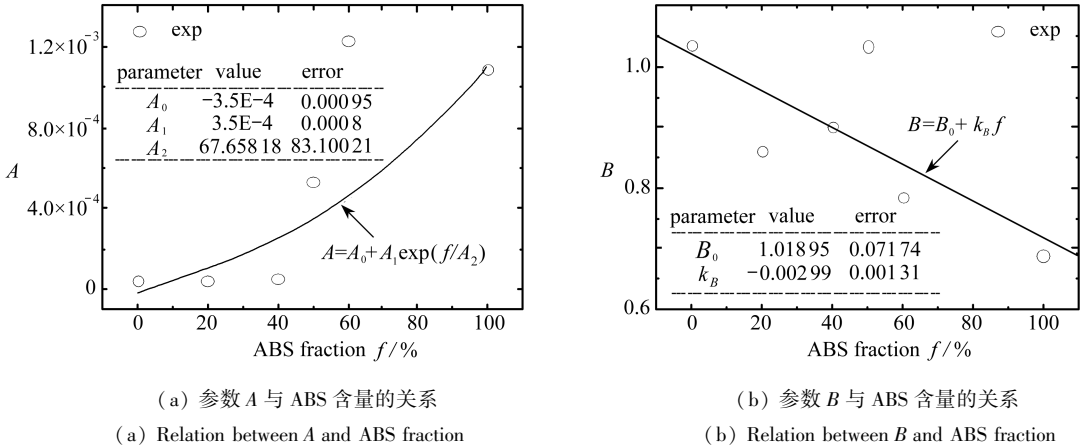


图6 参数 A 和 B 与 ABS 含量的关系
Fig. 6 The relationship between A and B and ABS fraction

范围内, PC、ABS 和 PC/ABS 合金的屈服应力与应变率之间的关系。

更进一步, 参数 A 和 B 与 ABS 含量的关系如图 6 所示。从图 6 可以看出, 参数 A 随 ABS 含量的增加而增大, 两者近似符合指数函数关系; 参数 B 随 ABS 含量的增加而减小, 两者近似符合线性函数关系。

3 结 论

本文研究了室温情况下 PC、ABS 和 PC/ABS 合金在不同应变率条件下的拉伸变形行为, 得到了具有明显应变率相关性特征的真应力-真应变曲线, 详细讨论了应变率和 ABS 含量对屈服应力的影响, 同时提出了一个描述屈服应力和应变率关系的线性模型。在 10^{-4} s^{-1} 到 10^3 s^{-1} 应变率范围内, 该模型的预测结果与实验结果吻合较好。

致谢 本文得到了上海大学科技创新基金资助, 特此感谢。

参考文献 (References) :

- [1] Notomi M, Kishimoto K, Wang T J, Shibuya T. Tensile and fracture behavior of PC/ABS alloy[J]. *Key Eng Mater*, 2000, **183**(1): 779-784.
- [2] Wang T J, Kishimoto K, Notomi M. Effect of triaxial stress constraint on the deformation and fracture of polymers[J]. *Acta Mech Sin*, 2002, **18**(5): 480-493.
- [3] Seelig T, van der Giessen E. Localized plastic deformation in ternary polymer blends[J]. *Int J Solid Struct*, 2002, **39**(13/14): 3505-3522.
- [4] Fang Q Z, Wang T J, Li H M. Large tensile deformation behavior of PC/ABS alloy[J]. *Polymer*, 2006, **47**(14): 5174-5181.
- [5] Yin Z N, Fan L F, Wang T J. Experimental investigation of the viscoelastic deformation of PC, ABS and PC/ABS alloys[J]. *Mater Lett*, 2008, **62**(17/18): 2750-2753.
- [6] Yin Z N, Wang T J. Deformation of PC/ABS alloys at elevated temperatures and high strain rates[J]. *Mater Sci Eng A*, 2008, **494**(1/2): 304-313.
- [7] Kolsky H. An investigation of the mechanical properties of materials at very high rates of loading[J]. *Proc Phys Soc*, 1949, B(62): 676-700.
- [8] Harding J, Wood E O, Campbell J D. Tensile testing of materials at impact rates of strain

- [J]. *J Mech Eng Sci*, 1960, **2**(1): 88-96.
- [9] Duffy J, Campbell J D, Hawley R H. On the use of a torsional split Hopkinson bar to study rate effects in 1100-O Aluminium[J]. *ASME J Appl Mech*, 1971, **38**(1): 83-91.
- [10] Davies E, Hunter S. The dynamic compression testing of solids by the method of split Hopkinson pressure bar[J]. *J Mech Phys Sol*, 1963, **11**(3): 157-179.
- [11] Arriaga A, Lazkano J M, Pagaldai R, Zadua A M, Hernandez R, Atxurra R, Chrysostomou A. Finite-element analysis of quasi-static characterization tests in thermoplastic materials: experimental and numerical analysis results correlation with ANSYS[J]. *Polym Test*, 2007, **26**(3): 284-305.
- [12] Yoshida F, Kaneda Y, Yamamoto S. A plasticity model describing yield-point phenomena of steels and its application to FE simulation of temper rolling[J]. *Int J Plast*, 2008, **24**(10): 1792-1818.
- [13] Lu J, Ravi-Chandar K. Inelastic deformation and localization in polycarbonate under tension [J]. *Int J Sol Struct*, 1999, **36**(3): 391-425.
- [14] Li Z M, Qian Z Q, Yang M B, Wei Y, Xie B H, Rui H. Anisotropic microstructure- impact fracture behavior relationship of polycarbonate/polyethylene blends injection-molded at different temperatures[J]. *Polymer*, 2005, **46**(23): 10466-10477.
- [15] Mulliken A D, Boyce M C. Mechanics of the rate-dependent elastic plastic deformation of glassy polymers from low to high strain rates[J]. *Int J Sol Struct*, 2006, **43**(5): 1331-1356.
- [16] Ree T, Eyring H. Theory for non-Newtonian flow— I : solid plastic system[J]. *J Appl Phys*, 1955, **26**(7): 793-800.

Investigation of Tensile Deformation Behavior of PC, ABS and PC/ABS Blends From Low to High Strain Rates

YIN Zheng-nan¹, WANG Tie-jun²

- (1. *Shanghai Institute of Applied Mathematics and Mechanics, Shanghai Key Laboratory of Mechanics in Energy Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, P. R. China*;
2. *MOE Key Laboratory for Strength and Vibration, Department of Engineering Mechanics, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 71004, P. R. China*)

Abstract: The objective is to experimentally study the tensile deformation behavior of the polycarbonate (PC), acrylonitrile-butadiene-styrene (ABS) and PC/ABS blends (with the blending ratio of PC to ABS being 80:20, 60:40, 50:50 and 40:60) from low to high strain rates. Using universal MTS-810 machine and split Hopkinson Tension bar (SHTB) testing system, the quasi-static and impact tension tests were carried out at room temperature. The curves of true stress and true strain were obtained and the deformation behavior of PC, ABS and PC/ABS blends were characterized in detail. And the effects of strain rate on the yield stress from low to high strain rates were described with a linear relationship.

Key words: polymer; PC/ABS blend; SHTP; stain rate