

聚碳酸酯透明板材的高温力学行为实验研究

Experimental Study on Mechanical Behavior of Polycarbonate at High Temperature

颜悦¹, 王晓丽¹, 张官理¹, 胡平², 刘海鹏²

(1 北京航空材料研究院, 北京 100095;

2 吉林大学 汽车动态模拟国家重点实验室车身与模具工程研究所, 长春 130025)

YAN Yue¹, WANG Xiao-li¹, ZHANG Guan-li¹, HU Ping², LIU Hai-peng²

(1 Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China;

2 Institute of Auto-body and Die Engineering in State Key Lab of Automobile Dynamic Simulation, Jilin University, Changchun 130025, China)

摘要: 在温度为 175~200 °C、应变率为 0.001~0.1 s⁻¹ 的范围内通过 Meissner 新型拉伸流变仪对聚碳酸酯进行了恒应变率下的高温单轴拉伸实验。结果表明: 聚碳酸酯的高温力学行为具有明显的温度效应和应变率效应, 其真应力-真应变曲线存在明显的非线性。

关键词: 聚碳酸酯; 高温拉伸实验; Meissner 新型拉伸流变仪

中图分类号: TB32 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381 (2005) 08-0007-03

Abstract: Uniaxial tensile tests for polycarbonate at high temperature were performed on the newest type of Meissner rheometer. Tests were conducted for constant strain rates varying from 0.001 s⁻¹ to 0.1 s⁻¹, at the temperature varying from 150 °C to 200 °C. The results showed that the mechanical behavior of polycarbonate was obviously affected by the strain rate and temperatures, and its true stress-true strain curves exhibited nonlinear characteristics.

Key words: polycarbonate; tensile test at high temperature; newest type of Meissner rheometer

随着计算技术的高度发展, 透明件的研制步入了有限元分析计算、数值模拟以及数控加工时代。耐热性、抗冲击性、透光性等关键性能优异的聚碳酸酯透明材料已经成为现代高性能航空座舱透明件的主要选材, 其成形过程的虚拟仿真计算关键是对聚碳酸酯建立一个正确的材料模型。处在玻璃化温度以上、低应变率、受拉力为主是聚碳酸酯成形时的主要特点^[1], 合适的材料模型应是建立在聚碳酸酯高温下低应变率拉伸变形力学行为实验研究的基础上, 而在这一条件下对聚碳酸酯进行的研究还比较欠缺。本研究根据聚碳酸酯的成形特点进行了力学实验, 并分析了其力学行为。

1 真应力-真应变实验

单轴的拉伸实验被广泛应用于获得高聚物材料的力学性能。传统的拉伸试验仪器用于高温下高聚物材料力学行为的研究存在明显的不足。第一, 高温下高聚物对夹持力敏感, 材料在夹持区域可能被压扁或由于夹持部位的应力集中而被破坏。第二, 传统的拉伸机是以恒拉伸速度操作的, 拉伸过程中真应变率是

不断变化的, 因此很难正确地评价应变率的影响。

本研究应用的带有旋转夹具的 Meissner 拉伸流变仪克服了以上缺点, 其核心部分如图 1^[2]所示。其工作原理特点是: 带有两旋转夹具, 每一个夹具都有上下两个由钛制成的带状装置, 带状装置上嵌有由金属薄片制成的运输带, 金属薄片具有深冲压形成的粗糙表面, 粗糙的表面使高聚物试样很好的粘在金属薄片上, 从而保证了运输带到试样有良好的速度传递。当把高聚物放入流变仪时, 两夹具间的试样由惰性气体

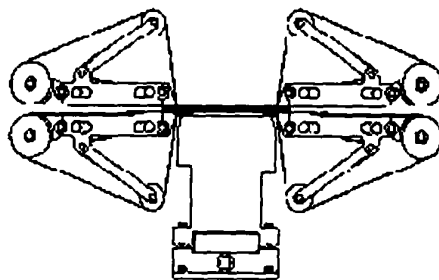


图 1 Meissner 流变拉伸仪的核心部分

Fig. 1 Kernel part of the newest type of Meissner rheometer

垫支撑, 气体垫中的气体量和气体压力可以被准确、稳定地调节, 确保了试样不被吹歪。左右两个夹具之间距离固定, 并以相反的方向旋转, 因此试样传递出拉伸区域时, 位于两夹具间的试样被均匀的拉伸。如果夹具的旋转速度保持恒定, 真应变率就保持恒定。同时 Meissner 拉伸流变仪有录像系统可以适时监控试样的变形情况, 因为在变形过程中由于试样不正确的放置或试样准备时的一些缺陷会导致不均匀的变形。

应用 Meissner 拉伸流变仪能得到恒应变率下的真应力、真应变关系。假设试样的变形是均匀的, t 时刻的拉伸应力由式 (1) 确定:

$$\sigma(t) = F(t) / A(t) \quad (1)$$

式中: $F(t)$ 是 t 时刻的拉伸力; $A(t)$ 是高聚物试样在 t 时刻的横截面积。

对于恒定的应变速率 ϵ , 假设其拉伸过程中体积不变, 则 $A(t)$ 与试样初始横截面积 A_0 的关系为:

$$A(t) = A_0 \exp(-\epsilon t) \quad (2)$$

则拉伸真应力为:

$$\sigma(t) = F(t) \exp(\epsilon t) / A_0 \quad (3)$$

2 实验结果

对聚碳酸酯进行应变率范围为 $0.001 \sim 0.1 \text{ s}^{-1}$ 、温度范围 $175 \sim 200$ 的拉伸实验, 得到了不同温度下不同应变率的真应力-真应变曲线。

2.1 同一温度下不同应变率的真应力-真应变曲线

图 2 为 $175, 180, 185, 190, 195, 200$ 下不同应变率的真应力-真应变曲线。在 175 和 180 下应

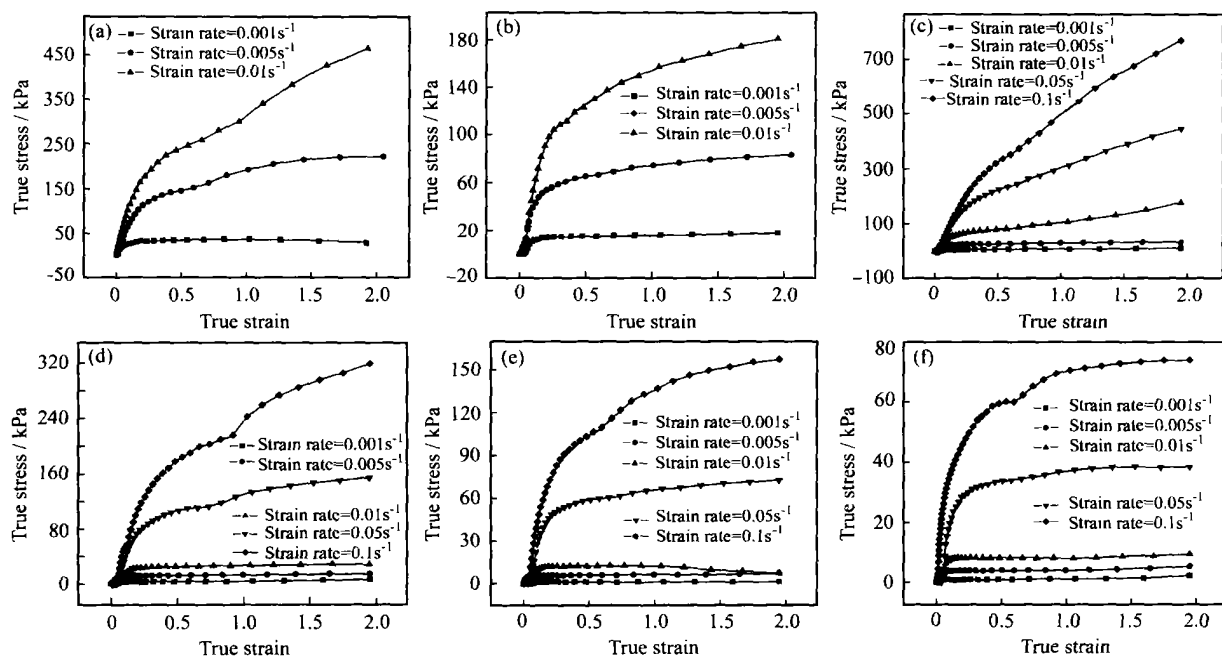


图 2 同一温度下不同应变率的真应力-真应变曲线

Fig. 2 True stress-true strain relations for polycarbonate at various strain rate at the same temperature

(a) $T = 175$; (b) $T = 180$; (c) $T = 185$; (d) $T = 190$; (e) $T = 195$; (f) $T = 200$

变率为 $0.05, 0.1 \text{ s}^{-1}$ 时拉伸力值超出仪器量程而无法测量, 所以在图 2a, b 中未给出其实验数据。在实验的应变范围内, 试样拉伸均未发生断裂。

2.2 同一应变率下不同温度的真应力-真应变曲线

图 3 是应变率为 $0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1 \text{ s}^{-1}$ 的不同温度下的真应力-真应变曲线。

2.3 弹性模量与温度、应变率的关系

由真应力-真应变曲线的直线部分可以确定高温下聚碳酸酯的弹性模量^[2,3], 图 4, 5 分别是弹性模量与温度、弹性温度与应变率的关系图。

3 结果分析

由图 2 可以看出, 高温下聚碳酸酯的真应力-真应变曲线总的变化趋势相似, 在应变较小时真应力-真应变呈线性, 符合虎克定律, 然后表现出明显的非线性, 但不存在弹性与塑性间明确的分界点, 即曲线没有明显的屈服点, 只看到曲线上有较大弯曲部分。

3.1 应变率、温度对聚碳酸酯拉伸力学性能的影响

3.1.1 应变率的影响

由图 2 同一温度下不同应变率的真应力-真应变

曲线可以看出, 应变率对高温下聚碳酸酯的真应力-真应变曲线影响很大, 应变率的变化范围并不大, 却

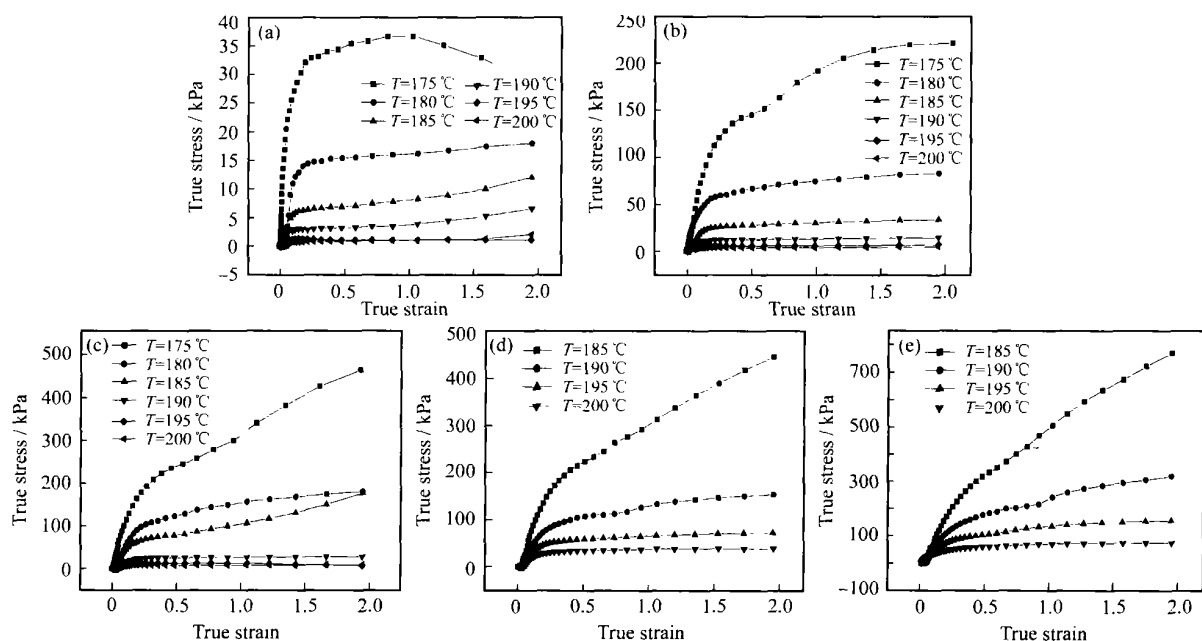


图3 同一应变率下不同温度的真应力-真应变曲线

Fig. 3 True stress-true strain relations for polycarbonate at different temperature at the same strain rate

(a) strain rate = 0.001s^{-1} ; (b) strain rate = 0.005s^{-1} ; (c) strain rate = 0.01s^{-1} ; (d) strain rate = 0.05s^{-1} ; (e) strain rate = 0.1s^{-1}

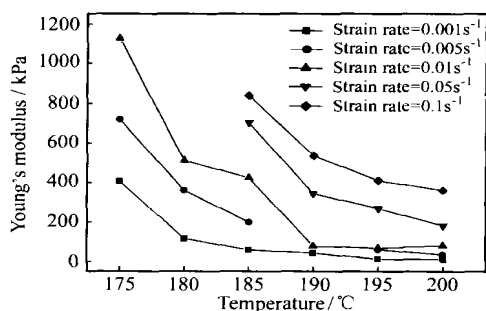


图4 同一应变率下弹性模量与温度的关系

Fig. 4 Young's modulus vs temperatures at the same strain rate

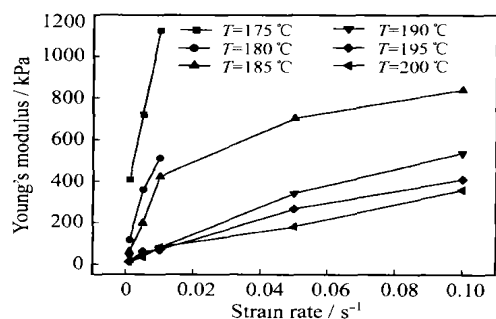


图5 同一温度下弹性模量与应变率的关系

Fig. 5 Young's modulus vs strain rate at the same temperature

使曲线发生了较大的改变。

由实验测得不同应变率与弹性模量的关系 (见图4)。结果显示, 在同一温度下高温聚碳酸酯的弹性模量随应变率的增大而增大, 且在稍低的温度如 175 时改变应变率, 弹性模量的变化更显著, 175 应变率 0.01s^{-1} 的弹性模量是 0.005s^{-1} 的 1.6 倍, 是 0.001s^{-1} 的 2.8 倍, 差值分别是 400kPa 和 700kPa。

3.1.2 温度的影响

由实验测得同一应变率下不同温度的真应力-真应变曲线 (见图 3)。结果显示, 高温聚碳酸酯的真应力-真应变曲线受温度的影响也非常明显。但不同的应变率下, 温度的影响情况不同, 如在低应变率 $0.001, 0.005, 0.01\text{s}^{-1}$ 下 190, 195, 200 时, 温度对真应力-真应变曲线的改变不明显, 有较大的重叠现象, 而在其它几个温度点下变化却比较大。

由图 4 可知, 弹性模量随着温度的升高而降低。随着温度的继续升高, 曲线的变化趋势变得缓和, 说明应变率的敏感性随温度的升高而降低 (见图 5)。

4 结论

(1) 聚碳酸酯的高温拉伸实验曲线呈非线性, 没有明显屈服点。

(2) 处于高温状态下的聚碳酸酯是对温度、应变率敏感的材料。

(下转第 14 页)

高的合金 C 持久寿命明显低于含 Re 量仅为 2% 的 B 合金的主要原因,也是含 Re 量高达 4% 的合金 D 相对合金 B 持久寿命提高不多的原因之一。

3.3 Re 强化作用的发挥

1100 /140MPa 下,与合金 C 相比,合金 D 的持久寿命比其高近一倍。合金 D 较高的持久寿命原因除了其具有较高含量的 Re 的作用外,重要原因之一是合金 D 具有比合金 C 低的 Cr 含量,使其 TCP 相析出倾向低于合金 C,合金稳定性增加,保证了 Re 在较长时间内对合金的强化作用。与合金 C 一样,合金 D 中 TCP 相的析出,消耗了对合金起重要强化作用的元素,使这些元素的强化作用,尤其是 Re 的强化作用未充分发挥。相对于合金 C, D,合金 B 具有最高的稳定性,在 1100 /140MPa, 124h 后仅析出 1.09% 的 TCP 相, Re 元素的强化作用得到了充分发挥。

综上所述,合金的稳定性是影响合金高温持久强度的关键因素之一,也是影响 Re 元素强化作用的重要因素。Re 可以显著提高单晶高温合金的高温强度,但如果合金没有优异的稳定性, Re 的强化作用也无从发挥。可见,保证合金的稳定性,是充分发挥 Re 的强化作用,获得优异高温持久性能的关键。

4 结论

- (1) 单晶高温合金中 Re 细化 γ 组织,提高 γ 的立方化程度。
- (2) Re 显著影响单晶高温合金的持久性能。适量 Re 提高单晶高温合金的持久寿命;过量 Re 降低合金的稳定性,减少合金的持久寿命。
- (3) TCP 相的析出,弱化了 Re 对单晶高温合金的强化作用。

参考文献

[1] GIAMEI A F, ANTON D L. Rhenium additions to a Ni-base superalloy: effect on microstructure [J] . Metall Trans A, 1985, (16): 1997- 2005.

[2] CARON P. High γ solvus new generation nickel-base superalloys for single crystal turbine blade applications [A] . POLLOCK T M, KISSINGER R D, BOWMAN R R, et al. Superalloys 2000 [C] . Pennsylvania: Warrendale, 2000. 737- 746.

[3] HINO T, KOBAYASHI T, KOIZUMI Y, et al. Development of a new single crystal superalloy for industry gas turbines [A] . POLLOCK T M, KISSINGER R D, BOWMAN R R, et al. Superalloys 2000 [C] . Pennsylvania: Warrendale, 2000. 729- 738.

[4] 曾强, 马书伟, 郑运荣. Re对Al在Ni中扩散的影响[J], 中国有色金属学报, 2003, (8): 899- 904.

[5] CHONG LONG FU, ROGER REED, ANDERSON JANOTTI, et al. On the diffusion of alloying elements in the nickel-base superalloys [A] . GREEN K A, POLLOCK T M, HARADA H,

et al. Superalloys 2004 [C] . Pennsylvania: Warrendale, 2004. 867- 876.

[6] DAROLIA R, LAHRMAN D F, FIELD R D. Formation of topologically close packed phase in nickel-based single crystal superalloys [A] . REICHMAN S, DUHL D N, MAURER G, et al. Superalloys 1988[C] . Pennsylvania: Warrendale, 1988. 255- 264.

[7] RAE C M F, KARU NARATNE M S A, SMALL C J, et al. Topologically close packed phases in an experimental rhenium-containing single crystal superalloy [A] . POLLOCK T M, KISSINGER R D, BOWMAN R R, et al. Superalloys 2000 [C] . Pennsylvania: Warrendale, 2000. 767- 776.

[8] FOSTER S M, NIELASEN T A, NAGY P. Enhanced rupture properties in advanced single crystal superalloys [A] . REICHMAN S, DUHL D N, MAURER G, et al. Superalloys 1988 [C] . Pennsylvania: Warrendale, 1988. 245- 254.

[9] LI Jia-rong, TANG Ding-zhong, LAO Ring-ling , et al. Effects of rhenium on creep rupture life of a single crystal superalloys [J] . J Mater Sci, 1999, (1): 53- 57.

[10] LI Jia-rong, ZHONG Zheng-gang, TANG Ding-zhong, et al. A low-cost second generation single crystal superalloy DD6 [A] . POLLOCK T M, KISSINGER R D, BOWMAN R R, et al. Superalloys 2000 [C] . Pennsylvania: Warrendale, 2000. 777 - 783.

[11] WALSTON W S, O'HARA K S, ROSS E W, et al. ReneN6: third generation single crystal superalloy [A] . KISSINGER R D, DEYE D J, ANTON D L et al. Superalloys 1996 [C] . Pennsylvania: Warrendale, 1996. 27- 34.

收稿日期: 2005-04-14; 修订日期: 2005-06-10
作者简介: 骆宇时 (1978-), 男, 博士研究生, 从事单晶高温合金方面的研究, 联系地址: 北京市 81 信箱 1 分箱 (100095)。

(上接第 9 页)

- (3) 同一温度下弹性模量随应变率的增大而升高。
- (4) 同一应变率下弹性模量、应变率敏感性随温度的升高而降低。

参考文献

[1] MEISSNER J and HOSETTLER J. A new elongational rheometer for polymer melts and other viscoelastic liquids [J] . J Rheol Acta, 1994, 33: 1- 21.

[2] 杜灵玄, 邵毓俊, 史伟琪. 塑料测试 [M] . 北京: 北京科学技术出版社, 1992.

[3] 许风和. 高分子材料力学试验 [M] . 北京: 科学出版社, 1987.

收稿日期: 2005-02-10; 修订日期: 2005-06-06
作者简介: 颜悦 (1966-), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为透明材料, 联系地址: 北京市 81 信箱 9 分箱 (100095)。