

尼龙 1010 的蠕变性质*

卢锡年**

(中国科学院力学研究所)

摘 要

本文给出了尼龙1010材料在不同温度和不同应力水平下的实验结果,提出了包含蠕变激活能的蠕变方程,该方程与实验数据良好符合。文中用时温等效方法处理了蠕变与松弛的数据,寻求了它们之间的一致性。

聚合物作为工程材料,一般需要在长时受力条件下工作,因此,它的蠕变性能是重要的。聚合物有多种不同结构特点,其长时力学行为也有很大差异。即使是同一材料,在不同温度下,蠕变规律也有明显不同,目前对于线性粘弹高分子材料,其蠕变规律的研究已有成效。温度效应也已在时温叠加的基础上得到满意的结果。但在其它方面,现有的工作是很不够的。对于实验研究工作者来说,以下两方面工作有待进一步开展:

- 一、寻找适用于非线性粘弹材料的蠕变数学表达式,其适用范围是清楚的。
- 二、在温度效应方面,研究时温关系的特点及适用范围。

尼龙1010材料是我国开发的工程塑料品种,其长时力学性能未见报导。本文给出了该材料室温及高温蠕变实验结果。探讨了适用的蠕变方程。此外,为研究材料的粘弹性特点,进行了不同温度下的松弛试验,与蠕变试验结果相对照,确定了时温等效关系的适用范围。

实 验 部 分

1 材料

上海赛璐珞厂生产的尼龙1010,由胜德塑料厂注射成型为标准拉伸样条。

2 蠕变试验

试验在专用的CJS-66聚合物-复合材料蠕变试验机上进行。该机详细情况可参见文献[1]。

试验参数为:

试验温度:室温~80℃; 载荷:11.6—16.3 MPa; 试验周期:500分。

每个试验点用三根试样在炉内同时进行试验,所得结果取平均值即为对应于该参数的蠕变值。

* 本刊1985年10月6日收到

** 参加此项工作的其他同志有:谢长春、绳刚、孙宁

3 松弛试验

试验设备用 Instron 1195 万能材料试验机, 试验温度: 室温~80℃; 控制应变: 5%; 试验周期: 200分。

结果讨论

蠕变试验结果

通过试验得到图 1 所示的一组蠕变曲线。曲线明显地可分为两个阶段, 即第一阶段(减速段)与第二阶段(恒速段)。因此可用下述方程来描述材料的蠕变过程:

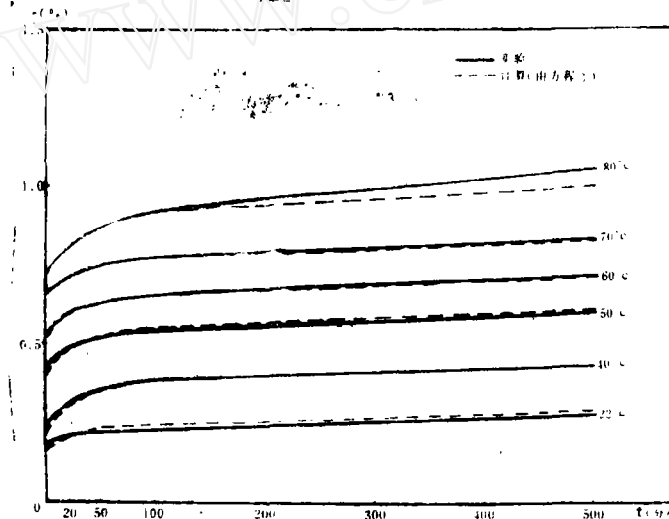


图1 Nylon1010蠕变曲线(σ=12.8Mpa)

$$\epsilon = \epsilon_0 + \epsilon_1 f(t) + \epsilon \cdot t \quad (1)$$

其中 ϵ : 蠕变应变; ϵ_0 : 瞬态蠕变应变; ϵ_1 : 平衡高弹应变; ϵ : 恒速蠕变率

图 2 示意蠕变曲线可分解为 ϵ_0 、 $\epsilon_1 f(t)$ 、 $\epsilon \cdot t$ 三部分。

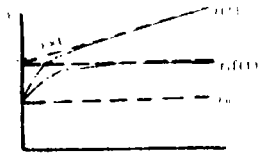


图2 蠕变曲线示意图

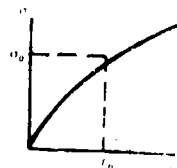


图3 应力-应变曲线

以下对这三部分分别进行讨论:

1 ϵ_0 项:

通常确定瞬态蠕变变形的办法是从拉伸曲线上定出对应于 σ_0 值的 ϵ_0 (见图 3)。但对于聚合物而言, 拉伸速度不同, 应力应变曲线有很大差异, 用上法定出 ϵ_0 有一定困难。为此, 我们将一分钟的蠕变应变定义为瞬态应变值, 这是可得到可靠蠕变测量数据的最短时间区间。

2 ε_1

将第二阶段蠕变曲线内推至与 Y 轴相交, 其截距即为 $\varepsilon_0 + \varepsilon_1$, 已知 ε_0 , 可确定平衡高弹应变 ε_1

3 确定 $f(t)$

该函数应具有以下性质:

$$\text{当 } t=0 \quad f(t) = 0$$

$$t=\infty \quad f(t) = 1$$

选取 $f(t) = 1 - \exp(-at)$

通过实验曲线定出 $a=0.04$

4 $\dot{\varepsilon}$

蠕变时材料的塑性流动为一激活过程, 其速度应满足:

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_0 \exp-(U/RT) \quad (2)$$

其中, U 是蠕变激活能, 它与应力有关, 可写作:

$$U = U_0 - \gamma\sigma \quad (3)$$

因此, 材料的蠕变方程有以下形式:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon_1(1 - \exp(-at)) + \dot{\varepsilon}_0 \exp-(U_0 - \sigma\gamma/RT) \times t \quad (4)$$

对于 $\sigma = 12.8 \text{ MPa}$, 可通过图 (1) 实验曲线得出实验常数。

$$\dot{\varepsilon}_0 = 2.75 \times 10^{-4}$$

ε_0 、 ε_1 与温度有关, 列表 1

表 1

T / °C	22	40	50	60	70	80
$\varepsilon_0 \times 10^5$	1.6	3.2	3.9	5.2	6.2	7.2
$\varepsilon_1 \times 10^5$	0.8	1.5	1.5	1.2	1.4	1.9

为确定蠕变激活能与应力的关系, 在 60°C 下进行了一系列应力水平的蠕变试验, 得到蠕变率与应力的关系, 列为下表

表 2

σ / MPa	11.6	12.8	13.9	15.1	16.3
$\dot{\varepsilon}$ (实验) $\times 10^5$	1.0	1.4	1.8	2.2	2.67
$\dot{\varepsilon}$ (计算) $\times 10^5$	1.09	1.46	1.77	2.27	2.91

由实验数据定出:

$$U_0 = 3.73 \text{ 千卡/克分子}$$

$$\gamma = 0.138 \text{ 千卡/克分子} \cdot \text{MPa}$$

代入方程 (4):

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \varepsilon_1(1 - \exp(-at)) + 2.75 \times 10^{-4} \exp-(3.73 - 0.138\sigma/RT) \times t \quad (5)$$

由方程 (5) 计算的蠕变曲线与实验曲线对照见实验图 1

当 $\sigma=12.8\text{MPa}$ 在不同温度条件下,蠕变率的实验值与计算值对照见下表3:

表3

T °C	22	40	50	60	70	80
$\dot{\epsilon}$ (实验) $\times 10^5$	1.0	1.16	1.3	1.4	1.6	2.7
$\dot{\epsilon}$ (计算) $\times 10^5$	0.96	1.16	1.28	1.4	1.58	1.66

时温等效关系的验证

时温等效关系是与聚合物粘弹性有关的重要规律,它具有很大的实用价值,该关系已被证明对于无定形高分子材料在一定应力、温度范围内有效。人们希望它的应用范围可推广到结晶聚合物及两相聚合物共混体系,但这需要实验工作的证实。

如何判断时温等效关系的适用范围,目前还没有公认的有效方法。作者认为,如果时温等效关系对于某种材料是有效的,那么,不同力学试验结果应具有同一时温特点。例如,蠕变和松弛过程本质上都是材料在受力时分子松弛的结果。因此,蠕变和松弛的时温关系应反映出共同的规律。

为此我们同时进行了一组相应条件下的松弛试验,得到的实验曲线见图4,根据蠕变松弛实验曲线可作出蠕变、松弛主曲线(图5、6)。并分别求得蠕变位移因子 a_{TC} 和松弛位移因子 a_{TR} 。

把表征材料时温等效性质的这两个位移因子放在同一图中进行比较(见图7),结果表明两者在室温至70°C温度范围内保持良好的一致性,但在80°C,两者数据有明显偏离,由此可以确定时温等效关系的适用范围。

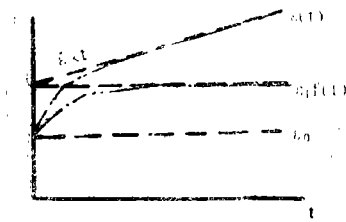
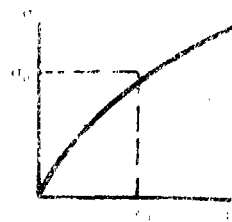
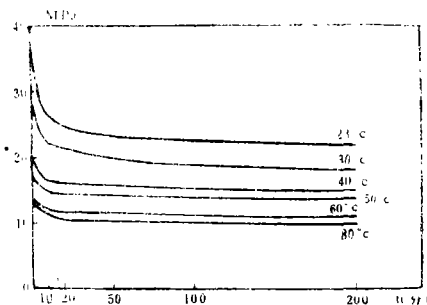
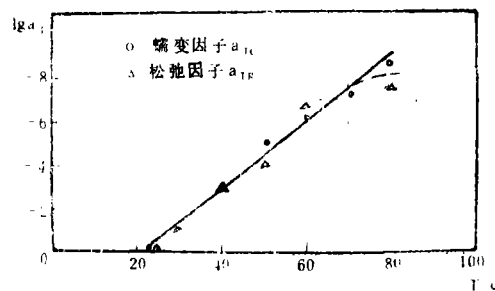
图4 Nylon 1010蠕变曲线($\sigma=12.8\text{MPa}$)图5 Nylon 1010松弛主曲线($\epsilon_0=5\%$)图6 Nylon 1010松弛曲线($\epsilon_0=5\%$)

图7 蠕变松弛位移因子比较

结 论

1、尼龙 1010 作为半结晶聚合物, 其蠕变规律与非晶聚合物相似, 蠕变应变可分为代表瞬态变形的 ϵ_0 、代表平衡高弹变形的 ϵ_1 和代表恒速永久变形的 $\epsilon \cdot t$ 项。用方程(3)确定的蠕变曲线与实验值良好符合。

2、从表2、3列出的结果表明: 通过蠕变激活能计算得到的蠕变率与实验值十分接近。只有80℃计算值明显低于实验值, 说明80℃蠕变激活能值明显下降。看来这是因为该试验温度已高于材料的玻璃化转变温度。

3、蠕变、松弛实验结果对照表明, 室温至70℃范围内蠕变及松弛位移因子与温度的关系有良好的—致性。这说明在此温度范围内材料的时温等效关系保持有效。

参 考 文 献

- (1) 卢锡年、谢长春, 复合材料学报, 1982, 2 (2)
- (2) 中国科学技术大学高分子物理教研室, 《高聚物的结构与性能》, 科学出版社, 1983
- (3) Findley, W.N., Coworkers, "Creep and Relaxation of Nonlinear Viscoelastic Materials" 1976
- (4) Wilding, M.A., Ward, I.M., Polymer 1978, 19, 969
- (5) Ferry, J.D., "Viscoelastic Properties of Polymers" 1970

CREEP BEHAVIOUR ON NYLON 1010

Lu Sinien

(Institute of mechanics, Academy sinica, Beijing)

ABSTRACT

Creep results on Nylon 1010 are given in series of temperature and stress levels. Creep equation containing a creep activation energy is suggested, and it is in agreement with experimental data. Both creep and relaxation data are processed by using time-temperature equivalence method, and it is found that there is a good consistency between the creep and relaxation results.