

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2018.04.018

热氧老化对 PA10T/GF 复合材料性能及使用寿命的影响

王健^{1,2}, 何雍^{1,2}, 张翔², 郭建兵^{1,2}

(1. 贵州大学材料与冶金学院, 贵阳 550025; 2. 国家复合改性聚合物材料工程技术研究中心, 贵阳 550014)

摘要: 用玻璃纤维 (GF) 对聚对苯二甲酰萘二胺 (PA10T) 进行改性得到 PA10T/GF 复合材料, 通过控制熔融共混过程中 GF 的长度制备短 GF 增强 PA10T (PA10T/SGF) 复合材料和长 GF 增强 PA10T (PA10T/LGF) 复合材料。采用人工加速老化实验, 研究热氧老化对 PA10T/GF 复合材料力学性能的影响, 通过扫描电子显微镜 (SEM) 对 PA10T/GF 复合材料的冲击断面以及表面形貌进行分析, 并预测了 PA10T/GF 复合材料的使用寿命。结果表明, PA10T/LGF 复合材料的拉伸、弯曲强度以及缺口冲击强度较 PA10T/SGF 复合材料的高; 在 240℃ 下热氧老化 50 d 后, 与 PA10T/LGF 复合材料相比, PA10T/SGF 复合材料具有更好的耐老化性能; SEM 分析表明, PA10T/GF 复合材料的热氧老化机理主要是由于 PA10T 树脂的降解所引起的 PA10T 与 GF 界面作用的削弱; 而通过寿命预测发现当使用温度为 150℃ 时, PA10T/LGF 和 PA10T/SGF 复合材料的使用寿命分别为 101 d 和 86 d, 在温度低于 172℃ 时, PA10T/LGF 复合材料比 PA10T/SGF 复合材料具有更长的使用寿命。

关键词: 聚对苯二甲酰萘二胺; 玻璃纤维; 长度; 热氧老化; 力学性能; 使用寿命

中图分类号: TQ323.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2018)04-0091-07

Effects of Thermal-oxidative Aging on Properties and Service Life of PA10T / GF Composites

Wang Jian^{1,2}, He Yong^{1,2}, Zhang Xiang², Guo Jianbing^{1,2}

(1. College of Materials and Metallurgy, Guizhou University, Guiyang 550025, China;

2. National Engineering Research Center for Compounding and Modification of Polymer Materials, Guiyang 550014, China)

Abstract : Poly(decamethylene terephthalamide) (PA10T) was modified with glass fiber (GF) to obtain PA10T/GF composites. By controlling the length of GF in the melt blending process, short GF reinforced PA10T (PA10T/SGF) composite and long GF reinforced PA10T (PA10T/LGF) composite were obtained. The effects of thermal-oxidative aging on the mechanical properties of the PA10T/GF composites were studied by means of artificial accelerated aging experiment. The impact cross-section and surface morphology of the PA10T/GF composites were studied by scanning electron microscopy (SEM). At the same time, the service lives of the PA10T/GF composites were predicted. The results show that the tensile strength, flexural strength and notched impact strength of PA10T/LGF composite are better than those of PA10T/SGF composite. After 50 d thermal-oxidative aging process at 240℃, compared with PA10T/LGF composite, PA10T/SGF composite has better aging resistance. SEM analysis indicates that the thermal-oxidative aging mechanism of the PA10T/GF composites is mainly attributed to the weakening of the interfacial interaction between PA10T and GF caused by the degradation of PA10T resin. The service life expectancy of the PA10T/GF composites illustrates that, when the service temperature is 150℃, the service life of PA10T/LGF and PA10T/SGF composite is 101 d and 86 d respectively. PA10T/LGF composite has longer service life than PA10T/SGF composite when the service temperature is lower than 172℃.

Keywords : poly(decamethylene terephthalamide); glass fiber; length; thermal-oxidative aging; mechanical property; service life

基金项目: 贵州省高层次创新型人才培养项目 (黔科合人才 [2016]5667 号), 贵州省优秀青年科技人才培养对象专项资金项目 (黔科合人字 [2015]26 号), 贵州省科技计划项目 (黔科合重大专项字 [2015]6005 号、黔科合成果 [2016]4538 号)

通讯作者: 郭建兵, 研究员, 主要从事聚合物结构与性能研究 E-mail: guojianbing_1015@126.com

收稿日期: 2018-01-08

引用格式: 王健, 何雍, 张翔, 等. 热氧老化对 PA10T/GF 复合材料性能及使用寿命的影响 [J]. 工程塑料应用, 2018, 46(4):91-97.

Wang Jian, He Yong, Zhang Xiang, et al. Effects of thermal-oxidative aging on properties and service life of PA10T / GF composites[J]. Engineering Plastics Application, 2018, 46(4):91-97.

聚酰胺(PA)材料具有成本低、密度低、耐腐蚀、绝缘性好、承载能力强等显著的优点^[1-2],在电子设备、汽车和航空等领域得到广泛的应用,随着应用领域的不断扩大,对PA力学性能、耐磨性、耐热性和尺寸稳定性的要求也越来越高^[3-7]。聚对苯二甲酰癸二胺(PA10T)是一种新型的耐高温半芳香族PA,与其它脂肪族PA相比,具有更为优异的力学性能和尺寸稳定性,同时具有良好的耐热性^[8-9]。PA10T主要是由对苯二甲酸和癸二胺合成,癸二胺的来源主要是生物基的蓖麻油,符合了材料可持续发展的理念^[10]。

玻璃纤维(GF)具有成本低、抗拉强度高、耐化学性及绝缘性能好等优异特性,GF增强聚合物在汽车或建筑业等各种应用领域越来越受欢迎^[11],因此利用GF增强PA10T可以进一步提高PA10T的力学性能,扩展PA10T的应用范围。GF长度对PA10T/GF复合材料的力学性能有着非常重要的影响,通过控制GF的长度可以制备不同应用类型的PA10T/GF复合材料,从而满足不同领域的使用要求。但PA10T/GF复合材料在使用过程中经常处于高温高热环境中,热氧老化会导致材料分子链的断裂和材料的降解^[12-13],导致复合材料性能下降,因而研究PA10T/GF复合材料的热氧老化过程具有重要的意义。目前,对不同GF长度下PA10T/GF复合材料在热氧老化环境中的力学性能变化情况进行研究的文献较少,因此,笔者通过自行设计的浸渍装置制备了长GF(LGF)增强PA10T复合材料,同时制备了短GF(SGF)增强PA10T复合材料,并通过力学性能测试和扫描电子显微镜(SEM)对比分析了240℃下两种复合材料的热氧老化行为,同时阐述了复合材料的热氧老化机理。进而通过160,200,240℃的热氧老化实验,测试了不同老化时间下PA10T/LGF和PA10T/SGF复合材料的拉伸强度,利用拉伸强度数据对两种复合材料的使用寿命进行预测,从而为PA10T/GF复合材料在生产、生活中的实际应用提供参考。

1 实验部分

1.1 主要原料

PA10T:广州金发科技股份有限公司;

GF粗纱:ECT4301H,平均直径为17 μm,硅烷偶联剂处理,重庆国际复合材料股份有限公司。

1.2 主要仪器及设备

同向旋转平行双螺杆挤出机:TSA-40A型,南

京瑞亚高聚物制备有限公司;

注塑机:CJ80MZ2 NC II型,震德塑料机械厂;

数字鼓风干燥箱:GZX-9240ME型,上海博讯实业有限公司;

光学显微镜:XTL-550E型,上海长方光学仪器有限公司;

SEM:KYKY-2800B型,北京中科科技技术仪器有限公司;

电子万能试验机:WDW-10C型,上海华龙测试仪器有限公司;

冲击试验机:ZBC-4B型,深圳市新三思计量技术有限公司。

1.3 试样制备及热氧老化实验

将PA10T加入至双螺杆挤出机中,在挤出温度285~320℃、螺杆转速175 r/min下与GF粗纱(GF粗纱通过GF专用进料设备加入,进料设备中的螺杆转速为12.5 r/min)混合,经螺杆剪切后挤出、造粒,制得PA10T/SGF复合材料;采用自设计的浸渍装置,使GF粗纱通过浸渍装置与PA10T熔体混合,在挤出温度330~340℃、螺杆转速175 r/min下经相同挤出机制备PA10T/LGF复合材料,将连续的料条切成长度为12 mm的颗粒(料条牵引速度为4 m/min)。两种复合材料的GF质量分数均控制在40%左右。

将制得的PA10T/SGF和PA10T/LGF复合材料粒料经注塑机注塑成标准试样,然后放置于数字鼓风干燥箱中,温度分别控制在160,200,240℃,保持空气畅通,在老化0,10,20,30,40,50 d各取样一次,总共取样6次。

1.4 测试与表征

(1) 力学性能测试。

拉伸性能按GB/T 1040.2-2006测试,拉伸速率为50 mm/min;

弯曲性能按GB/T 9341-2008测试,测试速率为2 mm/min;

缺口冲击强度按GB/T 1843-2008测试,缺口深度为2 mm。

(2) SEM表征。

将不同老化时间下的试样经喷金处理,在真空条件下用SEM观察其冲击断面以及表面形貌,扫描电压为25 kV。

(3) 使用寿命预测。

在一定的温度范围内,聚合物材料的拉伸性能

变化可以认为与老化时间为正比例关系:

$$F(P)=kt \quad (1)$$

式(1)中 P 为材料的拉伸性能, t 为热氧老化时间, k 为速率常数。当材料的拉伸性能达到某一临界值时, P 值看作固定, 则达到临界值时的老化时间 t 是 k 的函数:

$$t=F(P)/k \quad (2)$$

同时, k 与绝对温度 T 符合 Arrhenius 经验方程, 如式(3)所示:

$$k=Ae^{-E/RT} \quad (3)$$

式(3)中 R 为摩尔气体常数, 为 $8.314 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$; A 是指前因子, 为一常数; E 为表观活化能。

将式(2)代入式(3)取自然对数后可得:

$$\ln t = E/RT + \ln F(P) - \ln A \quad (4)$$

可以看出, 如果测试材料在不同老化温度下的老化机理相同, 即表现为相同的老化规律, 则 $\ln t$ 与 $1/T$ 成线性关系, 如式(5)所示:

$$\ln t = a/T + b \quad (5)$$

式(5)即是由材料拉伸性能得到的热氧老化寿命预测方程。只要通过回归分析法确定式(5)中的 a , b 值, 就可以外推出材料在某一温度下使用和储存的寿命。

2 结果与讨论

2.1 PA10T/GF 复合材料热氧老化实验结果分析

(1) 力学性能分析。

表1和表2分别为 240°C 老化温度下, 不同老化时间对 PA10T/SGF 和 PA10T/LGF 复合材料力学性能的影响。从表1和表2可以看出, 未老化时 PA10T/SGF 复合材料的拉伸、弯曲强度以及缺口冲击强度均低于 PA10T/LGF 复合材料, 表明 PA10T/LGF 复合材料的力学性能更优。对于 PA10T/SGF 复合材料, 在 240°C 下老化 50 d 后, 试样拉伸强度为 36.4 MPa , 保持率为 18.4% ; 弯曲强度为 28.9 MPa , 保持率为 10.3% ; 缺口冲击强度为 6.97 kJ/m^2 , 保持率为 38% 。对于 PA10T/LGF 复合材料, 在 240°C 下老化 50 d 后, 试样拉伸强度为 10.3 MPa , 保持率为 4.9% ; 弯曲强度为 18.2 MPa , 保持率为 6.3% ; 缺口冲击强度为 2.4 kJ/m^2 , 保持率为 9.4% 。可以明显发现 PA10T/SGF 和 PA10T/LGF 复合材料的力学性能在热氧老化后发生明显的下降。同时可以发现, PA10T/SGF 复合材料的力学性能随老化时间增加下降幅度较缓; 而 PA10T/LGF 复合材料在老化 20 d 时, 其拉伸和弯曲强度已低于 PA10T/SGF 复合材料, 当老化时间

超过 20 d 后, PA10T/LGF 复合材料的力学性能大幅下降, 老化 40 d 与老化 50 d 的力学性能基本相当, 说明复合材料在老化时间足够长后, 其力学性能下降速率趋于平缓。PA10T/LGF 复合材料在老化 20 d 后力学性能下降幅度远高于 PA10T/SGF 复合材料的原因可能是, 在 240°C 高温下, 当老化足够时间后, PA10T/LGF 复合材料中 PA10T 基体分子链的断裂更为严重, 导致其分子量大幅下降, 同时 GF 与基体之间的包覆、粘结作用也受到严重影响, 使 GF 与基体表面更易发生界面脱粘现象, 造成基体表面出现更多裂纹, 且随着材料晶态结构的破坏, 结晶度下降, 也会导致复合材料的力学性能进一步减弱。总之, 通过以上现象说明, 在 240°C 高温的热氧老化条件下, PA10T/SGF 复合材料的耐老化性能比 PA10T/LGF 复合材料更好。

表1 PA10T/SGF 复合材料在 240°C 老化温度下力学性能变化情况

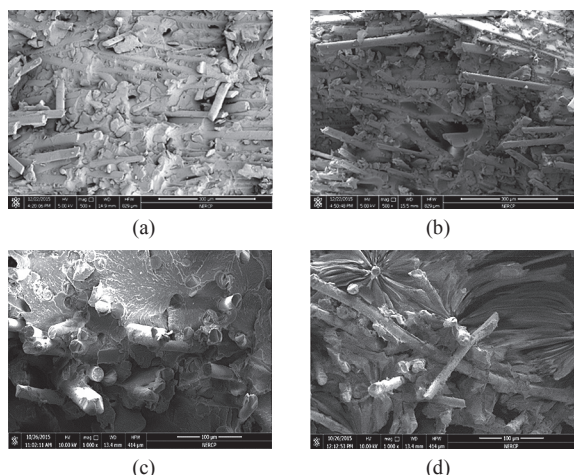
项 目	老化时间 / d					
	0	10	20	30	40	50
拉伸强度 / MPa	197.4	142.1	134.3	112.9	70.0	36.4
弯曲强度 / MPa	279.8	222.9	207.6	167.5	79.4	28.9
缺口冲击强度 / $(\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2})$	18.32	14.34	12.43	11.39	9.24	6.97

表2 PA10T/LGF 复合材料在 240°C 老化温度下力学性能变化情况

项 目	老化时间 / d					
	0	10	20	30	40	50
拉伸强度 / MPa	210.7	150.4	95.6	27.1	9.8	10.3
弯曲强度 / MPa	288.3	208.4	122.7	37.7	23.3	18.2
缺口冲击强度 / $(\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2})$	25.53	16.36	13.22	3.14	2.67	2.40

(2) SEM 表征。

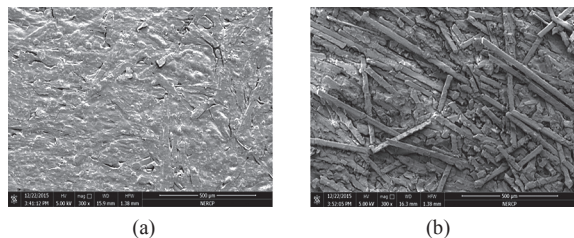
图1为未老化和在 240°C 下经热氧老化 50 d 时 PA10T/SGF 和 PA10T/LGF 复合材料试样的冲击断面 SEM 照片。纤维增强复合材料失效的方式有 3 种: 纤维断裂、纤维拔出和基体开裂^[14-15]。从图 1a 和图 1c 可以明显看出, 未老化试样的断面处大多数 GF 呈现断裂状态, 拔出较少, 纤维表面覆盖有大量的基体树脂, 断裂面纤维拔出残留的孔洞也较少, 这说明在未老化试样中 SGF 和 LGF 与 PA10T 树脂之间有着良好的界面相互作用。当老化时间为 50 d 时, 在图 1b 和图 1d 中可以发现大量的 GF 呈现拔出状态, 而且拔出后的孔洞清晰可见, 此时试样的失效形式主要以纤维拔出为主, 与未老化试样相比, 对应的 GF 表面相对光滑, GF 与基体之间的脱粘现象严重, 因此在宏观上表现为力学性能的大幅下降。同时, GF 与树脂基体之间发生脱粘会造成机体内部非晶区缺陷增多, 加速分子链的降解, 导致结晶度大幅下降^[16]。



a—未老化 PA10T/SGF ; b—老化 50 d 的 PA10T/SGF ;
c—未老化 PA10T/LGF ; d—老化 50 d 的 PA10T/LGF

图1 未老化与老化 50 d 时 PA10T/SGF 和 PA10T/LGF
复合材料试样冲击断面 SEM 照片

图2为未老化与240℃下老化50 d时PA10T/SGF复合材料试样的表面形貌SEM照片。通过图2a和图2b对比发现,未老化PA10T/SGF复合材料试样表面光滑平整,SGF四周被基体材料所包裹,老化后的试样表面暴露出大量无规排列的GF,而且纤维与基体材料之间的脱粘现象十分严重,产生了大量缝隙,从而使得裂纹出现在试样表面,促使氧气可以更加容易扩散到基体材料内部,加速裂纹扩展,造成复合材料严重老化。通过以上现象可以充分说明PA10T分子链由于受到热氧老化作用而发生断裂,从而促使PA10T降解,同时也减弱了SGF与PA10T之间的相互作用,进一步影响复合材料的力学性能,与上述的PA10T树脂的降解过一致。同时,从图2b中发现,一些颗粒状物质覆盖在试样表面(粉化现象),这主要是由于PA10T分子链的降解所形成小分子诱导形成的不完善球晶而引起。

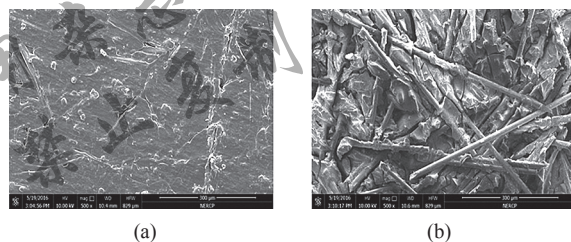


a—未老化 PA10T/SGF ; b—老化 50 d 的 PA10T/SGF

图2 未老化与老化 50 d 时 PA10T/SGF 复合材料
试样表面形貌 SEM 照片

图3为未老化与240℃下老化50 d时PA10T/LGF复合材料试样的表面形貌SEM照片。对比图3a和图3b可以发现,热氧老化50 d后PA10T/

LGF复合材料试样表面比未老化时更加粗糙,LGF表面的基体层遭受破坏,导致GF裸露在基体表面,形成了微裂纹。PA10T/LGF复合材料与PA10T/SGF复合材料的老化机理大致相同,主要是PA10T树脂经历长时间的240℃高温热氧老化后,分子链发生严重断裂,导致试样受到外界应力作用时,会优先在热氧老化区域产生应力集中现象,从而导致裂纹的生成与扩展。另外从图3b中可以发现试样表面有一些凹坑与微裂纹存在,这表明PA10T与LGF间的界面粘结作用受热氧老化作用的严重影响而降低,从而导致了PA10T树脂与玻纤的脱粘,进而引发微裂纹产生并扩展,导致PA10T树脂基体更容易形成断层与裂缝,致使外部的热量和氧气更容易与基体PA10T发生接触进而发生热氧老化降解,同时裂纹缝隙的形成也扩大了基体与氧气的接触面积,使得基体的老化现象更加严重。



a—未老化 PA10T/LGF ; b—老化 50 d 的 PA10T/LGF

图3 未老化与老化 50 d 时 PA10T/LGF 复合材料
试样表面形貌 SEM 照片

综上所述,可以发现PA10T/SGF复合材料与PA10T/LGF复合材料在经历热氧老化的过程中,首先是PA10T树脂发生氧化降解,使得其分子链断裂成小分子物质,同时PA10T树脂与GF间的脱粘现象愈发严重,导致了GF从基体层拔出,从而诱发裂纹与缝隙等缺陷产生,并逐渐使缺陷不断扩大,使PA10T与氧气更容易接触,加速了材料的老化,从而使得复合材料的力学性能下降。

2.2 PA10T/GF 复合材料使用寿命分析

拉伸强度是衡量复合材料老化性能的一个重要指标,其对复合材料在生产、生活中的应用有更好的预期效果。首先测试了PA10T/SGF和PA10T/LGF复合材料在160,200,240℃老化温度下的拉伸强度随老化时间变化的情况,结果如图4所示。从图4可以看出,在160,200,240℃老化温度下,PA10T/SGF和PA10T/LGF复合材料的拉伸强度均随老化时间的延长呈减小趋势,而且均表现为老化温度越高拉伸强度下降越明显。根据式

(1),对拉伸强度数据与老化时间进行线性拟合,所得拟合直线如图4所示,拟合直线的相关系数均大于0.8,满足GB/T 7141-2008《塑料热老化试验方法》的要求。将拉伸强度保持率为75%时的拉伸强度数值确定为复合材料热氧老化的失效临界值^[17-19],根据图4的数据可得,未老化PA10T/SGF复合材料的拉伸强度为197.4 MPa,则其失效临界值为148.1 MPa,而未老化PA10T/LGF复合材料的拉伸强度为210.7 MPa,则其失效临界值为158.0 MPa。通过对图4拉伸强度与老化时间的拟合直线可分别推算出PA10T/SGF和PA10T/LGF复合材料在160,200,240℃下拉伸强度达到失效临界值时所需的天数,具体结果见表3。

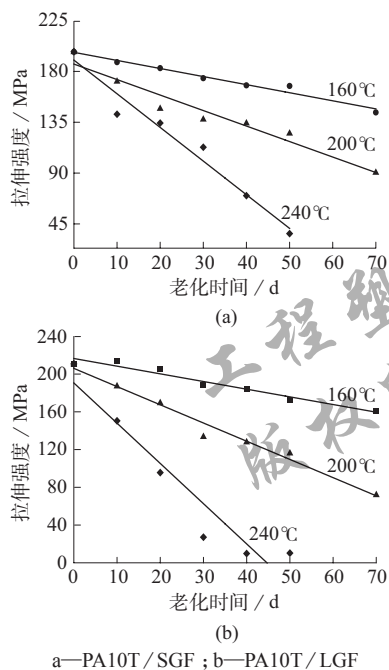


图4 PA10T/SGF和PA10T/LGF复合材料的拉伸强度在不同老化温度下随老化时间的变化情况及其线性拟合图

表3 图4中拉伸强度与老化时间拟合直线推算所得相关数据

$T/^\circ\text{C}$	$(1/T)/\text{K}^{-1}$	PA10T/SGF		PA10T/LGF	
		t_c/d	$\ln t_c$	t_c/d	$\ln t_c$
160	0.002 308 7	68	4.219 5	72	4.276 7
200	0.002 113 5	28	3.332 2	25	3.218 9
240	0.001 948 7	14	2.639 1	9	2.197 2

注: t_c 为临界失效时间。

根据表3的数据,通过最小二乘法对 $1/T$ 和 $\ln t_c$ 进行线性拟合获得近似直线,如图5所示。参照式(5)计算出图5中拟合直线的斜率(a)和截距(b)以及相关系数,具体结果列于表4。

由此可以推断出以拉伸强度作为指标,PA10T/SGF和PA10T/LGF复合材料在某一温度下的贮存和使用寿命预测方程:

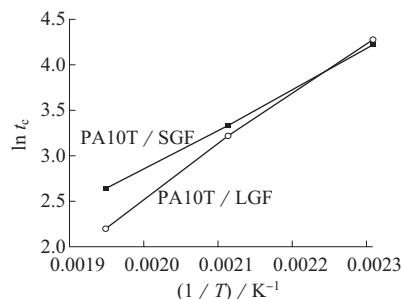


图5 PA10T/SGF和PA10T/LGF复合材料 $\ln t_c$ 与 $1/T$ 拟合直线

表4 根据表3数据对式(5)回归后的参数

参数	PA10T/SGF	PA10T/LGF
a	4 395.832 75	5 766.586 48
b	-5.938 23	-9.015 22
相关系数	0.999 0	0.997 0

$$\text{PA10T/SGF: } \ln t_c = 4\,395.832\,75 / T - 5.938\,23 \quad (6)$$

$$\text{PA10T/LGF: } \ln t_c = 5\,766.586\,48 / T - 9.015\,22 \quad (7)$$

从表4可以看出,上述两方程的相关系数分别为0.9990和0.9970,十分接近于1,越接近于1说明其线性关系越好,这表明式(6)和式(7)的线性关系良好,具有比较高的可信度。通过式(6)和式(7)可以分别计算出PA10T/SGF和PA10T/LGF复合材料试样在较低温度下的贮存和使用寿命,得到PA10T/SGF和PA10T/LGF复合材料在室温下的贮存寿命分别为6670 d(约18年)和30516 d(约83年),从而进一步说明了PA10T/SGF和PA10T/LGF复合材料在室温下可以长时间贮存,同时可以具有稳定良好的特性。PA10T的优势之一为其能够在150℃的高温环境中使用,通过式(6)和(7)可以推算得到150℃下PA10T/SGF和PA10T/LGF复合材料试样的使用寿命分别为86 d和101 d,显然在150℃下,PA10T/LGF复合材料比PA10T/SGF复合材料具有更好的耐老化性能。

在图5中,可以看到PA10T/SGF和PA10T/LGF复合材料预测寿命与温度的拟合直线存在一个交点,对应温度为172℃。结合图4可以得出,当贮存温度或使用温度低于172℃时,与PA10T/LGF复合材料相比,PA10T/SGF复合材料的拉伸强度对温度更加敏感,同时随老化时间的延长下降速率较快;当贮存温度或使用温度大于172℃时,PA10T/LGF复合材料的拉伸强度随老化时间延长而下降的速率比PA10T/SGF复合材料更为明显,抗老化能力比PA10T/SGF复合材料弱,这与240℃热氧老化实验的结果相符。

对高分子复合材料老化寿命的评价与衡量,通常使用的计算方程式为半经验数学模型 Arrhenius

方程,其前提是式(4)和式(5)中的 E 值[式(5)中 $a=E/R$]被假设为常数,是一个定值,并不随温度变化而改变^[20-21]。从 E 的定义来说是指分子从常态转变为容易发生化学反应的活跃态所需要的能量(材料从一种状态变化为另一种状态时所吸收或释放的能量)。同时 E 表示势垒(能垒)的高度,而且其大小可以反映化学反应发生的难易程度,即 E 为一个化学反应发生所需要的最小能量,其值越小,反应越容易进行,同时反应速率越快。 E 值越大,式(5)中的 a 值也就越大,寿命预测方程的斜率越大,则材料对温度就具有更高的敏感性。因此,在材料性能逐渐失效或者产品的性能逐渐变差的过程中, E 在一定温度范围内是一常数,而随着温度升高,材料发生老化的反应机理也变得更为复杂,式(5)中的 $\ln t$ 与 $1/T$ 的关系将不再是线性关系。因此式(6)和式(7)显然存在一定的局限性,只适合于温度较低时对复合材料进行寿命预测。

3 结论

(1) 经过 240℃ 老化 50 d 后, PA10T/LGF 复合材料的拉伸、弯曲和冲击性能比 PA10T/SGF 复合材料下降更多,主要是由于 PA10T 分子链发生了更为严重的断裂,导致了分量降低,同时其与 GF 界面相互作用被削弱。

(2) SEM 分析表明,无论是 PA10T/SGF 复合材料还是 PA10T/LGF 复合材料,其热氧老化机理基本相同,即 PA10T 树脂由于受到热氧作用而发生降解,形成低分子量的物质,同时发生 GF 拔出现象,使得大量 GF 暴露在 PA10T 表面,使得 PA10T 与 GF 间的粘结作用削弱,导致 GF 发生严重的脱粘现象,同时由于缺陷的进一步扩展而形成大量的裂纹缝隙,复合材料更易与氧气等物质接触,从而使老化过程加速。

(3) 以拉伸强度和老化时间的关系为基础进行线性拟合,从而对材料的使用寿命进行初步预测,在低于 172℃ 时, PA10T/LGF 复合材料比 PA10T/SGF 复合材料具有更好的抗老化能力,使 PA10T/LGF 复合材料使用寿命比 PA10T/SGF 复合材料更长。

参考文献

- [1] Dinari M, Mohammadnezhad G, Nabiyani A. Preparation and characterization of nanocomposite materials based on polyamide-6 and modified ordered mesoporous silica KIT-6[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2016, 133(10):517-524.
- [2] Huang C H, Chen F, Guo Z X, et al. Preparation of polyamide 6 / polystyrene quasi-nanoblends by diffusion and subsequent polymerization of styrene in water-sorbed polyamide 6 pellets[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2017, 134(10). doi:10.1002 / app.44554.
- [3] Bassett A W, La Scala J J, Stanzione J F, et al. Richard P. Wool's contributions to sustainable polymers from 2000 to 2015[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2016, 133(45). doi:10.1002 / app.43801.
- [4] Marchildon K. Polyamides – still strong after seventy years[J]. Macromolecular Reaction Engineering, 2011, 5(1):22-54.
- [5] Gul O, Yilmaz S, Yilmaz T. Effect of CBC and G-POSS on tribological behaviour of polyamide 6 and short glass fiber reinforced polyamide 6 composites[J]. Acta Physica Polonica, 2015, 127(4):1 121-1 123.
- [6] Abbasi Moud A, Javadi A, Nazockdast H, et al. Effect of dispersion and selective localization of carbon nanotubes on rheology and electrical conductivity of polyamide 6 (PA6), polypropylene (PP), and PA6 / PP nanocomposites[J]. Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics, 2015, 53(5):368-378.
- [7] Corrêa A C, de Moraes Teixeira E, Carmona V B, et al. Obtaining nanocomposites of polyamide 6 and cellulose whiskers via extrusion and injection molding[J]. Cellulose 2013, 21(1):311-322.
- [8] Song H, Zhou D, Guo J. Thermal-oxidative aging effects on the properties of long glass fiber reinforced polyamide 10T composites[J]. Polymer Composites, 2016. doi:10.1002 / pc.24174.
- [9] 曲振, 胡国胜, 王建霞, 等. 耐高温尼龙 PA10T 的合成与表征 [J]. 化工新型材料, 2014, 42(1):137-139.
- [10] 孙学科, 高红军, 麦堪成, 等. 基于 PA10T 的生物基耐高温聚酰胺的合成 [J]. 工程塑料应用, 2017, 45(2):1-5.
- [11] Unterweger C, Brueggemann O, Fuerst C. Synthetic fibers and thermoplastic short-fiber-reinforced polymers: Properties and characterization[J]. Polymer Composite, 2014, 35(2):227-236.
- [12] Cerruti P, Carfagna C. Thermal-oxidative degradation of polyamide 6, 6 containing metal salts[J]. Polymer Degradation and Stability, 2010, 95 (12):2 405-2 412.
- [13] Chow W S, Abu Bakar A, Mohd Ishak Z A. Water absorption and hygrothermal aging study on organomontmorillonite reinforced polyamide 6 / polypropylene nanocomposites[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2005, 98(2):780-790.
- [14] 刘璐璐, 宣海军, 洪伟荣, 等. 锻纹机织复合材料高速冲击试验研究及理论分析 [J]. 中国科技论文, 2016, 11(10):1 169-1 174.

Liu Lulu, Xuan Haijun, Hong Weirong, et al. Experimental study and theoretical analysis on high velocity impact of stain woven

- carbon fiber reinforced composites[J]. China Sciencepaper, 2016, 11(10):1 169-1 174.
- [15] 张伟,吕胜利,吕毅,等. 二维编织 C/SiC 复合材料高温拉伸性能研究[J]. 强度与环境, 2009, 36(1):22-26.
- Zhang Wei, Lyu Shengli, Lyu Yi, et al. Research of tensile performance of 2D weave C/SiC composites at high temperature[J]. Structure & Environment Engineering, 2009, 36(1):22-26.
- [16] Zuo X, Zhang K, Lei Y, et al. Influence of thermooxidative aging on the static and dynamic mechanical properties of long-glass-fiber-reinforced polyamide 6 composites[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2014, 131(3):1 023-1 031.
- [17] 于广益,李小慧,金石磊,等. GMT-PP 材料老化性能及寿命预测研究[J]. 广州化工, 2016, 11(10):96-98.
- Yu Guangyi, Li Xiaohui, Jin Shilei, et al. Study on aging performance and life prediction of GMT-PP materials[J]. Guangzhou Chemical Industry, 2016, 11(10):96-98.
- [18] 韩勤会,王珊,刘子海,等. 动力学法研究热氧老化对含钕有机玻璃性能的影响[J]. 稀有金属, 2015, 39(6):522-526.
- Han Qinhui, Wang Shan, Liu Zihai, et al. Dynamic mechanical analysis of properties of Gd³⁺-containing organic glass[J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2015, 39(6):522-526.
- [19] 高立花,叶林. 尼龙 6 湿热老化寿命预测[J]. 高分子材料科学与工程, 2015, 31(5):111-114.
- Gao Lihua, Ye Lin. Service life prediction of nylon 6 under hydrothermal ageing[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2015, 31(5):111-114.
- [20] 蒯诗松. 加速寿命试验的加速模型[J]. 质量与可靠性, 2003(2):15-17.
- Mao Shisong. The accelerating mode of accelerated life test[J]. Quality and Reliability, 2003(2):15-17.
- [21] 高伟斌,马立波,刘日鑫. Arrhenius 方程外推法预测聚碳酸酯的贮存寿命[J]. 塑料, 2010, 39(1):120-121.
- Gao Weibin, Ma Libo, Liu Rixin. Arrhenius equation extrapolation predicting the storage life of polycarbonate[J]. China Plastics, 2010, 39(1):120-121.

投稿须知

1 稿件内容

稿件应注重科学性、实用性及时效性,要求技术新颖,论点明确,论据可靠,数据准确,文字通顺、简练。稿件内容必须真实,避免抄袭,请作者文责自负。引用他人成果时,请按《著作权法》有关规定说明出处。内容应未曾发表过或被其他出版物刊载过,且无一稿多投。

2 稿件要求

凡属于重大科技获奖的论文和重点项目资助的论文,请在来稿第一页注明名称及批准号,本刊将优先刊登。

(1) 题目、作者署名及单位。题目力求简明、醒目,反映出文章的主题,一般不超过 20 个汉字。作者姓名在题目下按序排列,不同工作单位的作者,应在姓名右上角加注阿拉伯数字序号。作者单位须写全称并注明省份、城市和邮政编码。联系人信息(包括姓名,学历或职称,主要研究方向)注在第一页下方。

(2) 摘要及关键词。论文需要同时提供中文和英文摘要,摘要以提供论文的内容梗概为目的,不加评论和补充解释,应简明、确切地论述研究目的、原理和结论,具有相对独立性。中文和英文摘要均要求采用报道性摘要类型。具体要求:中英文摘要均为一段式,内容比较具体,一般需要列举关键数据。中英文摘要内容基本一致,中文摘要以 200~300 字为宜,英文摘要可略详。关键词要求 3~8 个。

(3) 正文。正文各部分都应简洁明了。层次标题一律用阿拉伯数字连续编号,尽量减少层次;不同层次的数字之间用小圆点相隔,末位数字不加标点符号。如“1”,“1.1”等。文中量、单位及符号的使用应符合国际标准和国家标准。

(4) 图表。图表要设计合理,简单自明。每一幅图都应有图序和简短确切的图名,横纵坐标均要注明物理量及其单位,线条图要用矢量格式的图,或将 *.opg, *.dwg, *.eps 等格式的图打包压缩随投稿一起上传。表格请使用三线表,每一表格都应有表序和简短确切的表题。图表标题一律用中文表达。

(5) 参考文献。以作者亲自阅读过的主要原始文献为限,不可引用非公开出版或发表的文献,不能引用其他文章中引用的但未经核对原文的文献,要注意引用最新的文献。参考文献要有一定的数量,研究性论文至少 15 篇。参考文献的著录按文章中引用的顺序依次排列,中文参考文献要有对照英文部分(英文部分不编号)。无论中外文的作者,一律采用姓前名后的形式著录;作者不超过 3 人时可全部著录,超过 3 人时,只著录前 3 位,其后加“等”或“et al”。综述类论文的参考文献著录项目适当简化,可参见本刊相关栏目文章样式。作者对所引文献的准确性和完整性负责。

3 投稿方式

请作者登陆“工程塑料网”(http://www.epa1973.com),进入杂志社之页,点击“网上投稿”后投稿。来稿请注明详细地址、电话、邮箱等信息,便于通知联系。一般一个月左右可以查询稿件审理意见,超过 3 个月未收到修改意见或回复的可自行处理。

4 注意事项

为适应我国信息化建设需要,扩大学术交流渠道,本刊已编入国内外著名数据库。稿件一经录用,将同时被数据库收录,作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意收录,请在投稿时声明,否则将视为同意。