复合材料学报
Acta Materiae Compositae Sinica
第 29 卷 第 4 期 8 月 2012 年
Vol. 29 No. 4 August 2012

文章编号：1000-3851(2012)04-0029-07

原位聚合法制备连续玻璃纤维增强 PCBT 复合材料及其性能

张翼鹏[1,2]，颜 春[1]，阮春寅[1]，丁江平[1]，刘俊龙[2]，范欣愉*[1]
（1. 中国科学院 宁波材料技术与工程研究所，宁波 315201；2. 大连工业大学 纺织与材料工程学院，大连 116034）

摘 要： 采用环状对苯二甲酸丁二醇酯(CBT)原位聚合制备了连续玻璃纤维(GF)增强聚环状对苯二甲酸丁二醇酯(PCBT)复合材料。考察了聚合反应中催化剂用量对 PCBT 结晶度以及 GF/PCBT 复合材料力学性能的影响。当催化剂用量为 0.5%(质量分数)时，PCBT 的结晶度为 53%，GF/PCBT 的力学性能达到最佳，拉伸强度为 522 MPa，拉伸模量为 27 GPa，弯曲强度为 481 MPa，弯曲模量为 24.8 GPa，层间剪切强度(ILSS)为 43 MPa。SEM 观察表明，发现催化剂用量为 0.5%时，树脂与纤维的结合性较好。进一步研究了淬火和退火后处理对复合材料力学性能的影响。发现复合材料退火处理后具有较好的力学性能，其中拉伸强度为 545 MPa，弯曲强度为 495 MPa。

关键词： 聚环状对苯二甲酸丁二醇酯；复合材料；原位聚合；真空辅助树脂灌注；力学性能；结晶度
中图分类号： TB332 **文献标志码：** A

Preparation and properties of continuous fiber reinforced PCBT composites by in-situ polymerization

ZHANG Yipeng[1,2], YAN Chun[1], RUAN Chunyin[1], DING Jiangping[1], LIU Junlong[2], FAN Xinyu*[1]
(1. Ningbo Institute of Materials Technology & Engineering, Chinese Academy of Sciences, Ningbo 315201, China;
2. School of Textile & Material Engineering, Dalian Polytechnic University, Dalian 116034, China)

Abstract: Continuous glass fiber (GF) reinforced poly(cyclic butylene terephthalate) (PCBT) composites were prepared via in-situ polymerization of cyclic butylene terephthalate (CBT). The effects of the catalyst contents on the crystallinity and the mechanical properties of GF/PCBT composites were studied. When the catalyst mass fraction reaches 0.5%, the crystallinity is 53% and the GF/PCBT composites show the highest values of mechanical properties, tensile strength 522 MPa, tensile modulus 27 GPa, flexural strength 481 MPa, flexural modulus 24.8 GPa and interlaminar shear strength (ILSS) 43 MPa. The SEM results show good bonding quality between the fiber and the matrix at 0.5% of catalyst. The effects of quenching and annealing treatments on the mechanical properties of GF/PCBT composites were further investigated. The results show that the improved mechanical properties after annealing treatment, tensile strength is 545 MPa and flexural strength is 495 MPa.

Keywords: poly(cyclic butylene terephthalate); composites; in-situ polymerization; vacuum assisted resin infusion; mechanical properties; crystallinity

连续纤维增强热塑性树脂基复合材料的研究受到了越来越多的关注。与热固性树脂相比，热塑性树脂具有很多优点，例如可回收利用，具有较好的韧性以及较短的成型周期等[1-2]。但是热塑性树脂的熔体黏度较高，达 50～2000 Pa·s[3]，使树脂难以完全浸润纤维。

环状对苯二甲酸丁二醇酯(CBT)是一种环状预聚物，其熔体黏度比较低，约 0.2 Pa·s。在锡类或钛类催化剂的作用下，CBT 可以发生开环反应，得到热塑性工程塑料——聚环状对苯二甲酸丁二醇酯(PCBT)[4]。由于 CBT 具有低黏度的特征，可以采用类似于传统热固性复合材料的工艺来制备热塑性复合材料。而且 PCBT 性能的优越性使连续玻璃纤维(GF)/PCBT 复合材料具有较高的强度、抗

收到初稿日期： 2011-08-11；**收到修改稿日期：** 2011-12-09；**网络出版时间：** 2012-03-12 15:42:14
网络出版地址： www.cnki.net/kcms/detail/11.1801.TB.20120312.1542.007.html
基金项目： 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KGCX2-EW-210)；宁波市自然科学基金(2011A610115)
通讯作者： 范欣愉，博士，研究员，主要从事复合材料制造相关科研工作 E-mail：xinyu.fan@nimte.ac.cn

冲击性和可回收利用性，在热塑性复合材料领域具有极大的应用潜力。

CBT 在 170～210 ℃范围内可以发生聚合反应，其聚合反应温度低于 PCBT 的结晶温度，聚合反应与 PCBT 的结晶过程同时进行[5-7]。因此选取 PCBT 低于熔点的温度使 CBT 进行开环聚合，可以降低能耗，同时操作相对简便。

到目前为止，关于连续纤维增强 PCBT 树脂的研究报道并不多见。Manson 采用树脂传递模塑(RTM)工艺制备了连续性纤维增强 PCBT 复合材料[3]。Parton 通过树脂灌注成型工艺制备 GF/PCBT 复合材料，仅研究了催化剂用量为 0.45%(质量分数)条件下 PCBT 基体的性能以及复合材料的力学性能[6]。Ishak 等通过热压成型的方法制备了连续玻璃纤维增强 PCBT 复合材料，研究了成型工艺对复合材料性能的影响[8]。然而催化剂用量和淬火、退火后处理对复合材料力学性能的影响尚无文献报道。

本文作者采用一种类似于 RTM 的工艺—真空辅助树脂灌注成型(VARI)工艺制备 GF/PCBT 复合材料，研究了不同催化剂用量对树脂基体的结晶度、复合材料力学性能及材料微观结构的影响，进一步探讨了淬火和退火后处理对 GF/PCBT 复合材料力学性能的影响。

1　实验方法

1.1　材　料

1.1.1　单体及催化剂

环状对苯二甲酸丁二醇酯(CBT®，CBT100)树脂，美国 Cyclics 公司。实验前 CBT 树脂在 100 ℃真空干燥箱中干燥 3～5 h 除去水分，防止水分对聚合反应产生影响以及使聚合物水解[6]。

二羟基丁基氯化锡，化学纯，纯度为 96%，相对分子量为 245 g/mol，ABCR 公司。

1.1.2　增强体

玻璃纤维平纹布，型号为 E－glass EW100－1000，江苏九鼎新材料股份有限公司生产。玻璃纤维平纹布使用前在 100 ℃真空干燥箱中干燥 3～5 h。

1.2　复合材料制备

采用 VARI 工艺制备 GF/PCBT 复合材料，纤维体积分数约为 50%，其工艺制备如图 1 所示。模温机由上海利德胜机械有限公司生产，型号为 LOT－10。模温机加热温度为 180 ℃，树脂采用油浴加热，温度为 180 ℃，在氮气保护的条件下采用机械搅拌使催化剂与树脂熔体混合均匀。当催化剂与 CBT 熔体混合均匀后，抽真空，迅速将树脂灌注到纤维织物中，由于 CBT 熔体黏度在短时间内迅速上升，整个树脂注射窗口时间约为 150～180 s。

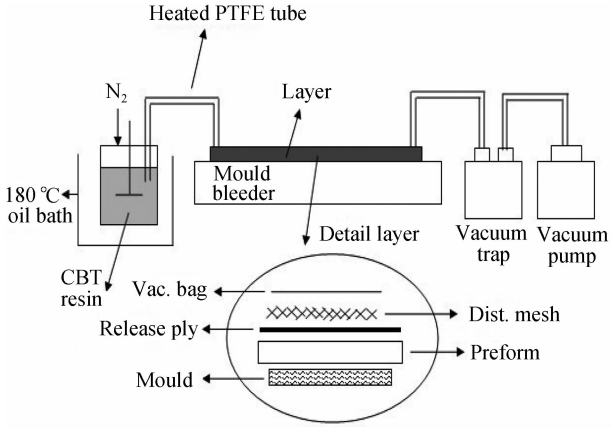

图 1　采用 VARI 工艺制备 GF/PCBT 复合材料示意图

Fig. 1　Sketch map of VARI process for GF/PCBT composites

1.3　PCBT 特性黏度测定

PCBT 的特性黏度采用德国 SCHOTT AVS 370 型乌氏黏度计，根据 GB/T 14190－2008 标准进行测定和计算，其实验温度为 30.0 ℃±0.1 ℃，溶剂为苯酚/1,1,2,2-四氯乙烷(质量比 60∶40)，溶液浓度为 0.5 g/dL。根据 Mark-Houwink 经验公式：

$$[\eta] = KM_{\mathrm{PCBT}}^{\alpha} \tag{1}$$

可得

$$M_{\mathrm{PCBT}} = \left(\frac{[\eta]}{K}\right)^{1/\alpha} \tag{2}$$

式中：$[\eta]$ 为 PCBT 的特性黏度；M_{PCBT} 为黏均分子量；$K = 21.5 \times 10^{-3}$ mL/g；$\alpha = 0.82$ [9]。

1.4　PCBT 结晶度测试

采用瑞士 METTLEER TOLEDO 公司的 DSC 1 型差示扫描量热仪(DSC)测定 PCBT 的吸热焓，在氮气氛围下升温速度为 5 ℃/min。通过下式计算得到聚合物的结晶度：

$$X_{\mathrm{c}} = \frac{\Delta H_i}{\Delta H_0} \times 100\% \tag{3}$$

其中：X_{c} 为聚合物的结晶度；ΔH_i 为不同催化剂用量下聚合物熔融吸热焓；ΔH_0 为聚对苯二甲酸丁二醇酯(PBT)标准吸热焓，ΔH_0 =21.2 kJ/mol [10]。

1.5　复合材料力学性能测试

拉伸强度测试按 ASTM D3039/D3039M－00 标准，在 Instron5985 万能材料试验机上进行测试。

试样尺寸为 250 mm×25 mm×2 mm，加强片 50 mm×25 mm，引伸计为摄像引伸计，拉伸速度为 2 mm/min，测试试样数为 10 个。

弯曲强度测试按 ASTM D7264/D7264M－07 标准，在 Instron5985 万能材料试验机上进行测试。试样尺寸为宽度 13 mm，跨厚比 32∶1，试样长度是跨度的 1.2 倍，加载速度为 1 mm/min，测试试样数为 10 个。

层间剪切强度(ILSS)测试按 ASTM D2344/D2344M－00 标准，在 Instron5567 万能材料试验机上进行测试。试样尺寸为长∶跨∶宽∶厚＝6∶4∶2∶1，试样厚度大约 2 mm，加载速度为 1 mm/min，测试试样数为 10 个。通过下式计算层间剪切强度：

$$\mathrm{ILSS} = 0.75 \times \frac{P_m}{b \times h} \tag{4}$$

其中：P_m 是最大载荷；b 和 h 分别是试样的宽度和厚度。

1.6 复合材料微观形貌观察

采用日本 Hitachi FE-SEM S－4800 型扫描电镜(SEM)观察复合材料的断裂形貌，测试前样品表面需要喷金处理。

1.7 复合材料淬火和退火处理

对 GF/PCBT 复合材料进行淬火处理方法为：将 GF/PCBT 复合材料加热至 240 ℃(PCBT 熔点之上)，恒温 30 min 后，将复合材料迅速冷却至室温；退火处理方法：将 GF/PCBT 复合材料加热至 240 ℃，恒温 30 min 后停止加热，自然冷却至室温。

2 结果与讨论

2.1 催化剂用量对 PCBT 分子量的影响

采用乌氏黏度计测试出 PCBT 的特性黏度，再根据公式(2)计算得到 PCBT 的黏均分子量，其结果如表1所示。可以看出，随着催化剂用量的增加，PCBT 的黏均分子量也逐渐增大。其原因是，随着催化剂用量的增加，可反应的活性中心数量增加，活性中心与单体迅速发生加成反应，使分子链增长，其反应机制如图 2 所示。由于在此反应过程中，聚合反应与生成的聚合物结晶过程是同步进行的：当催化剂用量较少时，链增长反应的速度较低，需要的聚合反应时间较长，当聚合进行一段时间后，生成的聚合物会发生结晶从而阻碍聚合反应的进一步进行，因此得到聚合物的分子量较低。随着催化剂用量的增加，体系中活性中心的数量增加，链增长反应的速度增加，因而聚合物的分子量逐渐增大。当催化剂用量为 0.5%时，反应体系中的活性中心的数量足以使得聚合物分子量达到较高的程度，因此进一步增加催化剂的用量，聚合物的分子量变化并不明显。

表 1 不同催化剂用量反应得到 PCBT 的黏均分子量

Table 1 Viscosity-average molecular weight of PCBT with different mass fractions of catalyst

Catalyst mass fraction/%	Viscosity-average molecular weight
0.0	1047
0.3	5238
0.4	13212
0.5	18744
0.6	18951

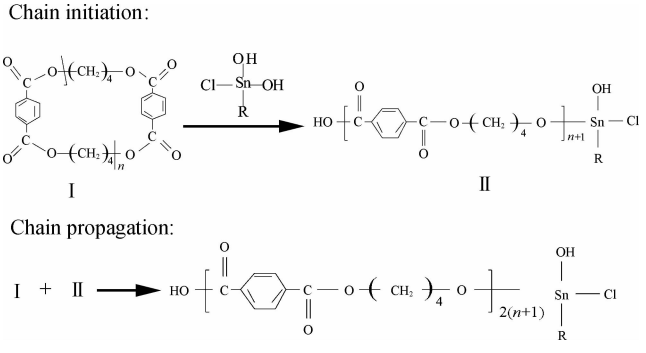

图 2 CBT 在催化剂引发下开环聚合反应[11]

Fig. 2 Ring-opening polymerization of CBT with Sn-containing initiator[11]

2.2 催化剂用量对 PCBT 结晶度的影响

将不同催化剂用量下反应得到的聚合物采用 DSC 进行温度扫描，发现随着催化剂用量增加，PCBT 的熔融吸热焓也逐渐增加，如图 3 所示。

将图 3 中各聚合物的熔融吸热焓代入公式(3)进行计算，得到不同催化剂用量下反应得到聚合物的结晶度，见表 2。可以看出，随着催化剂用量增加，聚合物结晶度逐渐增加。这是因为催化剂用量为 0.3%时，CBT 开环聚合反应速率较低，由于 CBT 的开环聚合反应与 PCBT 的结晶过程同时进行，可能会导致 PCBT 分子结晶不完全。当催化剂用量超过 0.5%时，CBT 开环聚合速率较快，PCBT 的分子结晶比较完全，因而结晶度较高。

2.3 催化剂用量对复合材料力学性能的影响

图4为催化剂用量对复合材料力学性能的影

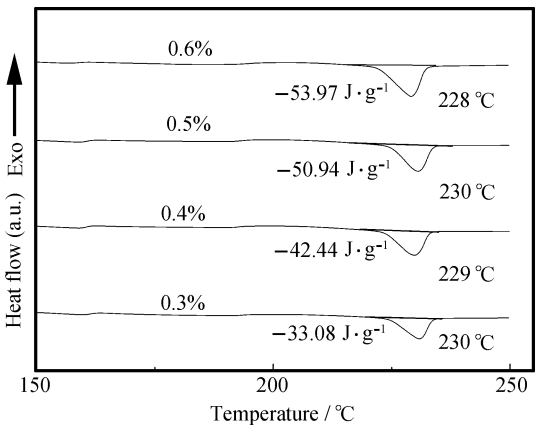

图 3　不同催化剂用量聚合物的 DSC 扫描曲线

Fig. 3　DSC scanning of PCBT with different mass fractions of catalyst

表 2　不同催化剂用量反应得到 PCBT 的结晶度

Table 2　Crystallinity of PCBT with different mass fractions of catalyst

Catalyst mass fraction/%	ΔH/(J·g^{-1})	X_c/%
0.3	−33.08	34
0.4	−42.44	44
0.5	−50.94	53
0.6	−53.97	56

响。可以看出，GF/PCBT 复合材料的力学性能变化趋势相似。当催化剂用量为 0.3%时，复合材料的力学性能均为最低值。随着催化剂用量的增加，GF/PCBT 复合材料的力学性能增加。当催化剂用量为 0.5%时，复合材料的力学性能达到最佳，拉伸强度为522 MPa，拉伸模量为 27 GPa，弯曲强度为 481 MPa，弯曲模量为 24.8 GPa，层间剪切强度(ILSS)为 43 MPa。与催化剂用量为 0.3%相比，拉伸强度增幅为 26%，拉伸模量增幅为 16.7%，弯曲强度增幅为 212%，弯曲模量增幅为 8.3%，ILSS 增幅为 73.4%。当催化剂用量超过 0.5%时，复合材料的力学性能变化不大。

当催化剂用量为 0.3%时，聚合反应速率较慢，由于受聚合反应与聚合物结晶同时进行的影响，导致 PCBT 的分子量较低，使得 GF/PCBT 复合材料力学性能较低。当催化剂用量逐渐增加时，聚合反应速率随之增加，PCBT 的分子量逐渐增大，聚合物中的晶核随之增多，晶粒数量增加，即作为物理交联点的结晶粒子增多，由于一个物理交联点可以同时连接几条分子链，一条分子链也可以同时连接几个物理交联点，在受力过程中，物理交联点可以

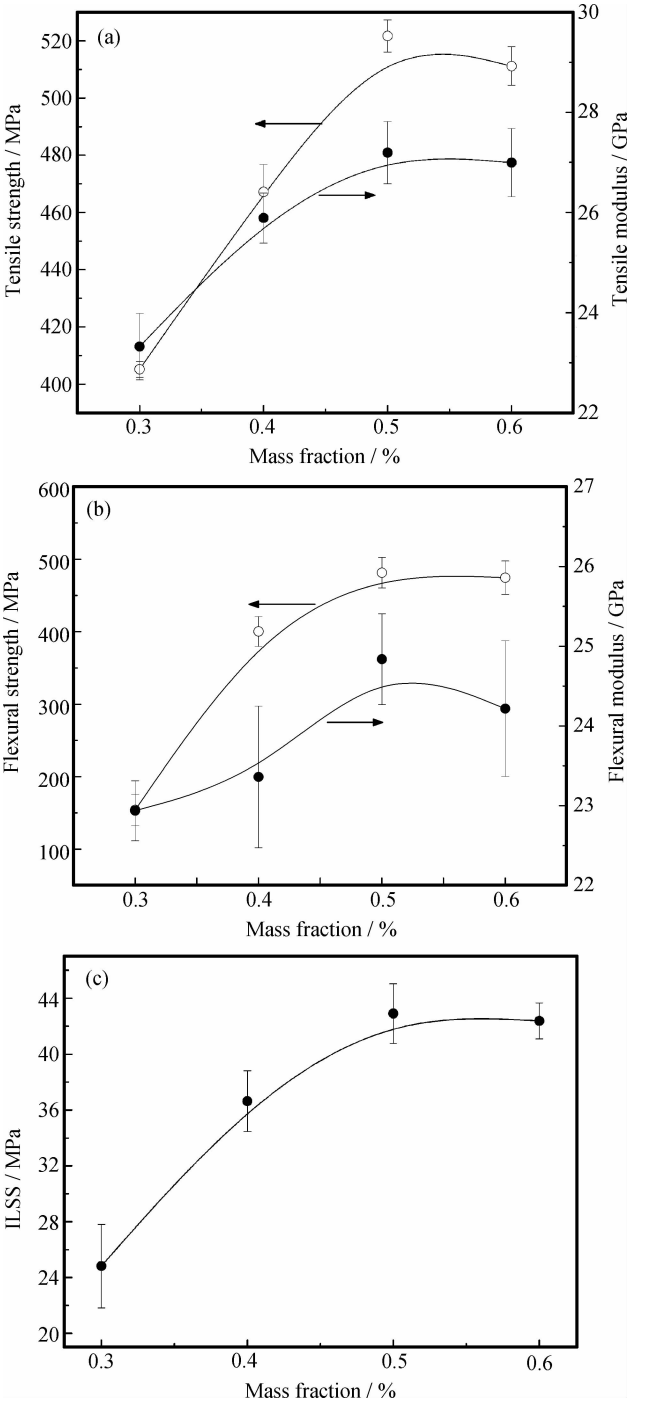

图 4　催化剂用量对 GF/PCBT 复合材料力学性能的影响

Fig. 4　Effects of mass fractions of catalyst on properties of GF/PCBT composites (Fiber volume fraction is about 50%)

均化受力，降低断链的可能性，因此 GF/PCBT 复合材料的力学性能增加。当催化剂用量从 0.5%增加至 0.6%时，PCBT 的分子量和结晶度略有增加，此时晶粒紧密堆砌相互拥挤，不易生成新的晶核，即物理交联点没有增加，因此，此时复合材料的强度和模量增长趋于平缓[12-13]。

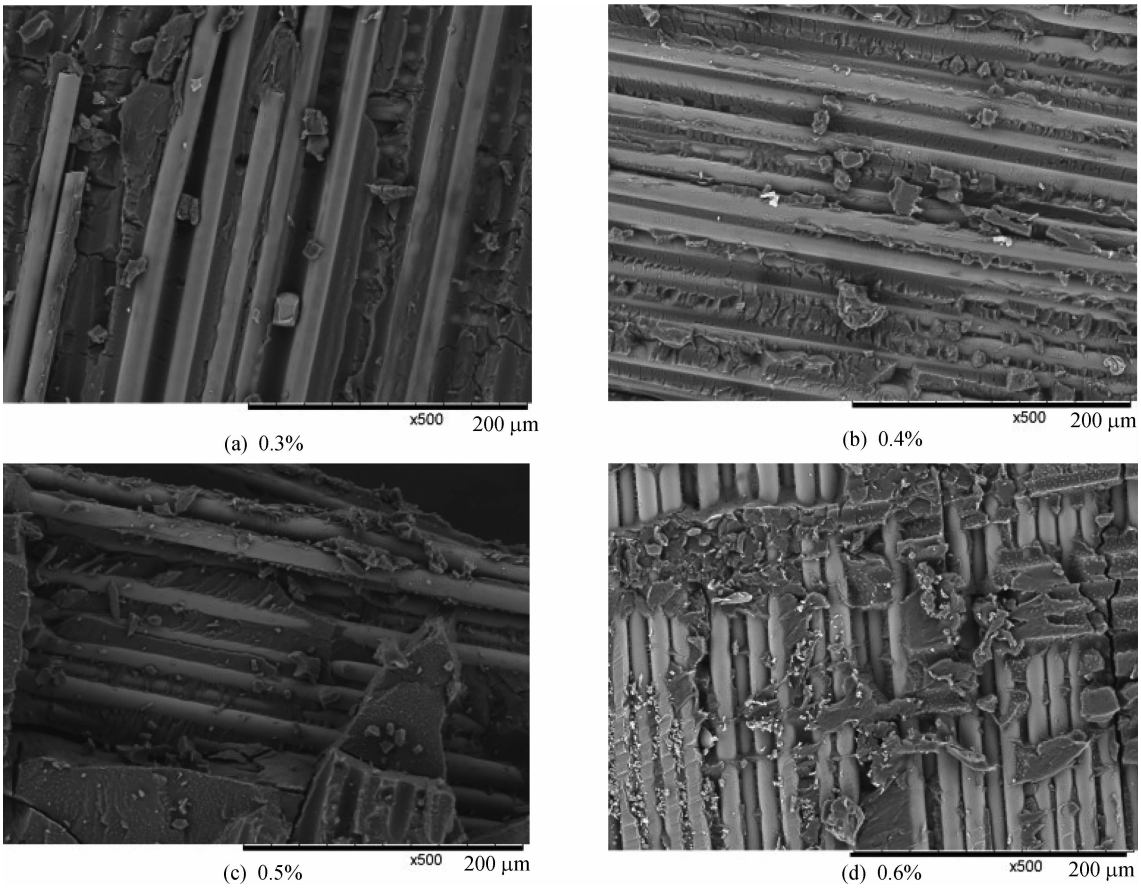

图 5 不同催化剂用量 GF/PCBT 复合材料拉伸试件断裂面的 SEM 照片

Fig. 5 SEM micrographs of the fracture surfaces of the GF/PCBT composites with different mass fractions of catalyst

2.4 催化剂用量对复合材料微观形貌的影响

图 5 为不同催化剂用量 GF/PCBT 复合材料拉伸试件断裂面的 SEM 照片。可以看出，当催化剂用量为 0.3%时，材料拉伸测试断裂面的纤维上附着的树脂非常少，纤维与树脂完全分离后在树脂表面形成光滑的凹槽，说明树脂与纤维的界面结合性较差，宏观上表现为复合材料力学性能较差。催化剂用量为 0.5%和 0.6%时，拉伸测试后断裂面的纤维上仍然包覆着树脂，树脂与纤维结合性较好，宏观上表现为力学性能较好。这是因为当催化剂用量为 0.3%时，得到 PCBT 的分子量较低，因此树脂基体的强度及韧性较差。因此在外力作用下树脂极易脱离纤维表面，在微观结构上表现为树脂与纤维的界面结合较差。随着催化剂的用量增加，得到 PCBT 的分子量增大，因此树脂基体的强度及韧性随之增大。因此在外力作用下树脂不容易脱离纤维表面，在微观结构上表现为树脂与纤维的界面结合较好。

2.5 淬火和退火后处理对复合材料力学性能的影响

淬火和退火后处理对 GF/PCBT 复合材料的力学性能有着显著影响。经过不同后处理方式的复合材料力学性能如表 3 所示。可以看出，后处理方式不同，得到的 GF/PCBT 复合材料的拉伸强度、弯曲强度、ILSS 以及弹性模量变化比较明显。发现退火处理后 GF/PCBT 复合材料的力学性能增强，其拉伸强度较未处理时增加 4.4%；淬火处理后 GF/PCBT 复合材料的力学性能降低，其拉伸强度较未处理时降低了 12.6%。

图 6 为不同后处理方式 GF/PCBT 复合材料的应力-应变曲线。可以看出，尽管后处理方式不同，但是三组试样的拉伸应力-应变曲线却具有相似的形状。这是因为拉伸应力-应变曲线主要是由增强体和基体的性质决定的，一般而言，在不改变增强体和基体的种类的情况下，复合材料的伸应力-应变曲线的形状也不会改变[12]。

退火处理会使 PCBT 的结晶更加完全，晶体尺寸增大[14]。高聚物的结晶度越高，微晶及球晶的尺寸越大，其强度和模量也越高[15]。因此，退火处理使 GF/PCBT 复合材料的力学性能增强。而淬火

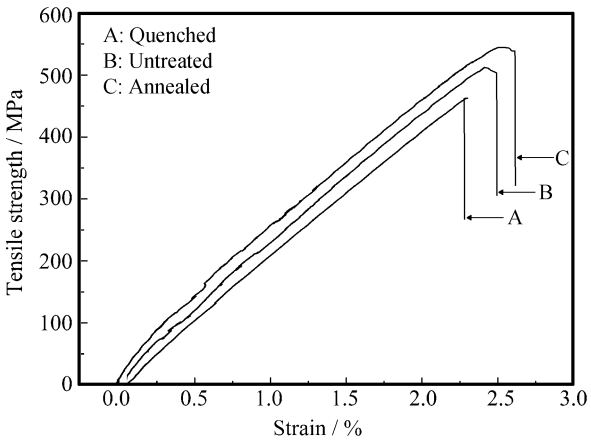

图 6　不同后处理方式 GF/PCBT 复合材料的应力-应变曲线

Fig. 6　Stress－strain curves of GF/PCBT composites with different treatments

表 3　不同后处理方式 GF/PCBT 复合材料的力学性能

Table 3　Mechanical properties of GF/PCBT composites with different treatments

	Quenched	Untreated	Annealed
Tensile strength/MPa	456.0	522	545
Tensile modulus/GPa	23.8	27	26.4
Flexural strength/MPa	415.6	481	495
Flexural modulus/GPa	24.6	24.8	25.8
ILSS/MPa	39.7	43	42.0

处理导致 PCBT 的结晶不完全，无定形成分增加，因此 GF/PCBT 复合材料的力学性能降低。

3　结　论

(1) 催化剂用量增加导致环状对苯二甲酸丁二醇酯(CBT)的聚合反应速率增大，同时得到聚环状对苯二甲酸丁二醇酯(PCBT)的相对分子量增大。

(2) 催化剂用量从 0.3% 增加到 0.6% 时，PCBT 结晶度由 34% 逐渐增大到 56%；当超过 0.5%时，聚合物结晶进入晶型完善期，结晶度变化不大。

(3) 催化剂用量为 0.5%时，复合材料的力学性能最好，拉伸强度为 522 MPa，弯曲强度为 481 MPa，层间剪切强度(ILSS)为 43 MPa；同时发现树脂与纤维结合性较好，宏观上表现为力学性能较高。但催化剂的用量超过 0.5%时，由于增加催化剂的用量会加速聚合反应速率，缩短树脂注射时间窗口，而且复合材料的性能趋于稳定。

(4) 经退火处理后复合材料具有较好的力学性能，拉伸强度为 545 MPa，弯曲强度为 495 MPa，ILSS 为 42 MPa，而淬火处理后复合材料力学性能降低。

参考文献：

[1] Wakeman M D, Rudd C D. Compression molding of thermoplastic composites [M] // Kelly Anthony. Comprehensive Composite Materials. Oxford: Elsevier Science Ltd, 2000: 915-963.

[2] Gibson A G. Continuous molding of thermoplastic composites [M] // Kelly Anthony. Comprehensive Composite Materials. Oxford: Elsevier Science Ltd, 2000: 979-998.

[3] Manson J A E, Wakeman M D, Bernet N. Composite processing and manufacturing: An overview [M] // Kelly Anthony. Comprehensive Composite Materials. Oxford: Elsevier Science Ltd, 2000: 577-607.

[4] Pang K, Kotek R, Tonelli A. Review of conventional and novel polymerization processes for polyesters [J]. Progress in Polymer Science, 2006, 31(11): 1009-1037.

[5] Wunderlich B. Crystallization during polymerization [J]. Advanced Polymer Science, 1968, 5(1): 568-619.

[6] Parton H. Characterisation of the in - situ polymerisation production process for continuous fibre reinforced thermoplastics [D]. Belgium: Katholieke Universiteit Leuven, 2006.

[7] Ishak Z A M, Shang P P, Karger Kocsis J. A modulated DSC study on the in situ polymerization of cyclic butylene terephthalate oligomers [J]. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2006, 84(3): 637-641.

[8] Ishak Z A M, Leong Y W, Steeg M, Karger Kocsis J. Mechanical properties of oven glass fabric reinforced in situ polymerized poly (butylene terephthalate) omposites [J]. Composites Science and Technology, 2007, 67(3/4): 390-398.

[9] Samperi Filippo, Puglisi Concetto, Alicata Rossana, Montaudo Giorgio. Thermal degradation of poly (butylene terephthalate) at the processing temperature [J]. Polymer Degradation and Stability, 2004, 83(1): 11-17.

[10] Mark James E. Polymer data handbook [M]. Oxford: Oxford University Press, 1999: 439-441.

[11] Brunelle D J, Bradt E J, Serth Guzzo J, Takekoshi T, Evans T L, Pearce E J, Wilso P R. Semicrystalline polymers via ring-opening polymerization: Preparation and polymerization of alkylene phthalate cyclic oligomers [J]. Macromolecules. 1998, 31(15): 4782-4790.

[12] 江云涛，黄佃平，邵华锋，姚　薇，黄宝琛. 结晶度对聚丁烯-1 力学性能的影响 [J]. 现代塑料加工应用，2008，20(1)：26-29.
Jiang Yuntao, Huang Dianping, Shao Huafeng, Yao Wei,

Huang Baochen. Effect of crystallinity on mechanics property of polybutene - 1 [J]. Modern Plastics Processing and Applications, 2008, 20(1): 26-29.

[13] 洪月蓉，张 玲，牛建华，张天水，李春忠. 弹性体修饰纳米 SiO_2 粒子改性 PBT [J]. 复合材料学报，2009，26(3)：55-59.
Hong Yuerong, Zhang Ling, Niu Jianhua, Zhang Tianshui, Li Chunzhong. PBT matrix composites with elastomer-modified nano-SiO_2 particles [J]. Acta Mateiae Compositae Sinica, 2009, 26(3): 55-59.

[14] 张 翔，李玉宝，左 奕，吕国玉. 加工工艺对 n-HA/PA66 复合材料结晶行为和力学性能的影响 [J]. 复合材料学报，2007，24(3)：72-77.
Zhang Xiang, Li Yubao, Zuo Yi, Lü Guoyu. Effects of processing conditions on crystallization behavior and mechanical properties of n-HA/PA66 composites [J]. Acta Mateiae Compositae Sinica, 2007, 24(3): 72-77.

[15] 樊在霞，张 瑜，陈彦模. 冷却方式对 GF/PP 复合纱针织物复合材料拉伸性能的影响 [J]. 玻璃钢/复合材料，2007(1)：13-15.
Fan Zaixia, Zhang Yu, Chen Yanmo. Effects of cooling condition on tensile properties of GF/PP composites made from commingled yarns [J]. FRP/CM, 2007(1): 13-15.

（上接第 9 页）

KEYWORDS FOR COMPOSITES

C: ANALYSIS

analytical modelling
computational modelling
damage mechanics
finite element analysis(FEA)
laminate mechanics
micro-mechanics
numerical analysis
statistical properties/methods

D: TESTING

acoustic emission
chemical analysis
electron microscopy
fractography
mechanical testing
non-destructive testingoptical microscopy
physical methods of analysis
process monitoring
radiography
surface analysis
thermal analysis
ultrasonics

E: MANUFACTURING/PROCESSING

assembly
autoclave
automation
braiding
casting
chemical vapour deposition (CVD)
compression mouldingconsolidation
cure
cutting
extrusion
fibre conversion processes
filament winding
forging
forming
heat treatment
injection moulding
isostatic processing
joints/joining
knitting
lay-up(manual/automated)
liquid metal infiltration
machining
melt-spinning
moulding compounds
powder processing
preform
prepreg
pultrusion
recycling
resin film infiltration(RFI)
resin flow
resin transfer moulding (RTM)
sintering
slip casting
stitching
surface treatments
tape
thermal analysis
thermoplastic resin
thermosetting resin
tooling
tow
weaving

(from *Composites Part A*)