

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.02.011

PP / 碳纤维复合材料力学性能的研究^{*}

冉红孟,廖秋慧,陶振刚,连道君,张忆顺,吴慧君

(上海工程技术大学材料工程学院,上海 201620)

摘要:综合考虑碳纤维材料的加工适应性以及对基体力学性能改善的能力,分别选取了短切碳纤维和碳纤维粉末作为增强相,比较了它们对于 PP 的增强效果以及加工的难易,通过测定拉伸性能和冲击韧性考察了短切碳纤维的含量以及碳纤维粉末的含量对各自复合材料力学性能的影响。结果表明,随着碳纤维含量的增加,两种复合材料的冲击韧性以及拉伸性能都呈先增加后减小的趋势,短切碳纤维作为增强相对于基体树脂的力学性能增强效果更为显著,碳纤维粉末作为增强相的复合材料加工适应性强,性能更加稳定,该研究对碳纤维制品的实际注塑生产具有十分重要的意义。

关键词: PP / 碳纤维复合材料; 拉伸强度; 冲击韧性

中图分类号: TQ325 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)02-0047-04

Research on Mechanical Properties of Carbon Fiber Reinforced PP Composites

Ran Hongmeng, Liao Qiuhui, Tao Zhengang, Lian Daojun, Zhang Yishun, Wu Huijun

(College of Materials Engineering, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai 201620, China)

Abstract : In consideration of the difficulty of producing and the ability of property improving, short carbon fiber and carbon fiber powder were selected as reinforced phase to compare the improving effect and producing difficulty of them, the influences of short carbon fiber / carbon fiber powder on the mechanical properties of these two composite materials were discussed by determining tensile property and impact toughness. The results show that with the content of carbon fiber increase, the impact toughness and the tensile property of these two composite materials increase first and then reduce, the reinforce effect of mechanical property are more obvious if short carbon fiber is chosen as the reinforced phase, on the contrary, when carbon fiber powder is chosen to be reinforced phase, a composite material with more stable property and easier producing adaptability is acquired, which is instructive to the actual injection production of carbon fiber products.

Keywords : PP / CF composite ; tensile strength ; impact toughness

碳纤维是含碳量高于 90% 的无机高分子纤维,按其原料可分为 3 类:聚丙烯腈基(PAN)碳纤维、石油沥青基碳纤维和人造丝碳纤维,其中聚丙烯腈基碳纤维用途最广,需求量也最大,碳纤维是通过有机母体纤维(聚丙烯腈、粘胶丝或沥青等)高温(1 000 ~ 3 000℃,惰性气体环境)分解,碳化制成的,碳纤维增强复合材料(CFRP)是以碳纤维作为增强体的复合材料,与传统材料相比,它具有高比强度、高比模量、质量轻等优越性能,密度不到钢的 1 / 4,能像铜那样导电,比不锈钢还耐腐蚀,拉伸强度一般都在 3 500 MPa 以上,是钢的 7 ~ 9 倍,拉伸弹性模量为 23 000 ~ 43 000 MPa,也高于钢,在新型民用超音速飞机、水下核潜艇、高速列车等尖端科学技术领域以及建筑、机械、化工等领域得到愈来愈广泛的应用,并且在某些领域有逐步取代传统金属材料的趋

势^[1-5]。

碳纤维的加入大大改善材料的力学性能,目前市场上的碳纤维主要有纤维态、粉末态两种,对于纤维态碳纤维,由于本身纤维的形态可以承受高强度的力学性能,但对于大型复合制品,由于纤维表面的静电吸引作用,导致纤维和基体很难均匀混合所以加工成型的难度大、成本高,而对于粉末态碳纤维的复合制品,其力学性能略逊,但是加工成型则较容易,笔者通过测定短切碳纤维增强 PP 复合材料以

^{*} 国家自然科学基金项目(51275283),2014 年上海市大学生创新训练项目(cs1405003),上海工程技术大学研究生科研创新项目(14KY0516)

联系人:廖秋慧,副教授,主要研究模具 CAD/CAM、塑性成型工艺及设备、塑料成型工艺

收稿日期:2014-11-24

及碳纤维粉末增强 PP 复合材料的力学性能,考察了短切碳纤维以及碳纤维粉末的含量对各自复合材料力学性能的影响,最后比较了两者的对于基体树脂 (PP) 的增强效果以及加工的难易,这为生产实际中使用碳纤维的形态选择提供了参考。

1 实验部分

1.1 实验原材料

短切碳纤维增强 PP 复合材料: 东莞常平塑胶化工经营部;

碳纤维粉、PP: 广东茂名石化实华股份有限公司。

1.2 仪器及设备

注塑机: EM150-SVP 型, 震雄集团;

熔体流动速率测定仪: ZXNR-400A 型, 上海左科仪器设备有限公司;

拉伸试验机: TCS-2000 型, 台湾高铁科技股份有限公司;

简支梁摆锤式冲击试验机: 扬州市江都道纯试验机械厂;

锥形双螺杆挤出机: SJSZ20 / 40 型, 武汉怡扬塑料机械厂。

1.3 试样制备

(1) 碳纤维粉末增强 PP 复合材料。

按照不同质量分数混合碳纤维粉末和 PP (CF 质量分数分别为 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, 30%, 35%) 配置 7 个试样, 再使用研磨机混料, 运用双螺杆挤出机制备 PP / 碳纤维材料。模头一区温度为 210℃, 机筒三区温度为 220℃, 机筒二区温度为 200℃, 机筒一区温度为 170℃。将挤出后条状物用切粒机粉碎, 就得到了碳纤维粉末增强 PP 复合材料的粒料, 进一步注射成型, 温度为 200℃, 压力为 70 MPa。

(2) 短切碳纤维增强 PP 复合材料。

对短切碳纤维质量分数为 2%, 4%, 5%, 7%, 10%, 15% 的 6 种短切碳纤维增强 PP 复合材料进行注塑。在 5 种不同注塑工艺条件 (注塑温度和注塑压力分别为 190℃ / 50 MPa, 190℃ / 60 MPa, 190℃ / 70 MPa, 200℃ / 70 MPa, 210℃ / 70 MPa) 下制得试样。

1.4 性能测试

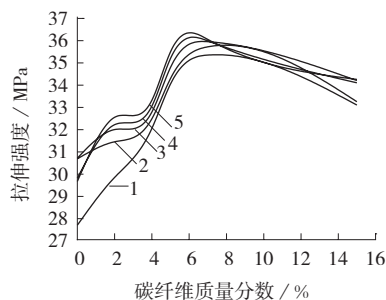
拉伸性能按照 GB 1040-1992 测试;

冲击性能按照 GB / T 1352-1992 测试。

2 结果与讨论

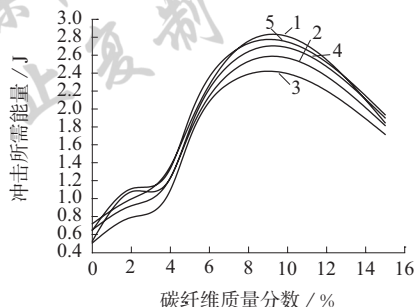
2.1 短切碳纤维含量对短切碳纤维增强 PP 材料的力学性能影响

短切碳纤维含量对增强 PP 复合材料拉伸性能的影响如图 1 所示。短切碳纤维含量对增强 PP 复合材料冲击韧性的影响如图 2 所示。



1—190℃ / 50 MPa; 2—190℃ / 60 MPa;
3—190℃ / 70 MPa; 4—200℃ / 70 MPa;
5—210℃ / 70 MPa

图 1 短切碳纤维含量对增强 PP 复合材料拉伸性能的影响



1—190℃ / 50 MPa; 2—190℃ / 60 MPa;
3—190℃ / 70 MPa; 4—200℃ / 70 MPa;
5—210℃ / 70 MPa

图 2 短切碳纤维含量对增强 PP 复合材料冲击性能的影响

从图 1 可以看出, 在图中各个工艺条件下, 材料的拉伸性能随着纤维含量的增加的变化趋势基本一致, 基本上都是呈先增加后减小的趋势, 且当纤维质量分数达到 6%~8% 时, 材料的拉伸强度达到极值。

从图 2 可以看出, 在各个工艺条件下, 复合材料的冲击性能随着纤维含量的增加的变化趋势基本一致, 基本上都是呈先增加后减小的趋势, 且当纤维质量分数达到 8%~9% 时, 材料的冲击韧性达到极值。

综上所述, 可以发现随着短切碳纤维含量的增加, 短切碳纤维增强 PP 复合材料的拉伸性能变化趋势与冲击韧性的变化趋势相似, 且极值处的碳纤维含量也基本一致 (8% 左右)。

这是因为对于短切碳纤维增强 PP 复合材料当碳纤维质量分数低于 8% 时, 碳纤维和 PP 基体之间由于锚定效应、化学键合等各种效应的作用形成了

有效的粘结界面,同时,随着碳纤维含量的增加,碳纤维表面的沟槽以及不饱和基团增多,锚定效应和化学键合效应加强,基体树脂和碳纤维之间的界面结合更加充分,也就是说这种界面的强度随着碳纤维含量的增加显著增加,所以宏观上表现其拉伸性能以及冲击性能显著增加。但随着碳纤维含量的持续增加,碳纤维断裂加剧,碳纤维在制品内出现团聚现象,团聚后的纤维由于同基体树脂之间没有形成界面结合,导致基体无法将应力传递给碳纤维,碳纤维团聚处相当于复合材料的缺陷,将成为破坏时的裂纹源,所以随着碳纤维含量的增加,材料的拉伸性能以及冲击性能有所降低。

2.2 碳纤维粉末含量对碳纤维粉末增强 PP 复合材料的力学性能影响

不同碳纤维粉末含量对碳纤维粉末增强 PP 复合材料拉伸性能的影响如图 3 所示。图 4 示出不同碳纤维粉末含量对碳纤维粉末增强 PP 复合材料冲击性能的影响。

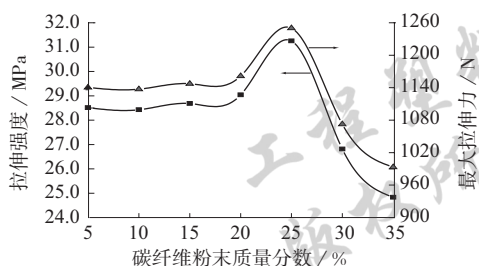


图 3 碳纤维粉末含量对碳纤维粉末增强 PP 材料拉伸性能的影响

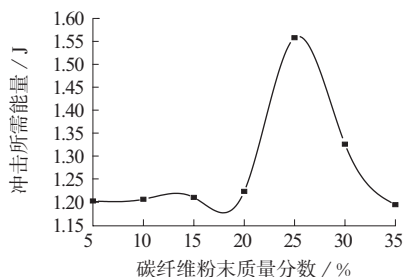


图 4 碳纤维粉末含量对碳纤维粉末增强 PP 材料冲击性能的影响

由图 3 可知,在实验范围内,当碳纤维粉末质量分数低于 20% 时,随着碳纤维粉末含量的增加,复合材料的拉伸强度以及最大拉伸力变化不大,当碳纤维粉末质量分数超过 20% 时,复合材料的拉伸强度以及最大拉伸力随着碳纤维粉末含量的增加而增加,且在碳纤维粉末质量分数达到 25% 时,拉伸强度以及最大力达到极值,当纤维粉末质量分数超过 25%,拉伸强度以及最大拉伸力反而降低。

由图 4 可以看出,在实验范围内,当碳纤维粉

末质量分数低于 20% 时,随着碳纤维粉末含量的增加,复合材料的冲击韧性变化不大,当碳纤维粉末质量分数超过 20% 时,复合材料的冲击韧性随着碳纤维粉末含量的增加而增加,且在碳纤维粉末含量达到 25%,冲击韧性达到极值,当碳纤维粉末质量分数超过 25%,冲击韧性有所降低。由此可知,在实际生产中碳纤维粉末质量分数控制在 25% 左右可以得到冲击性能优良的复合材料。

同样可以发现随着碳纤维粉末含量的增加,碳纤维粉末增强 PP 复合材料的拉伸性能变化趋势与冲击韧性的变化趋势也相似,且极值处的碳纤维质量分数也基本一致都为 25% 左右。

出现以上现象的原因是,当碳纤维粉末质量分数低于 25% 时,碳纤维粉末和 PP 基体之间形成了有效的粘结界面,界面的强度随着纤维粉末含量的增加显著增加,所以宏观上表现其拉伸性能以及冲击性能显著增加,但随着纤维粉末含量的持续增加,碳纤维粉末在制品内出现团聚现象,所以后期随着碳纤维粉末含量的增加,材料的拉伸性能以及冲击性能有所降低。

此外,通过对比碳纤维粉末增强 PP 材料和短切碳纤维增强 PP 复合材料的拉伸性能以及冲击韧性随着纤维含量增加的变化趋势,可以发现,短切碳纤维的增强效果要强于粉体。这是因为第一,短切碳纤维本身的力学性能优于碳纤维粉;其次,短切碳纤维由于其纤维形态的特点可以承受更高的应力,另外,还可以看出短切碳纤维比碳纤维粉末更容易发生团聚,这是由于碳纤维粉末与 PP 粉末形态接近,更容易分散,混合更加均匀,客观上避免了团聚现象的发生,而短切碳纤维由于呈纤维状,彼此间由于静电作用更容易聚集在一起,发生团聚的概率也就更大一些^[6-7]。从化学键理论的角度分析,粉末态的碳纤维表面的不饱和基团与树脂基团接触面更大,反应的活性更大,发生的反应更充分,所以不容易团聚。因此,在实际生产中,对于力学性能要求不很高的大型零部件,采用碳纤维粉末作为增强相比短切碳纤维更加适合,而对于力学性能要求很高的大型零部件,使用短切碳纤维更加适合,但是需要注意加入的短切碳纤维含量,避免加工过程中团聚现象的发生。

4 结论

(1) 随着碳纤维含量的增加,两种复合材料的冲击性能以及拉伸性能都呈先增加后减小的趋势;

(2) 短切碳纤维增强 PP 复合材料的力学性能在碳纤维质量分数达到 8% 左右达到极值,碳纤维粉末增强 PP 复合材料的力学性能在碳纤维质量分数达到 25% 左右达到极值;

(3) 短切碳纤维作为增强相对基体树脂的力学性能增强效果更为显著,碳纤维粉末由于其粉末形态,更容易均匀分散于基体树脂之中,其加工适应性强,性能更加稳定。实验对于碳纤维复合制品的实际工艺生产具有一定的借鉴意义。

参考文献

- [1] 黄汉生. 复合材料在飞机和汽车上的应用动向(一)[J]. 高科技纤维与应用, 2004, 29(5): 16-23.
Huang Hansheng. Composites applications trends in aerospace and automobiles[J]. Hi-tech Fibers & Applications, 2004, 29(5): 16-23
- [2] 章勇. 世界“未来飞机”市场: C919 的未来能否真正给力?[J]. 中国科技财富, 2011(3): 44-45.
Zhang Yong. Would C919 be truly brilliant in the future market of the world? [J]. Fortune World, 2011(3): 44-45.
- [3] 任勇生, 刘立厚. 纤维增强复合材料结构阻尼研究进展[J]. 力学与实践, 2004, 26(1): 10-16.
Ren Yongsheng, Liu Lihou. Advances in damping analysis and design of fiber reinforced composite material structures[J]. Mechanics in Engineering, 2004, 26(1): 10-16.
- [4] 任慧韬, 姚谦峰, 胡安妮. 纤维增强复合材料的耐久性能试验研究[J]. 建筑材料学报, 2005, 8(5): 520-526.
Ren Huitao, Yao Qianfeng, Hu Anni. Experimental study on durability of fiber reinforced polymer[J]. Journal of Building Materials, 2005, 8(5): 520-526.
- [5] 赵玉涛, 戴起勋, 陈刚. 金属基复合材料[M]. 北京: 机械工业出版社, 2007.
Zhao Yutao, Dai Qixun, Chen Gang. Metal matrix composites[M]. Beijing: Mechanical Industry Publishing House, 2007.
- [6] 陈生超, 杨永良, 陈金涛, 等. 纤维含量对长玻纤增强聚丙烯注塑制品性能影响[J]. 工程塑料应用, 2013, 41(12): 44-48.
Chen Shengchao, Yang Yongliang, Chen Jintao, et al. Effects of fiber content on properties of long glass fiber reinforced PP injection molded parts[J]. Engineering Plastics Application, 2013, 41(12): 44-48.
- [7] 李力, 曹昌林. 碳纤维含量对碳纤维增强复合材料力学性能的影响[J]. 铸造技术, 2012, 33(1): 26-28.
Li Li, Cao Changlin. Effect of carbon fiber content on mechanical properties of short carbon fiber reinforced PE composites[J]. Foundry Technology, 2012, 33(1): 26-28.

欢迎订阅 2015 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

也可直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社订阅《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘, 请注明订阅期刊/光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物, 月刊, 大 16 开本, 每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊, 是中国合成树脂供销协会会刊, 荣获首届、第二届、第三届国家期刊奖等多项国家、省部级优秀期刊奖, 入选美国化学文摘 (CA) 千种表。2015 年定价 15 元/期, 全年 180 元。目前杂志社尚有部分 1986 年以来的单册和合订本库存, 如需订阅, 请联系杂志社。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物, 双月刊, 大 16 开本, 单月 20 日出版。本刊为中国科技核心期刊, 荣获多项省部级优秀期刊奖, 入选美国化学文摘 (CA) 千种表。2015 年定价 15 元/期, 全年 90 元。目前杂志社尚有部分 1992 年以来的单册和合订本库存, 如需订阅, 请联系杂志社。

《工程塑料应用》、《化学分析计量》合订本光盘 杂志社已将《工程塑料应用》自创刊号 (1973 年) 至 2013 年底共 41 卷 290 期的期刊电子化, 并制成合订本光盘, 现公开发售; 同时也将《化学分析计量》自创刊号 (1992 年) 至 2013 年底

共 22 卷 96 期的期刊电子化, 并制成合订本光盘, 现公开发售。分别利用这两种合订本光盘既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅各期刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文, 又可根据读者自定义的关键词进行全文检索, 非常方便、实用。

《工程塑料应用》合订本光盘优惠售价 530 元; 《化学分析计量》合订本光盘优惠售价 230 元。

邮局汇款:

收款单位: 济南市天桥区田庄东路 3 号杂志社

邮编: 250031

电话: (0531) 85878223 85878057 85878278

传真: (0531) 85947355

银行汇款:

户名: 山东非金属材料研究所

开户银行: 济南市工商银行经十一路支行

账号: 1602001229014425546

网上订阅: <http://www.epa1973.com>