

汽车制造用苧麻纤维增强聚丙烯的力学性能研究

Study of Mechanical Properties of Ramie Fiber

Reinforced Polypropylene Compounds

for Automobile Industry

田 永, 何莉萍, 王璐琳, 屈伟平

(湖南大学 机械与汽车工程学院 汽车

车身先进设计制造国家重点实验室, 长沙 410082)

TIAN Yong, HE Li-ping, WANG Lu-lin, QU Wei-ping

(State Key Laboratory of Advanced Design and

Manufacture for Vehicle Body, College of Mechanical and

Automobile Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

摘要: 分析测定了不同长度、不同含量、不同处理方法的苧麻纤维增强聚丙烯复合材料的力学性能(包括拉伸、压缩、弯曲、冲击性能), 并与纯聚丙烯的性能进行了对比, 通过典型的拉伸应力-应变曲线、弯曲应力-应变曲线、压缩应力-应变曲线、伸长率等的分析, 并用电镜观察断口形貌, 可以找到最佳的配比方案。

关键词: 苧麻纤维; 聚丙烯; 汽车工业; 力学性能

中图分类号: TH 145.4+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4381(2008)01-0021-04

Abstract: The ramie fiber of different length, different content and different dispose methods to reinforce polypropylene were used, and the tensile stress-strain curve, the flexural stress-deflection curve, the compressive stress-deflection curve, the elongation rate and the photos of the rupture interface were analysed, and the mechanical properties(tensile, flexural, compression and impulsion) were studied, and the best manufacture technics of the composites were found.

Key words: ramie fiber; polypropylene; automobile; mechanical property

随着人们环保意识的日益增强, 各种天然纤维增强材料逐渐步入汽车部件的制造领域。天然纤维复合材料作为隔热、隔音和阻尼材料, 因在质量和成本方面的明显优势在汽车内饰件制造中的作用愈来愈大, 并已开始了用于汽车外部部件的尝试。

苧麻纤维增强聚丙烯复合材料是汽车制造中常用的一种天然纤维复合材料, 除了用来制作车门内板、行李箱、顶棚、座椅背板、仪表盘等内饰产品外, 现在也应用到挡泥板衬、扰流板、前后保险杠、发动机罩等外部部件^[1]。这种材料加工生产能量消耗少, 无污染, 对二氧化碳的吸收能力强, 可循环再生利用, 符合环保可回收要求; 密度小, 质量轻, 符合汽车轻量化的要求; 隔音、隔热性能好, 能量吸收能力好, 耐冲击, 无脆性断裂, 断裂后无锋利棱角, 具有良好的刚度, 符合安全性能要求; 苧麻纤维和聚丙烯来源广泛, 价格低廉, 可达到降低成本的目的; 聚丙烯属于热塑性树脂, 可用挤塑或压塑成型, 工艺简单, 投资少, 符合提高生产效率的要求。目前, 福特、奔驰、中华、奥迪等汽车已相继应用

这种材料进行零部件的生产^[2]。

本工作研究了苧麻纤维增强聚丙烯复合材料的注塑成型工艺。不同于以往的苧麻落麻复合材料研究^[3-7], 本研究分析测定了不同长度、不同含量、不同处理方法的苧麻纤维增强聚丙烯复合材料的力学性能(包括拉伸、压缩、弯曲、冲击性能), 并与纯聚丙烯的性能进行了对比, 通过对典型的拉伸应力-应变曲线、弯曲应力-应变曲线、压缩应力-应变曲线、伸长率等的分析, 并配合电镜观察断口形貌, 可以找到最佳的配比方案, 为以后的生产应用提供依据和参考。

1 实验

1.1 原料与设备

实验所使用的原料和主要设备如下: 苧麻, 优级, 农科院麻类研究所; 聚丙烯, F401, 甘肃兰港石化有限公司; NaOH, 分析纯, 天津市福晨化学试剂厂; 冰醋酸, 高锰酸钾, 分析纯, 上海三浦化工有限公司; 摆锤冲

击试验机, CBL-11J, 长春试验机有限责任公司; 双螺杆塑料挤出机, TE-35, 中国江苏(南京)科亚公司; 注塑机, HD-1100, 杭州华达塑料机械有限公司; 电子万能拉力试验机, LWK-250, 广州试验仪器厂; 扫描电子显微镜, JSM-5610, 日本光学实验室。

1.2 工艺流程

实验分为三个部分: 第一部分, 将苧麻纤维切成 3, 5, 8, 10mm 四种长度, 用氢氧化钠溶液处理, KH550 偶联剂偶联处理, 分别与聚丙烯进行共混, 然后注塑成型, 测试力学性能; 第二部分, 将苧麻纤维按照 5%, 10%, 15%, 20% (质量分数) 的含量处理后与聚丙烯进行共混, 注塑成型, 比较不同纤维含量对复合材料的性能影响; 第三部分, 将苧麻纤维分别用不同浓度的氢氧化钠溶液进行处理, 观察改性后的纤维增强聚丙烯复合材料的力学性能的变化情况。

用扫描电镜观察拉伸和冲击断口, 观察是否与理论分析一致。实验流程如图 1 所示。

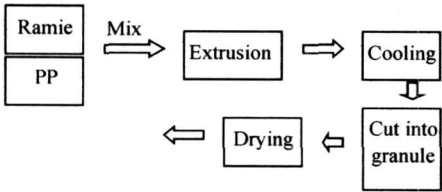


图 1 实验工艺流程图
Fig. 1 The flow chart of test

拉伸试验参照 GB1447—2005(纤维增强塑料拉伸性能试验方法)进行。试样尺寸规格为 180mm × 10mm × 5mm。拉伸速度为 50mm/m in。

弯曲试验参照 GB1449—2005(纤维增强塑料弯曲性能试验方法)进行。试样尺寸规格为 100mm × 15mm × 10mm。试验采用三点弯曲法, 跨距为 70mm, 加载速度为 5mm/m in。

压缩试验参照 GB1448—2005(纤维增强塑料压缩性能试验方法)进行。试样尺寸规格为 9.8mm × 10mm。目标值为 8mm, 加载速度为 5mm/m in。

冲击试验参照 GB1451—2005(纤维增强塑料简支梁式冲击韧性试验方法)进行。试样尺寸规格为 100mm × 15mm × 10mm, 缺口尺寸为 3mm × 2mm, 跨距为 70mm。

为了增加实验的准确性, 每种试样测试 5 次, 取平均值进行分析。

2 结果分析

2.1 不同长度苧麻纤维增强聚丙烯的力学性能研究
不同长度的苧麻纤维增强聚丙烯复合材料其力学

性能是有所差别的, 在实验中, 分别选择 3, 5, 8, 10mm 四种长度的苧麻纤维, 将苧麻纤维用 5% (质量分数) 的氢氧化钠处理, 用 KH550 偶联剂偶联处理, 按 15% 的纤维含量与聚丙烯进行共混, 注塑成型, 力学性能测试结果如表 1 所示。其中 3ZMP 代表 3mm 的苧麻纤维增强聚丙烯材料; 5ZMP 代表 5mm 的苧麻纤维增强聚丙烯材料; 8ZMP 代表 8mm 的苧麻纤维增强聚丙烯材料; 10ZMP 代表 10mm 的苧麻纤维增强聚丙烯材料。

表 1 不同长度的苧麻纤维对复合材料力学性能的影响
Table 1 Mechanical properties of composites with different lengths of ramie fiber

	PP	3ZMP	5ZMP	8ZMP	10ZMP
Tensile strength / MPa	25.1	34.0	35.2	37.5	38.1
Flexural strength / MPa	40.2	45.9	48.6	50.8	51.2
Compression strength / MPa	44.2	48.2	49.3	51.4	51.8
Impact strength / (kJ·m ⁻²)	3.91	3.31	3.21	3.19	3.18

由表 1 可知, 随着苧麻纤维长度的增加, 拉伸强度、弯曲强度、抗压强度都呈上升趋势, 10ZMP 的拉伸强度比 PP 提高了 52%, 弯曲强度提高了 27%, 抗压强度提高了 17%。但冲击韧性有所下降, 下降幅度不明显。在实验中测定, 当苧麻纤维长度大于 8~10mm 时, 拉伸强度、弯曲强度、抗压强度基本趋于稳定, 变化不大, 同时, 较长纤维采用注塑成型工艺较为困难, 应采用压塑成型工艺为佳。图 2—4 是典型的拉伸应力-应变曲线、弯曲应力-应变曲线、压缩应力-应变曲线。

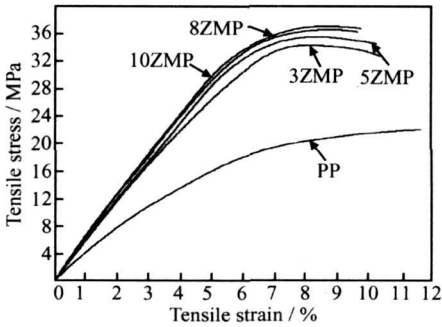


图 2 不同长度的苧麻纤维增强聚丙烯复合材料的拉伸应力-应变曲线
Fig. 2 The tensile stress-strain curves of composites with different lengths of ramie fiber

从图 2—4 可以看出, 纯聚丙烯的伸长率明显高于复合材料的伸长率, 聚丙烯伸长率为 120%, 而复合材料的伸长率为 10% 左右, 拉伸试验中, PP 的“颈缩”现象非常明显, 而复合材料的“颈缩”现象不明显, 出现“发白”现象后, 随之断裂, 断口有少量裂纹。弯曲试样

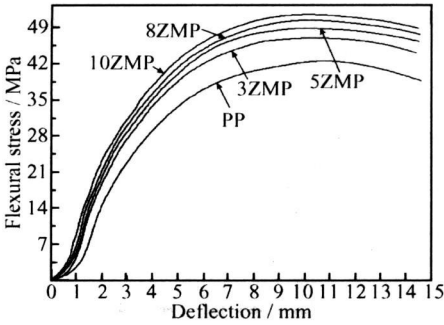


图3 不同长度的苧麻纤维增强聚丙烯复合材料的弯曲应力-应变曲线

Fig. 3 The flexural stress-deflection curves of composites with different lengths of ramie fiber

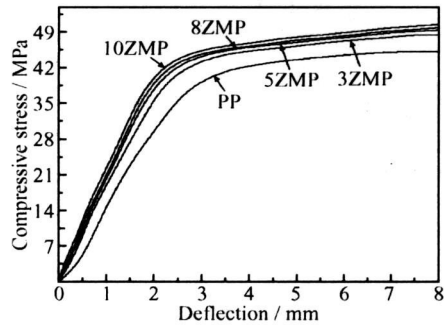


图4 不同长度的苧麻纤维增强聚丙烯复合材料的压缩应力-应变曲线

Fig. 4 The compressive stress-deflection curves of composites with different lengths of ramie fiber

有明显的弯曲变形,外力撤销后可以恢复部分变形。纯PP和3ZMP的冲击断口较整齐。而8ZMP和10ZMP由于纤维长度较长,断口粗糙。图5为8ZMP的冲击断面电子显微镜照片,可以看出纤维有明显的被拉断痕迹。



图5 8ZMP的冲击断面电子显微镜照片

Fig. 5 The rupture interface photos of 8ZMP

2.2 不同含量苧麻纤维增强聚丙烯的力学性能研究

不同含量苧麻纤维对复合材料影响很大,将苧麻

纤维切断成5mm,先用5%的氢氧化钠处理,然后用KH550偶联剂进行偶联处理,按5%,10%,15%,20%的纤维含量与聚丙烯进行共混注塑成型,所测试力学性能的结果如表2所示。表2中5ZMP代表苧麻纤维的质量分数为5%;10ZMP代表苧麻纤维的质量分数为10%;15ZMP代表苧麻纤维的质量分数为15%;20ZMP代表苧麻纤维的质量分数为20%。

由表2可知,加入苧麻纤维后,聚丙烯的力学性能明显提高。20ZMP的拉伸强度比PP提高了45%以上,且随着苧麻含量的增加,拉伸强度明显呈上升趋势,20ZMP的弯曲强度比纯PP提高了21%,随着苧麻含量的增加,弯曲强度呈上升趋势,抗压强度随纤维含量的增加不断增加,当纤维含量达到20%左右时抗拉强度达到峰值,随后下降,但下降幅度不大。复合材料的冲击韧性随纤维含量的增加呈下降趋势,但下降幅度不大。图6—8是典型的拉伸应力-应变曲线、弯曲应力-应变曲线、压缩应力-应变曲线。

表2 不同含量的苧麻纤维对复合材料的力学性能影响

	PP	5ZMP	10ZMP	15ZMP	20ZMP
Tensile strength / MPa	25.1	29.5	32.4	35.2	36.3
Flexural strength / MPa	40.2	43.3	44.1	48.6	48.7
Compression strength / MPa	44.2	46.7	47.4	49.3	48.7
Impact strength / (kJ·m ⁻²)	3.91	3.66	3.42	3.21	3.20

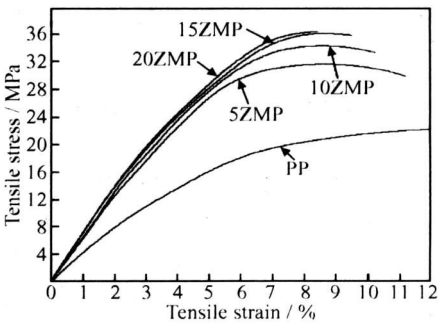


图6 不同含量的苧麻纤维增强聚丙烯复合材料的拉伸应力-应变曲线

Fig. 6 The tensile stress-strain curves of composites with different contents of ramie fiber

由图6—8可以看出,苧麻纤维增强聚丙烯力学性能有明显的提高,纯聚丙烯的伸长率明显高于复合材料,而且复合材料的伸长率随着纤维含量的增加不断下降,纯PP的伸长率为120%,纤维增强聚丙烯的伸

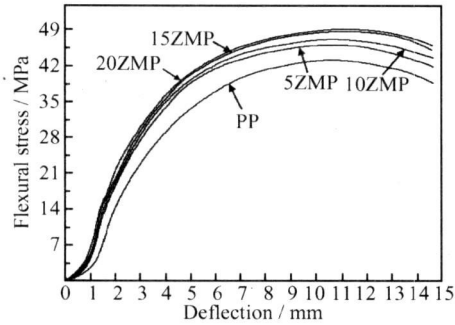


图 7 不同含量的苧麻纤维增强聚丙烯复合材料的弯曲应力-应变曲线

Fig. 7 The flexural stress-deflection curves of composites with different content of ramie fiber

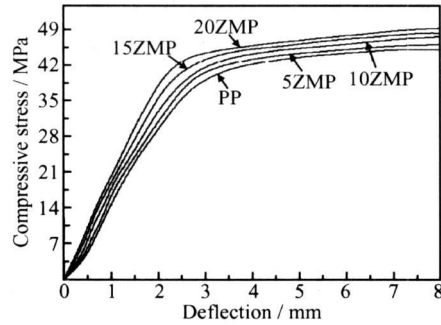


图 8 不同含量的苧麻纤维增强聚丙烯复合材料的压缩应力-应变曲线

Fig. 8 The compressive stress-deflection curves of composites with different contents of ramie fiber

长率则为 10% 左右, 在拉伸过程中, 纯 PP 有明显的“颈缩”现象, 而复合材料的“颈缩”现象不明显, 出现“发白”现象后, 随之断裂, 特别是纤维含量 20% 的复合材料, 基本看不到“颈缩”现象就断裂了。苧麻纤维含量达到 20%~30% 时, 拉伸强度、抗压强度、弯曲强度等达到最优。弯曲试样在外力撤销后变形可部分恢复, 但纤维含量高的试样变形恢复的幅度较小。PP 和 5ZMP 的冲击断口比较整齐, 而 15ZMP, 20ZMP 由于纤维含量较多, 断面明显粗糙。图 9 是 20% 纤维含量的复合材料冲击断面照片, 断口纤维有明显的被拉断的迹象。

2.3 不同处理方法的苧麻纤维增强聚丙烯的力学性能研究

将苧麻纤维分别用不同浓度的氢氧化钠溶液预处理, 然后按 15% 的含量与聚丙烯进行共混, 注塑成型, 测试力学性能如表 3 所示。表 3 中 0ZMP 代表未用试剂处理的苧麻纤维增强聚丙烯; 5ZMP 代表用 5% 的氢氧化钠溶液处理的苧麻纤维增强聚丙烯; 10ZMP 代表用 10% 的氢氧化钠溶液处理的苧麻纤维增强聚丙烯。

烯; 15ZMP 代表用 15% 的氢氧化钠溶液处理的苧麻纤维增强聚丙烯。

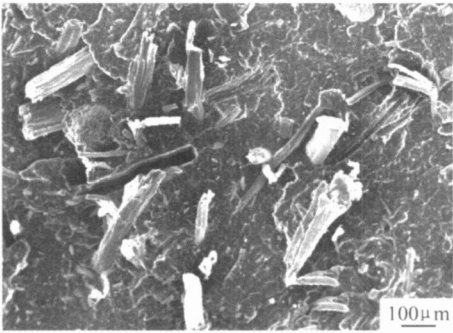


图 9 20% 纤维含量的复合材料冲击断面照片

Fig. 9 The rupture interface photo of 20ZMP

表 3 不同处理方法的苧麻纤维对复合材料力学性能的影响

Table 3 Mechanical properties of composites with different dispose methods of ramie fiber

	PP	0ZMP	5ZMP	10ZMP	15ZMP
Tensile strength / MPa	25.1	32.1	35.2	36.9	38.1
Flexural strength / MPa	40.2	44.6	48.6	49.9	51.2
Compression strength / MPa	44.2	47.0	49.3	51.9	53.6
Impact strength / (kJ·m ⁻²)	3.91	3.18	3.21	3.23	3.20

由表 3 可知, 用氢氧化钠试剂对苧麻纤维进行表面处理后, 复合材料的力学性能都有明显的提高, 主要是因为纤维表面的半纤维素、胶质等被除去, 增加了表面的粗糙度, 提高了纤维与聚丙烯的黏合能力, 改善了界面黏合状况, 使力学性能提高。除此之外, 用冰醋酸、高锰酸钾溶液等都可以对苧麻纤维进行处理, 性能提高也非常明显。

3 结论

(1) 苧麻纤维加入聚丙烯组成的复合材料综合力学性能比纯聚丙烯有了明显的改善, 拉伸强度、弯曲强度、压缩强度明显提高, 成型收缩率明显降低, 但冲击韧性和伸长率有所下降。

(2) 苧麻纤维长度对复合材料有影响, 苧麻纤维越长, 其拉伸强度、弯曲强度越高, 冲击韧性和伸长率呈下降趋势。当长度大于 8~10mm 时, 拉伸强度、弯曲强度基本趋于稳定, 变化幅度不大。

(3) 不同纤维含量的复合材料其性能也是有所不同, 随着纤维含量的增加拉伸强度、弯曲强度明显提高, 冲击韧性和伸长率呈下降趋势, 纤维含量达到 20%

(下转第 33 页)

通过观察各断口形貌图可知,各断口均为晶内断裂,韧窝密集且较深,呈现典型的韧性断裂。比较各断口形貌可进一步得到,金属型固溶态试样断口的韧窝最为明显,其次为砂型固溶态试样断口,接着为铸态试样断口,时效态试样断口的韧窝相对较浅。断口的韧窝越明显,合金的韧性则越好,由此可见,金属型固溶态试样韧性最好,其次为砂型固溶态试样,接着为铸态试样,最后为时效态试样,这由不同铸造方法所得的试样延伸率测试结果可进一步得到。

3 结论

(1)对于 ZL210A 合金力学性能而言,金属型铸造方法优于砂型铸造方法,其常规力学性能 σ_b , $\sigma_{0.2}$ 和 δ_5 值均高于砂型铸造。

(2)从断口形貌上看,不同铸造方法所得的 ZL210A 合金试样断口形貌均呈现典型的韧性断裂。其中,金属型固溶态试样的断口韧窝最为明显,呈现出较好的韧性。

参考文献

[1] 熊艳才,刘伯操.铸造铝合金现状及未来发展[J].特种铸造及有

色合金,1998,(4):1-5.

[2] 黄良余.铝及其合金的晶粒细化处理简述[J].特种铸造及有色合金,1997,(3):41-43.
[3] 张立斌,陆辛,海锦涛.高强度 ZL205A 合金大型优质铸件铸造工艺[A].中国机械工程学会第三届全国青年学术会议论文集[C].北京:机械工业出版社,1998.711-713.
[4] 李元元.高强高韧铸造铝合金材料研究进展[J].特种铸造及有色合金,2000,(6):45-47.
[5] 刘昌斌,夏长清,戴晓元.高强高韧铝合金的研究现状及发展趋势[J].矿冶工程,2003,23(5):74-78.
[6] XIAO D H, WANG J N, DING D Y, et al. Effect of Cu content on the mechanical properties of an Al-Cu-Mg-Ag alloy[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2002, 343(1-2):77-81.
[7] CHEN M, KATTAMIS T Z. Dendrite coarsening during directional solidification of Al-Cu-Mn alloys[J]. Materials Science and Engineering A, 1998, 247(1-2):239-247.

收稿日期:2007-05-24;修订日期:2007-08-28

作者简介:贾泮江(1970-),男,硕士,主要致力于各种军用高强度优质铸造铝合金材料及其铸件产品研究和市场开发工作,联系地址:北京 81 信箱 2 分箱(100095)。E-mail:panjiang.jia@biam.ac.cn

(上接第 24 页)

~30%时,其综合力学性能达到最优。含量再增加,拉伸强度、弯曲强度会下降,但幅度不大。

(4)用氢氧化钠溶液对苧麻进行化学表面处理,也可以改善复合材料的性能,主要是因为处理后的苧麻纤维和聚丙烯的相容性明显提高,拉伸强度、弯曲强度、压缩强度提高,综合力学性能优良。氢氧化钠浓度在 10%~15%左右时效果达到最佳。

参考文献

[1] 鲁博,张林文,曾竟成,等.天然纤维复合材料[M].北京:化学工业出版社,2005.254-463.
[2] 陈家瑞.汽车构造(下册)[M].北京:机械工业出版社,2005.372-388.
[3] 王俊勃,郑水蓉.苧麻纤维增强酚醛复合材料的纤维[J].复合材料,2001,18(1):13-15.

[4] 鲁博,杨德旭,张林文,等.短切苧麻/剑麻纤维增强聚酯及酚醛复合材料的性能研究[J].玻璃钢/复合材料,2005,(6):18-20.
[5] 张长安,鲁博.苧麻落麻的表面处理及其复合材料的性能研究[J].工程塑料应用,2004,32(11):5-9.
[6] 张长安,张一甫,曾竟成.苧麻落麻纤维增强聚丙烯复合材料研究[J].玻璃钢/复合材料,2001,(6):16-17.
[7] HARRIETTE L BOS, JORG MUSSIG, MARTIEN J A VAN DEN OEVER. Mechanical properties of short-flax-fibre reinforced compounds[J]. Composites, 2006, 37A: 1591-1604.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50672023);国家“863”重点资助项目(2006AA110101)

收稿日期:2007-08-20;修订日期:2007-11-07

作者简介:田永(1981-),男,硕士研究生,研究方向为汽车制造先进材料及其加工制造技术,联系地址:湖南长沙湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室 203 室(410082)。E-mail:jqy_hlp@hnu.cn

欢迎订阅 2008 年度《材料工程》

《材料工程》创刊于 1956 年,由中国航空工业第一集团公司北京航空材料研究院主办,是国内外公开发行的技术刊物。《材料工程》主要刊登有关材料科学与工程方面的学术论文,同时刊登综合性评述,报道新材料、新工艺、新产品信息,及时、准确反映国内材料领域最新成就和最新进展。《材料工程》为月刊,大 16 开本,精美印刷,每期 15.00 元,全年 12 期 180 元。需订阅者可向本刊编辑部索取订单,或直接汇款至编辑部即可。

地 址:北京 81 信箱 62 分箱《材料工程》编辑部(100095)
电 话:(010)62496276