

Applications of Polymer Composites on Automotives

Yujing Zhou, Tao Yang, Guanghong Fan

Advanced Manufacture Technology Center, China Academy of Machinery Science & Technology, Beijing
Email: zhouyujingcam@126.com

Received: Oct. 8th, 2016; accepted: Oct. 30th, 2016; published: Nov. 2nd, 2016

Copyright © 2016 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

Abstract

Characteristics and process of polymer composites are presented. Applications of composite materials on auto industry are also elaborated. In the end, the development trend of automotive composite materials is discussed.

Keywords

Automotives, Polymer Composites, Applications, Development

聚合物基复合材料在汽车工业中的应用

周玉敬, 杨 涛, 范广宏

机械科学研究总院先进制造技术研究中心, 北京

Email: zhouyujingcam@126.com

收稿日期: 2016年10月8日; 录用日期: 2016年10月30日; 发布日期: 2016年11月2日

摘 要

本文阐述了聚合物基复合材料的特点, 介绍了复合材料在汽车工业中的应用现状, 并讨论了汽车用复合材料的发展前景。

文章引用: 周玉敬, 杨涛, 范广宏. 聚合物基复合材料在汽车工业中的应用[J]. 材料科学, 2016, 6(6): 315-321.

<http://dx.doi.org/10.12677/ms.2016.66041>

关键词

汽车, 聚合物基复合材料, 应用, 发展

1. 引言

随着汽车工业的快速发展, 汽车工业面临的能源短缺、环境污染等一系列问题日益突出, 节能环保型汽车成为 21 世纪汽车工业发展的必然趋势, 其中汽车轻量化是关键因素之一。为实现汽车节能降重的目的, 结构材料中钢铁等材料所占比例将逐步下降, 有色金属、陶瓷材料、复合材料等新型材料的用量将逐步上升。世界铝业协会的报告指出, 汽车自重每减少 10%, 燃油消耗可降低 6%~8%; 巴斯夫公司统计指出, 车重每减轻 100 kg, 每 100 km 油耗可降低 0.4 L, CO₂ 排放量减少 1 kg [1]。因而, 汽车轻量化是实现节能减排、降低油耗效果的有效途径。采用聚合物基复合材料是当前汽车轻量化的重要措施之一。若用比重仅有 1.6 g/cm³ 的复合材料代替比重 7.80 g/cm³ 的钢质零件, 可使汽车构件减重 40%~60% [2]。

福特公司 2007 年所做的研究报告称, 复材可将零部件种类减为原来的 8%, 加工费用相对钢材降低 60%, 粘结费用相对焊接减少 25%~40%。同时, 复材模具费只约占钢制件模具的 10%~20%, 成本降低更加显著[3]。现在, 无论是欧、美、日等汽车工业发达国家, 还是中国、巴西和印度等汽车工业快速发展中国家, 都已在汽车制造中大量采用汽车复合材料, 主要应用范围也从内饰件、车身面板、车门、车窗等非结构件发展到传动轴、板弹簧等结构件、半结构件。

本文介绍了聚合物基复合材料的特点, 总结了近年来复合材料在汽车行业的应用现状及发展前景。

2. 聚合物基复合材料分类及特点

聚合物基复合材料又称纤维增强复合材料, 由短切、长切或连续纤维与热固性或热塑性树脂基体复合而成, 是目前制造技术比较成熟且应用最为广泛的一种复合材料。聚合物基复合材料通常按照增强纤维类型、基体材料类型、分散相形态进行分类[4]。

1) 按照增强纤维类型分类

按照增强纤维类型分为碳纤维复合材料、玻璃纤维复合材料、芳纶复合材料、硼纤维复合材料、玄武岩纤维复合材料、混杂纤维复合材料等。

2) 按照基体材料类型分类

按照基体材料类型分为热固性树脂基复合材料和热塑性复合材料两种。

3) 按照分散相形态分类

按照分散相的形态可分为连续纤维增强复合材料、片状增强复合材料、短纤维增强复合材料、颗粒增强复合材料。

聚合物基复合材料, 具有高比模量、耐腐蚀等优异的力学特性和热物理性能、化学稳定性、阻尼减震降噪性等一系列金属材料所无法比拟的优良性能, 并具有可设计性强、可大规模整体成型等一系列优点, 在汽车制造业中得到广泛应用[5]。

3. 复合材料在国内外汽车工业上的应用

自从 1953 年世界上第一部 FRP 汽车——GM Corvette 制造成功以后, 聚合物基复合材料即成为汽车工业的一支生力军。20 世纪 70 年代开始, 由于片状模压成型(SMC, Sheet Molding Compound)、块状模压成型(BMC, Bulk Molding Compound)材料的成功开发和机械化模压技术的应用, 汽车玻璃纤维增强复合材料发展得到快速发展。以 SMC、BMC 制造工艺为代表, 主要用于汽车的汽车内饰件和防腐蚀外护板

件, 也有少量用于汽车的结构件和半结构件; 随着环保和轻量化、节能等需求, 复合材料原材料以及工艺制造和装备的不断进步, 汽车复合材料构件的制造成本降低、生产效率提高, 以玻璃毡增强热塑性树脂成型工艺(GMT, Glass Mat Reinforced Thermoplastics)、长纤维在线模压成型工艺(LFT-D, Long Fiber Reinforced Thermoplastics-Direct processing)、树脂注射成型(RTM, Resin transfer molding)为代表的高性能复合材料得到了迅猛发展, 主要用于汽车的车身、车身地板、车门、轮毂等结构件和半结构件。

3.1. 复合材料在国外汽车上的应用

统计显示, 全世界平均每辆汽车的塑复材用量在 2000 年就已达 105 千克, 约占汽车总重量的 8%~12%。而发达国家汽车平均使用量为 120 千克, 占汽车总重量的 12%~20%。预计到 2020 年, 发达国家汽车平均复材用量将达到 500 千克/辆以上[6]。复合材料在国外汽车车身覆盖件、内饰件等半结构件开发与制造得到广泛应用, 主要是以 SMC、GMT 等短切玻璃纤维增强复合材料构件为主, 包括车顶板、后备箱盖板、车备胎仓、保险杠、内饰板和车前端等。近年来, 复合材料在轿车上的覆盖件及内饰件应用见表 1 所示。

由于玻璃钢存在刚度不足的缺点, 不能用于主承力结构, 高性能的连续碳纤维复合材料正在引发全球汽车制造业一场新的技术革新。BMW M3 CSL 碳纤维车顶是在 BMW 汽车公司的 Landshut 工厂中的第一条高自动化的碳纤维车身零部件加工生产线上制作而成, 相比钢制车顶, 其重量减轻了约 6 kg, 相当于钢制车顶重量的一半。Polimotor Research Inc. 公司开发了一种新的、轻巧、碳纤维复合材料四缸发动机缸体(如图 1 所示), 采用东邦耐克丝碳纤维被选为环氧树脂基增强材料, 采用模塑成型工艺, 使用低成本的加工材料, 循环时间比传统的碳纤维复合材料的成型方法更快, 模具工具成本减少 50%, 碳纤维复合材料缸体比合金的重量轻 20 磅, 新发动机缸体重量比铝的轻 45%~50% [7]。

宝马 2013 年推出首款 i3 电动车以及其后推出的 i8 跑车的整个车身结构都是由碳纤维材料制成, 采用 RTM 进行高压树脂注射技术, 将成型时间控制在 10 分钟内; 在整车组装方面, 宝马采用新的自动化接合技术, 极大提高了生产效率。宝马 i8 Spyder 概念车的重量仅为 1630 公斤, 能够比传统新能源汽车减轻 250~350 公斤(如图 2 所示)。

复合材料在国外大型客车中也得到进一步的拓展应用, 应用部件包括前后围、前后保险杠、翼子板、轮护板、踏步围板、行李箱门板、裙板(侧围板)、后视镜、仪表板、仓门板、空调顶置壳体等[8]。荷兰人甚至研制了一个全复合材料超级巴士(如图 3 所示), 该车 $15 \times 2.5 \times 1.5$ m, 可乘 24 人, 双侧各有 8 个门上下方便, 其主用材为 T700-12K/环氧树脂, 采用真空辅助树脂熔塑法成形。

3.2. 复合材料在国内汽车工业上的应用

我国汽车复合材料应用始于美系、日系等引进车型上, 奇瑞、吉利、长城等自主品牌也在自主开发的一些车型上近几年也取得了长足进步。复合材料在国内汽车中的部分应用实例见表 2。

自 2009 年的哥本哈根会议, “低碳经济、新能源”成为世界各国都关注的焦点。作为汽车消费大国的中国, 新能源汽车的生产和使用必将成为未来的发展趋势, 这就给了国内汽车轻量化一个机遇, 同时也是复合材料汽车零部件借势发展的一个巨大市场。上汽采用轻质 GMT 复合材料制备顶棚内饰板(如图 4 所示), 可实现减重 20%~30%, 综合成本可降低约 20 元/件。上汽大通校车顶凸台采用 SMC 材料, 减重 14 kg, 重量较原有钣金件降低 60% [9]。

近年来, 复合材料零部件在国内客车及载货汽车的应用, 也有不少成功案例。比如, 南京依维柯都灵 V 系列车的 SMC 豪华面罩、后行李厢门、BMC 前大灯和雾灯、FRP 后围等构件、一汽集团解放 J5、J6 系列的 SMC 前保险杠、前围面板、导流罩等; 中国重汽华沃系列的 SMC 前端面板、脚踏板、门下装

Table 1. Applications of composite materials on automobile in foreign
表 1. 国外汽车复合材料的应用

汽车车型	部件实例
美国林肯大陆	SMC发动机罩、保险杠、行李箱盖
美国雪弗莱	SMC车身板、车顶内板
英国Sultan跑车	100%玻璃纤维车身和装饰件
意大利科维奇	RTM驾驶室顶
法国雷诺Master	玻璃纤维增强树脂弹簧片
德国奔驰	GMT发动机罩、LFT-D底盘护板及车备胎盒
德国大众高尔夫	GMT前盖板、发动机防噪板
奥迪A6	SMC后保险杠背衬、后备胎箱、BMC车灯反射罩以及GMT前端支架和前端底板衬里、发动机罩板、LFT-D引擎底板等



Figure 1. Carbon fiber composite engine block
图 1. 碳纤维复合材料发动机缸体



Figure 2. Carbon fiber frame of BMW i series
图 2. 宝马 i 系列碳纤维车架



Figure 3. The composite passenger bus
图 3. 复合材料客车

饰板和侧护板等；陕汽德龙系列的 SMC 面罩、保险杠、脚踏板、左右护栏板和导流罩等[10]。国内首辆自主研发的复合材料车厢自卸车如图 5 所示，车身长度达到 8.6 米，但车身自重仅为 4.8 吨，其载重能力可达 50 吨，与传统的金属车厢运输车重量减轻了 29% 左右。

近年来，聚合物基复合材料在客车及载货汽车领域应用有所增加，而且 SMC、LFT-D 工艺正逐步替代传统手糊工艺，而且以短切纤维增强复合材料为主，连续碳纤维复合材料国内汽车厂家应用案例较少。

4. 复合材料在国内汽车工业中应用展望

据统计显示，2008 年我国汽车总产量为 1000 万辆，2010 年已经 1800 万辆，计划 2015 年达到 2500 万辆[11]。巨大的市场需求不仅使中国成为继美国之后的世界第二大汽车消费市场，还成为仅次于美国和日本的世界第三大汽车生产国。汽车轻量化发展趋势，对汽车复合材料提出了更高的要求，在减轻自重的同时，更要提高性能。

随着 SMC、LFT、RTM 等低成本、快速成型制造技术及装备的迅速发展，大大降低了汽车复合材料的工艺及制造成本，促进了汽车复合材料的发展和应用。复合材料从制备简单的 SMC 后保险杠背衬、后备胎箱、车灯反射罩以及发动机罩板等汽车非承力零件逐渐发展到制备复合材料高性能汽车板簧及全复合材料轮毂等承力构件。复合材料的增强材料也从玻璃纤维向高性能的碳纤维和芳纶纤维以及复合纤维发展，这些高性能材料的使用，大大改善了复合材料的结构性能，加速了复合材料在汽车工业更为广泛的应用。比如，整体碳纤维轮毂每个仅重 6.81~8.17 kg，其质量比铝合金轮毂轻 40%~50%，可大幅提高

Table 2. Applications of composite materials on automobile in domestic

表 2. 复合材料在国内汽车中的部分应用实例

汽车制造商	车型	部件实例
一汽大众	宝来系列	SMC 后保险杠背衬、GMT 前端支架
海南马自达	马自达 6	长玻纤增强聚丙烯注射成型的前端模块和车门模块载体
一汽轿车	红旗系列	SMC 后保险杠背衬、后备胎箱、FRP 尾翼
	帕萨特 B5	GMT 蓄电池托架、发动机罩板、前端底板衬里以及 BMC 车灯反射罩
上海大众	斯柯达	LFT-D 仪表盘骨架
	途安系列	LFT 前端支架
上汽汽车	荣威系列	SMC 底部导流板
北汽制造	勇士系列	SMC 前后保险杠、左右车窗铰链装饰板、蓄电池托架、FRP 发动机罩盖、左右翼子板、车顶等
奇瑞汽车	东方之子	GMT 前保缓冲器支架
郑州日产	锐琪系列	SMC 顶饰件总成、中隔窗、双开式后门



Figure 4. Ceiling trim panel

图 4. 顶棚内饰板



Figure 5. The truck with composite box
图 5. 复合材料箱体运输车

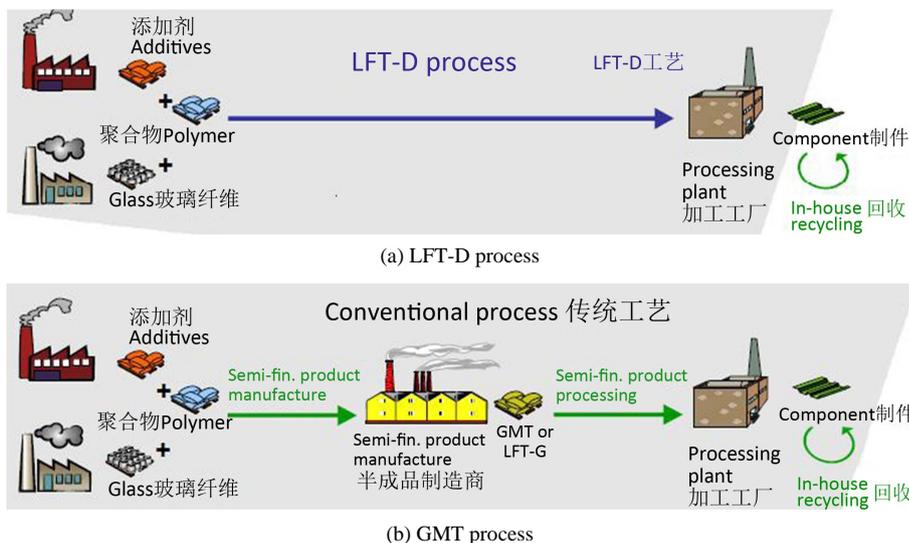


Figure 6. A specimen for LFT-D process and GMT process
图 6. LFT-D 成型工艺和 GMT 成型工艺的示意图

汽车燃油效率；用碳纤维复合材料取代钢材制造车身和底盘，可减轻质量 68%，油耗下降 40% [12]。

聚合物基复合材料经过四十多年的研究、应用和发展，在航空航天领域已经取得了长足的进步，但是在汽车中的应用目前存在一些技术障碍和问题急需研究解决。除了成本因素外，复合材料的生产和制造不同于金属材料，无论是结构设计、材料选择还是工艺制造均缺乏经验和数据积累，也缺少新的设计标准。特别是在复合材料成型工艺方面，现有的工艺原则上均可用于汽车工业，但是除考虑制件的力学性能外，工艺的成型效率和制造成本同样影响着复合材料在汽车上的应用。目前，模压成型工艺在汽车复合材料制造工艺中应用最为广泛。模压成型工艺的生产效率高，便于实现专业化和自动化大批量生产；能一次成型结构复杂的制品，无需二次修饰；产品尺寸精度高，重复性好。目前，引擎盖、车门、后厢盖、后举门、车门中间承载板、座椅骨架和底部护板等汽车部件均采用模压成型工艺制作而成[13]。

在提到模压成型工艺技术时，特别要提到近年来在汽车复合材料行业中最受关注和市场成长最快的 LFT-D 成型工艺(如图 6(a)所示)。LFT-D 成型工艺是长纤维增强热塑性复合材料在线直接生产制品的一种工艺技术，将设计好比例的树脂、添加剂以及长纤维在专用设备中进行混合，将混配好的原料送入双螺杆挤出机中制成坯料后经传输装置送入冲压模压单元，直接快速成形成品[14]。与传统 GMT 成型工艺(如

图 6(b)所示)相比, LFT-D 成型工艺省略了半成品制备步骤, 因而大幅度提高生产效率, 比传统工艺成本低 20%~50%。与同类材料成形工艺相比, 其制品的抗冲击性能提高大约 40%~60%。LFT-D 成型工艺包含材料复合工艺、冲压模压工艺、数控化设备等关键难点, 欧洲已成功应用 20 多年, 目前国内尚未系统攻克。机械科学研究总院先进制造技术研究中心针对汽车等领域对轻量化技术的重大需求, 组织材料、工艺、设备等多学科力量, 开发研制具有自主知识产权 LFT-D 成套技术, 为复合材料替代金属结构件提供了一定的技术保障。

5. 结束语

先进复合材料历经多年的研究发展, 已在技术上取得了长足的进步, 积累了丰富的设计、制造、应用方面的经验, 这为复合材料在汽车领域的应用提供了强有力的技术支撑和前提条件。随着大量高性能复合材料开发以及节能减排的需求, 应用于汽车部分的复合材料数量不断增加, 应用范围涉及汽车的车身内、外饰件以及部分半结构件和结构件, 为汽车工业的轻量化做出了巨大的贡献。

参考文献 (References)

- [1] 冯奇, 何健, 万党水, 等. 复合材料在汽车中应用的发展趋势[J]. 上海汽车, 2013,(2): 50-53.
- [2] Dufloou, J.R., Demoor, J., Verposet, I., et al. (2009) Environmental Impact Analysis of Composite Use in Car Manufacturing. *CIRP Annals-Manufacturing Technology*, **58**, 9-12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cirp.2009.03.077>
- [3] 张林文. 树脂基复合材料在汽车工业的应用[J]. 新材料产业, 2007(9): 27-28.
- [4] 王耀光. 复合材料力学与结构设计[M]. 上海: 华东理工大学, 2009.
- [5] 益小苏. 先进复合材料技术研究与发展[M]. 北京: 国防工业出版社, 2006: 2-8.
- [6] 郑学森. 国内汽车复合材料应用现状与未来展望[J]. 玻璃纤维, 2010(3): 35-42.
- [7] 美国开发碳纤维复合材料汽车发动机[2011-07-18]. www.carbonfiber.com.cn
- [8] 张力, 张恒. 复合材料汽车零部件设计制造及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2010: 13-15.
- [9] 陶骏, 杨丹, 马华跃, 杨汐, 徐浩. 浅析轻质 GMT 在汽车内饰板上的应用[J]. 汽车工艺与材料, 2009(9): 65-66.
- [10] 凌静, 王庆明. 复合材料部件在汽车轻量化中的应用[J]. 现代零部件, 2013(2): 34-37.
- [11] 陈绍杰. 先进复合材料在汽车领域的应用[J]. 高科技纤维与应用, 2011, 30(1): 11-17.
- [12] 方鲲, 顾轶卓, 刘建才, 马鸣图. 碳纤维增强(树脂基)热塑性复合材料汽车轮毂的 CAE 分析[A]. 第十一界先进成型与材料加工技术国际研讨会, 2014: 12.
- [13] 陶永亮, 徐翔青. 树脂基复合材料在汽车上的应用分析[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2012, 10(4): 36-40.
- [14] 沈玉考. 长纤维增强热塑性复合材料模塑技术新动向[J]. 玻璃钢/复合材料, 2004(2): 53-55.

期刊投稿者将享受如下服务：

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：ms@hanspub.org