

汽车复合材料的进展

上海大众汽车有限公司 周文

本文详细论述了纤维增强塑料、高聚物共混合金、片状模塑料等复合材料的应用及其发展。同时对汽车用复合材料零部件,如发动机元件、车身部件、保险杠以及门饰条等作了介绍。并对国内汽车复合材料的发展作了评价。

关键词: 复合材料, 汽车, 进展

The Development of Composites Used in Automobile

Zhou Wen

(Shanghai Volkswagen Automobile Company LTD)

The article has detailed the applications and developments of composites used in automobile, such as Fiber-reinforced plastics (FRP), plastics blends, sheet molding compound (SMC) and so on. Simultaneously the composite-parts, such as motor-parts, body-parts, bumpers and quarter panels used in automobile have been introduced. The developments of the domestic composites used in automobile have been evaluated also.

Keywords: Composite, Automobile, Development

一、概 述

随着汽车工业的不断发展,为了减轻车身重量、提高燃油经济性、完善结构、提高造型结构方案的灵活性及减少零件的制造、加工周期和费用、车身装配费用,复合材料在汽车上的应用日渐广泛。

塑料在汽车上应用始于 50 年代,它的发展已有 40 年的历史。从汽车塑料零部件的应用来看,已从单一的内饰件向各种结构件和功能件的应用方向发展,由通用塑料向复合材料的应用方面发展;从时间上看,60 年代是汽车通用塑料时代,70 年代是汽车的工程塑料时代,而 80 年代乃至 90 年代则是汽车复合材料时代^[1~10]。

复合材料系采用高强度的玻璃纤维、碳纤维或芳族氨基纤维增强的材料。碳纤维复合材料技术性能优越,但成本高,所以汽车通常采用玻璃纤维或滑石粉增强材料,通用玻璃纤维增强复合材料可制造制冷和采暖系统、散热器水室、机械和冷却电机风叶等;长玻璃纤维增强材料可制作车身底板;热固性复合材料的制品可采用压铸法制造,利用这种方法可制作发动机罩、行李箱盖等^[11]。

根据零件的制作工艺,汽车用复合材料可分为四大类^[12]:第一类采用注射成型法制造零件,主要是聚丙烯和聚酰胺基复合材料;第二类利用板材毛坯压制而成,即 SMC 工艺;第三类采用依次铺层法(或称为缠卷法)制造零件;第四类零件中包括采用连续缠卷增强纤维方法制造零件,这种工艺目前尚未推广应用。

材料工程

二、汽车用几种主要复合材料

1. 纤维增强塑料 (FRP)

美国、德国早在 50 年代就开始进行 FRP 的研究和开发,采用塑料玻璃钢复合材料 (GFRP) 生产车身。60 年代出现了批量不大的 FRP 车身,70 年代末和 80 年代初美、德、法等国家相继出现了 FRP 车身。

表 1 各种材料的比强度、比模量数据^[13]

材料名称		比拉伸强度 σ/ρ (10 ⁶ cm)	比弹性模量 E/ρ (10 ⁶ cm)
通用材料	木材	2.2	1.9
	钢	1.8	2.5
	镁	2.1	2.4
	硬铝	2.1	2.6
纤维增强塑料	CF/PA66	3.0	1.4
	CF/环氧	6.2	2.4
	CF/Al	2.4	6.2
	Al ₂ O ₃ /Al	1.9	7.5
	SiC/Al	5.2	7.2
	B/Al	6.0	8.8
	BF/环氧	6.2	10.0
	Kevlar/环氧	8.6	5.0
	CF (HT) /环氧	13.0	9.0
	CF (HM) /环氧	10.0	16.0

FRP 材料具有比重小、耐腐蚀性好、强度高的特点,而

且成型方便,生产效率高,废料可以回收再生,因此广泛地被汽车商采用,表1列出了各种材料的比强度、比模量数据。

据介绍^[14],1987年美国轿车平均耗用FRP为36.3kg/辆,占汽车原材料总耗用量的3.2%,1990年为40.9kg/辆,占总质量的3.7%,1991年达到56.8kg/辆,占5.3%。表2列出了FRP应用的典型实例。

用玻璃纤维增强聚丙烯可制作强度要求高的零件。法国别儒汽车公司在别儒405轿车上安装了组合踏板支座,该支

座系采用40%玻璃增强聚丙烯“Symalit GM40PP”,用自动成型法制造,该塑料支座的特性和使用期限与钢座一样,支座的质量为0.7kg,比钢座轻1kg,成本减少30%^[15]。

德国大众公司在“Golf”和“Jetta”轿车上装用塑料加速器踏板,系采用杜邦公司“Zytel 180G33”玻纤增强聚酰胺,这种踏板具有成本低、强度高、可靠性好的特点^[16]。

BASF公司提出采用玻纤增强聚氨酯基质复合材料制作

表2 FRP应用的典型实例

材料名称	GF/PP	GF/PA	GF/酚醛	GF/PVR
零部件名称	采暖和冷却系统、机械和冷却风叶、空气滤清器、踏板支座等	发动机水室、中央电器板、车后门、车顶盖等	发动机罩、行李箱盖、分电器盖等	车门内壁板、保险杠、门饰条等

车门内板,与其它材料相比,一块壁板可减轻0.45~1.36kg,利用这种复合材料制造壁板所需的设备费用和工艺装备费用最低^[17]。

采用玻纤增强聚氨酯可制作保险杠、门饰条等^[18]。

FRP具有代表性的品种是“AZDEL”和“GMT”。美国通用电气塑料公司(GEP)研制了35%玻纤增强聚丙烯对苯二甲酸盐基的“AZMET”牌热塑性复合材料和35%玻纤增强聚丙烯基“AZDEL”牌热塑性复合材料,可用来冲压成型和压铸模型^[19]。法国Arjomei公司研制了湿法成型玻纤/PP片材(即GMT,又称随机热塑性复合材料RTC),GMT为冲压成型的半成品,可用于制造汽车零部件^[20]。

这里值得一提的是,我国在利用玻纤复合材料制造汽车车身方面取得了重大进展。在1986年北京国际汽车工业技术展览会上,展出了深圳中华汽车工业公司生产的中华牌BS-111型复合材料全塑双排座客货两用车^[21]。最近,北京通联汽车改装联合总厂生产的全塑车身的厢式车和轻型客货两用车投放市场,该车以玻纤复合材料,采用整体造型新工艺,车身的蒙皮、骨架、地板,在模腔内一次固化成型^[22]。

2. 塑料合金材料

共混是制造塑料合金材料的重要方式,也是汽车复合材料制备的主要方法。共混合金取共混前各种材料的优点,因此在制造汽车零部件方面得到了广泛的应用。

保险杠要求材料具有一定的强度和抗冲击性能,通常采用改性聚丙烯制作。标致汽车保险杠是采用PP/HDPE共混合金制作^[23]。“桑塔纳”轿车保险杠是PP/EPDM橡塑合金制品^[24]。GEP公司应用PP/PA合金制作门饰条,陶氏化学公司用ABS/PC开发车门饰^[25]。德国BMW公司开发了“BMW Z1”型运动轿车,其前后保险

杠采用PBT改性材料制作,前、后翼子板和车门均采用PC/PBT合金制作。

3. 其它复合材料

片状模塑料(即SMC)首先由美国GM公司进行汽车方面的应用研究,70年代正式采用SMC批量生产主要部件,80年代最富有代表性的复合材料车身首推GM公司的“Fiero”牌运动车,该车车身全部采用复合材料,除RIM和RRIM的前后保险杠和翼子板、车门板外,其余全部采用厚度2~2.5mm的SMC。自1983问世以来,已达年产量13.4万台^[26]。

随着SMC、RIM、RRIM技术的不断发展,新型复合材料不断得到开发和应用,表3列出几种主要复合材料的典型参数及性能^[20]。

三、汽车用复合材料零部件

1. 发动机元件

发动机元件所需塑料要求较高的耐热性,通常用碳纤维和玻纤增强复合材料制作,从而比无填充的聚合物具有更加高的稳定性和耐热性。

欧洲福特公司在1990年将一台1.0升四缸塑料发动机装在Fiesta汽车上进行道路试验。该发动机的结构特点是将三个玻璃纤维增强塑料压制件(支承凸轮轴支架、气缸冷却液护套和四个主轴承)粘接在一个铝合金结构件上,有效地替代了常规的气缸体外壳。凸轮盖和油底壳也是玻纤增强塑料制成。这种塑料发动机比当量金属发动机降噪30%,据研究者称,这种新型塑料发动机有着广泛的前途^[27]。

采用玻璃纤维增强聚酯一次成型加工成型制造进气歧管,这种进气歧管具有成本低、质量小、内表面平滑、

表 3 汽车复合材料的典型参数及性能

半成品名称		热塑性		热固性					
		Azdel	STX	SMC	HMC	XMC	BMC	RRIM	CFRP
原材料	粘结基材	聚丙烯	尼龙	不饱和聚酯	不饱和聚酯	不饱和聚酯	不饱和聚酯	聚氨酯	环氧
	增强纤维及含量 (%)	连续 GF. 40	连续 GF. 30	GF. 30	GF. 65	GF. 65	GF. 25	GF. 20	GF. 40
	半成品形状	片状	片状	片状	片状	片状	松散状	2种液态组份	片状
工艺	工艺名称	模压	模压	模压	模压	模压	注射模压	注射模压	注射模压
	压力 (MPa)	13.8	13.8	6.9	6.9	6.9	13.8	0.7	6.9
	工艺周期 (min)	0.2	0.2	3.0	3.0	3.0	1.0	1.5	>5
材料性能	比重	1.2	1.6	1.8	1.7	1.8	1.7	1.2	1.5
	拉伸强度 (MPa)	73.6	137.3	98.1	266.2	586.6	68.7	43.4	1471.5
	弯曲强度 (MPa)	151	176.6	172.7	448.4	1088.9	196.2	—	1471.5
	弯曲模量 ($\times 10^{-3}$ MPa)	50	80	10	34	40	18	18	147
	冲击强度 (kJ/m ²)	55	27	60	>100	>100	48	12.5	>100
	热变形温度 (1.86MPa) (°C)	154	216	232	>200	>200	>200	—	>200
	线性膨胀系数 ($\times 10^6$ /°C)	2.7	2.9	1.9	0.8	0.8	2.0	2.9	7.9
制品性能	制品厚度 (mm)	3.43	3.05	3.18	3.18	3.18	2.18	3.18	3.18
	刚性比 (3.18mm)	1.0	1.0	1.3	2.0	5.0	1.2	1.0	9.8

进气阻力小、温度特性好和物理强度高的优点^[28]。

丰田 Celica 汽车上装 2.3l 的 4 缸 16 阀发动机, 它的缸体、缸盖均采用比利时产的玻纤增强酚醛树脂, 油底壳采用 60% 玻纤增强乙烯基树脂^[29]。

2. 车身零部件

塑料车身的开发是近来汽车开发的热门课题^[30~34]。联邦德国海尔布隆郊区的一个车间, 从 1987 年 7 月起, 利用玻璃纤维增强塑料制造整体车身及其零部件 (框架、翼子板、散热器罩、发动机罩和车门等), 主要是 CJ-7 吉普车, 铃木-LT80, 大发, Range Rover, Pajero 等汽车的车身。在美国, 这类塑料可用于制造运动汽车的车身, 并有向批量生产的轿车上推广的趋势^[27]。1988 年 7 月起, 联邦德国巴依尔公司批量生产 “Roadster Z-1” 型运动轿车, 其车身利用各种塑料制成, 除了聚酯玻璃钢以外, 还利用聚氨酯和热塑性塑料。塑料车身的优点是无腐蚀性, 具有抗石冲击性能^[35]。

据预测^[36], 1995 年美国将有 30% 的上装车身板将采用 FRP 制造。

3. 保险杠

在结构方面, 聚合物真正取代固体金属组件的有汽车前部和后部的保险杠。不同的汽车制造厂分别采用多种多样的塑料, 表 4 列出汽车保险杠材料使用情况^[37,38]。

美国专利 US 4645249 报导了汽车保险杠制造技

表 4 汽车保险杠材料使用情况

材料	产地	车型	特点
RRIM 和 SRIM 聚氨酯	欧洲	Porushe	具有弹性,
	美国	Fellow, Sunda-bado	整体感好,
	日本	Savanna RX-7, Soara	可回收
PP 合金	欧洲	Golf, Citroen, Audi	成本低,
	美国	Chrysler-86/P-CAR	生产性
	日本	Acod, 市民, 花冠	好, 可回
	中国	桑塔纳, 标致, 上海	收
PC/PBT 合金	欧洲	Benz, BMW, Maestro	刚性高,
	美国	Ford, Escot	可焊接,
	日本	Peatha	易涂装
SMC	欧洲	Renault-25	高刚性

术, 它采用压铸法制造聚丙烯复合物外壳, 芯件是聚乙烯和聚丙烯的混合泡沫塑料。这种保险杠具有优越的吸能性能。

日产汽车与三菱油化开发了聚丙烯嵌段共聚物、苯乙烯系弹性体、烯烃系乙丙橡胶 3 种成分配比组成的新树脂来制作汽车保险杠, 这 3 种成分有相互补充的特性, 如刚性、耐冲击性、耐腐蚀性、光泽、弹性、涂饰性等。这种树脂做成的保险杠具有经受车速为 8km/h 的

表 5 车门饰条应用情况

汽车商	车 型	产量 (只)	材 料	生产方法
Renault	Alpine	1300	玻纤增强聚酯, 聚氨酯	RRIM
Renault	Espace	18500	玻纤增强聚酯	SMC
Pontiac/GM	Fiero	65000	PP/EPDM	SMC, RIM, RRIM
Chevrolet/GM	Coryette	30000	玻纤增强聚酯, 聚氨酯	SMC, RRIM
Reliant	Scimitar	270	玻纤增强聚酯, 聚氨酯	RRIM
Treser	Treser 1	800	玻纤增强聚酯, 聚氨酯	RRIM
Lotus	Esprit, Excel	700	玻纤增强聚氨酯	手糊成型
BMW	Z1	1200	PC/PBT, PBT/橡胶	注射成型

冲击后复原的特性^[39]。

4. 车门饰条

在美国、西欧, 车门饰条应用复合材料制作也相当广泛, 表 5 列出了国外车门饰条应用情况^[40]。

四、汽车复合材料的应用前景

汽车塑料已经从充当汽车内饰件材料发展成保险杠、汽车油箱等各种功能性零部件的材料。塑料车身、塑料发动机的诞生为复合材料在汽车上的应用展示了广阔的前景。

据报道^[41], 通用电气塑料公司 (GEP) 在荷兰的分公司研制了名叫“Vector”型样车, 该车 750kg 质量中, 含有 225kg 的塑料件, 其中有前翼子板、带车门的车身后部、发动机间的侧壁板、发动机油底壳、气缸盖、仪表板等。最近, 福特公司生产了底盘骨架结构完全是由聚合物复合塑料制成。福特公司前董事长唐纳德·彼得森认为^[42], 复合塑料应用于汽车结构件制造的创新, 是当今世界汽车工业发中最有前途的两项突破之一 (另一项是电子集成化)。

美国《机械设计》1991 年 2 月刊登题为《2000 年的汽车塑料》一文^[28], 文章的开头一句提到: “如果热塑性、热固性塑料和复合材料方面的技术进一步提高, 下一世纪的汽车材料将是塑料多于金属”。据估计, 2000 年汽车材料中, 塑料件在汽车中所占的质量比例将达到 30~60%, 在某些汽车中将达到 80%^[43]。

90 年代, 塑料及塑料工业将面临着来自汽车工业的挑战。在美国, 为了促进汽车塑料的发展, 一些最大的汽车公司与塑料公司密切合作, 其目的是将汽车复杂的塑料零件的繁重而长时间的结构设计工作和工艺任务转给塑料供应厂家。汽车制造技术政策的变化, 一方面由于塑料工艺设计的日益复杂且科学性更强, 另一方面由于专业厂家在利用结构塑料制造重要汽车零件方面积累了大量经验。

随着汽车工业和塑料工业的发展, 国内塑料原材料的品种和牌号将不断增多, 汽车复合材料的用量将不断增加, 为我国汽车复合材料的发展开辟了广阔的前景。

参考文献

1. Mach. Des., 1987, 59 (26), 25~26
2. Des. News, 1988, 44 (9), 26~28
3. Meibener F., Kraftfahrzeugtechn., 1988, 38 (6), 179
4. Cassidy V. M., Mod. Metals, 1989, 45 (11), 62~64, 66
5. Seifert, Krafthand, 1989, 62 (5), 300~302
6. Wolte B., ATA; Ing. Automot., 1989, 42 (8), 551~562
7. 陈绍杰, 材料工程, 1989, 1, 11~18
8. 周文, 塑料工业, 1991, 6, 33~36
9. 骆秀云, 汽车材料通讯, 1989, 4, 29~35
10. 唐赛珍, 国外产品与技术, 1990, 4, 22~24
11. Ing. Automob., 1989, 651, 173~174
12. Buisson G., Hommes et Fonderie, 1989, 199, 23~27
13. [日] 化学技术杂志 MOL 编辑部编, 陈国权等译, 中国建筑工业出版社, 1989, P67 (下略)

(上接第 54 页)

电极时在锭的中间点可能出现局部的结构和成分上的奇异点; (3) 用蒸汽落锤锻造电渣钢锭, 导致表面光洁度差需采取修正措施, 希改进; (4) 炼钢的性质、当地条件、管理标准都没有达到生产宇航材料的标准; (5) 对于电渣重熔 (或真空电弧重熔) 锻坯的预期缺陷尺寸, 采用超声波检验以手提式装置手握探头进行不相适应。

对哈飞公司的考察结果如下: (1) 注意到露天存放若干年的材料上已涂新漆标号, 对此材料验收程序表示满意; (2) 用以预热锻的明火炉, 其中温差很大有表面渗碳的可能。在此情况下, 手握式光学温度计不足以充分地精确地控制大尺寸锻件温度; (3) 锻造工艺单上没有具体冷却程序规定, 而只用一个注说明气冷; (4) 起落架还有几处焊接奇异点, 如咬口、表面孔隙等, 这些在英国高整体性零件上是不可接受的; (5) 氩弧焊用的钨丝显露有擦进焊接金属的痕迹, 一根新钨丝不符合航标要求; (6) X 光和磁力探伤检测不了起落架的复杂焊接位置。现正按照 CAA 意见研究改进措施。

最近, 直 9 国产化在西南轻合金加工厂研制一批新材料, 在抚顺钢厂也研制一批高强度合金钢, 这给民航设计人员提供了更大范围的材料选择。