

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.08.012

LGFRPP 轿车底护板模压成型工艺研究^{*}

胡章平, 杨旭静, 袁振松, 郑娟

(湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室, 长沙 410082)

摘要:应用长玻璃纤维增强聚丙烯 (LGFRPP) 材料以模压成型工艺开发某车型底护板,从工艺制度确立、模具设计、力学性能检测三个方面系统研究轿车底护板的模压成型工艺。采用的工艺方案为:热板接触式预热,预热温度为 215℃,预热时间为 18 min,压力为 5 MPa,并对合模速度进行分段控制,保压时间为 3 min。在该工艺条件下试制得到的轿车底护板力学性能较优,质量较轻,满足轻量化要求。

关键词:轻量化;长玻璃纤维增强聚丙烯;模压成型;底护板

中图分类号:U465.6 文献标识码:A 文章编号:1001-3539(2015)08-0051-05

Study on Molding Process of Vehicle Fender of LGFRPP

Hu Zhangping, Yang Xujing, Yuan Zhensong, Zheng Juan

(State Key Laboratory of Advanced Design and Manufacturing for Vehicle Body, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract : The molding process of applying LGFRPP into vehicle fender was systematically studied including process plan, mold design and mechanical performance tests. The optimum process plan was obtained as follows : contact heating, preheating temperature of 215℃, preheating time of 18 min, molding pressure of 5 MPa, changing closing speed and pressure holding time of 3 min. The developed fender has good mechanical properties and can meet the requirement of lightweight.

Keywords : lightweight ; long glass fiber reinforced polypropylene ; molding process ; fender

随着环境问题与能源问题的日益严重,汽车轻量化得到了越来越多的重视,复合材料因其质量轻、比强度高优点被广泛应用于车身上。长玻纤增强聚丙烯 (LGFRPP) 复合材料作为一种热塑性树脂基材料,与热固性树脂基复合材料相比具有损伤容限高、成型效率高、可回收再利用等优势^[1],与短切纤维增强材料相比其力学性能也得到了很大提高,因此其应用范围由传统的内饰件逐渐向承力件拓展^[2]。

轿车发动机底护板由于在复杂工况时要经受泥沙的冲击及破坏,以防止发动机与地面接触摩擦造成损坏,因此对其力学性能有一定的要求,是车身中具有代表性的一个半结构件。目前,国外宝马、奔驰等知名汽车厂商均已采用 LGFRPP 材料取代钢板、铝板等生产轿车底护板,我国尚处于初步应用开发阶段,因此采用 LGFRPP 材料开发轿车底护板具有重要意义,并且能够为将 LGFRPP 材料进一步应用于车身结构件奠定良好的基础。

模压工艺由于所需工艺设备简单、生产效率高特点在工业生产中得到广泛应用,另外,具有对大型件尺寸精度控制好的优势,使其成为成型底

护板类大面积异型件的较优选择^[3]。目前国内外已有许多学者对复合材料的模压工艺进行了研究。G. Kotsikos 等^[4]采用彩色加料法对交替色层模压料在固定工艺条件下进行模压,通过试件表面及剖面来描述玻纤增强聚丙烯 (GFRPP) 材料的流动行为特征,其认为模压时材料的流动以拉伸流动为主,兼有剪切流动。A. Rubio 等^[5]采用 DOE 法研究了不同模具型面的模压参数,得到了各个参数的较优取值范围。研究表明,不同的模具几何型面较不同的模具温度及成型压力对成型件的力学性能的影响更大。邓洪等^[6]研究了成型压力对 GFRPP 制品力学性能的影响,研究表明制品拉伸强度及弯曲强度随压力增大呈现先增大后减小的趋势。蔡浩鹏等^[7]为研制出满足国产军车挡泥板设计要求的 GFRPP 制品,制定出相应的模具设计方案并优化了温度、压力等工艺参数。

^{*} 湖南大学汽车车身先进设计制造国家重点实验室开放基金项目 (31115014),湖南省自然科学基金项目 (12JJ9017)

联系人:胡章平,硕士,主要从事汽车车身制造工艺技术、汽车复合材料工艺与装备技术方面的研究

收稿日期:2015-05-18

以上研究多针对的是小面积板件的成型,对于工程实际中大面积异型件模压成型的研究,相关文献则较少。笔者采用 LGFRPP 材料来开发某车型底护板,从工艺制度确立、模具设计、力学性能检测三方面系统研究了轿车底护板的模压成型工艺,试制的轿车底护板满足轻量化要求,为 LGFRPP 材料应用于其它车身结构件提供重要参考。

1 模压工艺制度的确立

某车型底护板横向最大尺寸为 1060 mm,纵向最大尺寸为 768 mm,上下面高低深度差为 33 mm,板厚 3 mm,为提高成型质量,设计时零件圆角均大于 R8,对于深度高于 10 mm 以上的特征,做 5° 以上的拔模角。底护板零件如图 1 所示。

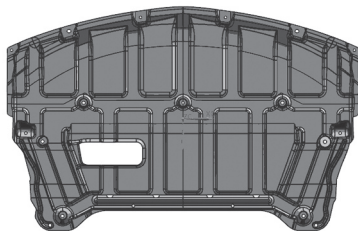


图 1 轿车底护板零件

所用 LGFRPP 片材为自制,制备工艺如下:首先将聚丙烯预制成纤维,随后与长玻璃纤维通过气流成网工艺预混,最后通过针刺工艺将其制成毡状预浸料片材,其中所用树脂及玻纤均经过改性处理。LGFRPP 片材基本参数如表 1 所示。

表 1 长玻纤增强聚丙烯片材基本参数

项目	数值
玻纤长度/mm	25
玻纤含量/%	20
密度/(g·cm ⁻³)	0.375
玻纤直径/μm	13
材料不均匀率/%	<5

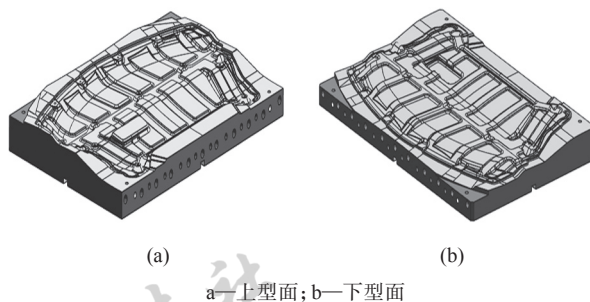
1.1 模压工艺流程

LGFRPP 底护板的模压成型工艺流程如下:首先对 LGFRPP 片材进行预热,并对模具型面进行加热,一段时间后将预热后的片材转移到模具型腔内,之后进行压制,保压一段时间后,冷却脱模即可^[8]。整个成型过程主要包括预热、热压、保压、冷却脱模四个步骤。

1.2 底护板成型模具设计

模具对 LGFRPP 片材的成型具有重要意义,可以说模具质量的好坏直接决定了产品质量的优劣以及成本的贵廉^[9]。目前,大多数成型模具整体生产效率不高,加热机构大部分采用导热油式加热,加热

效率较低,冷却机构采用冷却水,加热机构与冷却机构多为上下平行布置,这也使得冷却时效率降低,且增加了模具的体积,提高了模具成本。为了规避以上缺点,笔者设计出一种结构简单、体积小、操作方便的用于 LGFRPP 片材的成型模具。根据底护板零件为薄壁件的特点,对其中心面进行分模,上、下各偏置半个壁厚得到型面,上、下模芯设计如图 2 所示。



a—上型面; b—下型面

图 2 模芯设计

对于底护板此类面积较大、曲面成分较多的零件,为了保证成型质量需对模具型面进行加热。相较于导热油加热,笔者选择成本较低且操作方便的电加热管加热。模具纵向两侧分别开设 11 条加热孔,孔径为 20 mm,电加热管采用铜加热管,热源温度 170℃。为了保证加热均匀度,在模具两端各设置一个温控点,用以控制温度。当温控点处温度到达设定温度时,电热管即停止加热。同时,为了克服现有模具体积较大的缺点,提出一种新的模具加热及冷却方案,即加热管道与冷却管道并列布置,在两条加热管之间开设一条冷却管道,其中冷却管道首尾依次相接形成回路。具体布置如图 3 所示。

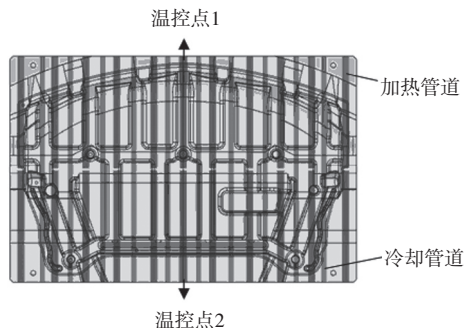


图 3 加热及冷却管道布置方案

为了验证模具在使用过程中型面的温度均匀性,分别将加热温度设定为 60℃ 及 100℃ 进行模具加热,当温控点处温度达到设定温度时,停止加热,并立即随机在上、下型面上抽取 5 个点,采用红外线

测温仪进行检测,检测结果如表 2 所示。

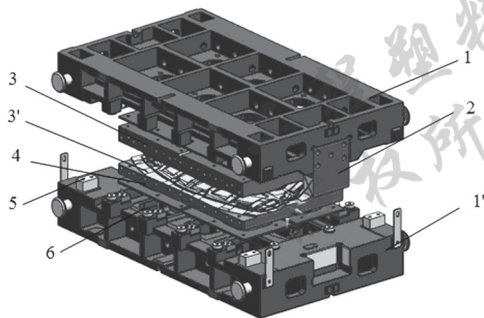
表 2 模具温度均匀性检测

设定温度	上模具温度					下模具温度				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
60	58.2	59.3	57.5	58.4	59.3	58.2	57.4	57.9	58.1	58.7
130	129.1	128.4	128.5	129.3	128.7	127.3	128.5	127.6	127.8	127.2

由表 2 可以看出,在实际操作时模具型面温度虽然较设定温度偏低,但整体温度均匀性较高,随机抽取的测温点误差均在 3℃ 以内,可以满足使用要求。

导向机构是保证动模和定模在合模时正确定位和导向的重要零件,通常采用导柱 / 导套式导向或导板导向。导柱 / 导套式导向精度较高,但因此带来的加工成本也会上升,另外由于 LGFRPP 在成型时,需要对模具进行预热,材料热胀冷缩的效应也会导柱 / 导套的精度产生一定的影响。考虑到底护板在纵向上尺寸不大,导板加工较容易,因此选取经济效益更佳的导板导向作为模具的导向机构。

综上所述,成型模具的最终设计如图 4 所示。



1—上模座; 1'—下模座; 2—导板; 3—上模芯; 3'—下模芯;

4—石棉板; 5—限位块; 6—平衡块

图 4 模压成型模具

1.3 坯料预热

目前热塑性聚合物的预热方式主要有热板接触式预热、热空气对流预热以及远红外预热三种^[10]。其中,热板接触式预热效率高,是一种较理想的预热方式,笔者采用自行设计的接触式热压机,基于热板接触方式对 LGFRPP 进行预热。

LGFRPP 材料预热后会塑化膨胀,厚度方向尺寸显著增高,采用热板接触式预热对其进行预热时,通常片材的表面温度会高于中心温度,在加热过程中应注意坯料中心和表面的温度梯度的控制,坯料中心的温度通常控制在 190~210℃,当坯料表面温度达到 204℃ 以上时,坯料中心温度开始达到较优范围,但坯料表面温度不得超过 215℃,否则树脂会

降解冒烟^[11]。通过实验测得坯料的温度曲线如图 5 所示。由于坯料面积较大,因此在确定预热温度的同时,预热时间应相应有所增加,保证坯料能够充分塑化膨化,结合实际试验摸索,将预热温度设为 215℃,预热时间设为 18 min。

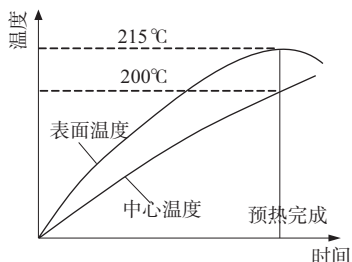


图 5 坯料预热温度曲线

1.4 模具温度的确定

当预热的 LGFRPP 片材向模具内进行转移时,表面温度会有一些下降,当模具温度较低时,片材表面温度会迅速降低,导致固化过快,从而导致表面质量不理想,当模具温度较高时,则会使基体固化速度减慢,流动性增强,可能出现充模不满等表面质量问题。因此,确定一个合理的模具温度对于大型薄壁件的成型及其重要。由于模具温度主要是对制品表面质量影响较大,因此通过对成型件的外观评价来确定较佳的模具温度,试验结果如表 3 所示。

表 3 制品表面质量评价

模具温度 / ℃	表面质量
60	差,有气孔
70	差,有纹路
80	好
90	优
100	优
110	好
120	差,容易翘曲
130	差,有贫树脂

根据以上试验及分析,最终确定实际生产中的模具温度为 100℃,在此温度下,模压件的表面质量较好,无明显缺陷。

1.5 成型压力及合模速度的选取

模压成型是通过克服材料的内摩擦以及材料与模具的外摩擦,从而使坯料充满型腔,因此成型压力及合模速度的选取非常关键。成型压力的上限估算可采用 (1) 式^[12]:

$$P=K(D_1+1/3D_2)/S \quad (1)$$

式中: P ——成型压力, MPa ;

K ——试验常数,取 2~8 ;

D_1 ——型面平面部分面积,取 0.7 m² ;

D_2 ——型面侧面部分面积,取 0.38 m^2 ;

S ——压机活塞截面积,取 0.4 m^2 。

按上式进行计算,得出最大合模力在 $4 \sim 16 \text{ MPa}$ 。

在成型过程中,压机合模速度是变化的。试验过程中速度的变化分为 6 个过程,如图 6 所示。①上模以 120 mm/s 的速度高速下降;②随着上、下模间距离的缩短,当导板开始进入导板槽时,上模速度变为中速,下降速度变为 8 mm/s ;③当上模接触到下模上的坯料时,坯料开始受压,加压速度为 5 mm/s ,直至上下模完全闭合,熔融坯料在压力作用下流动成型;④成型后保压;⑤保压一定时间后进行分模,上模以 $5 \sim 8 \text{ mm/s}$ 的速度上升;⑥分模后上模以 120 mm/s 的速度上升复位。

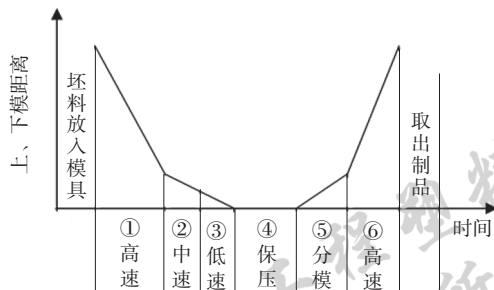


图 6 成型过程中合模速度的变化

综合上述分析,结合试验摸索,确定了主要的模压工艺参数如下:采用热板接触式预热,预热温度为 215°C ,预热时间为 18 min ;压力为 5 MPa ;采用图 6 的合模速度;保压时间为 3 min 。

2 底板质量检测

采用上述工艺对 LGFRPP 底板进行模压成型,将成型件进行修边最终生产出的轿车底板产品如图 7 所示。

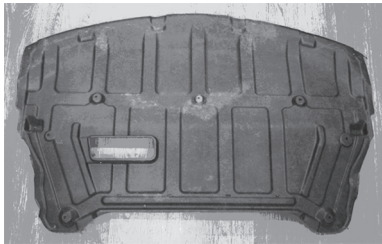


图 7 轿车底板

成型后底板的表面未出现气孔、焦痕等缺陷,表面质量良好。为了对其力学性能进行评价,参照 GB/T 1447-2005《纤维增强塑料拉伸性能试验

方法》及 GB/T 1449-2005《纤维增强塑料弯曲性能试验方法》取样并进行拉伸试验及三点弯曲试验,具体取样位置如图 8 所示。

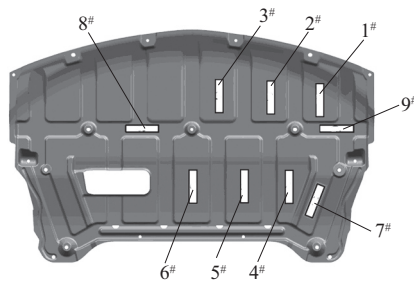


图 8 试样截取位置

分别对三块底板进行如上取样,进行拉伸试验与三点弯曲试验,并对三次试验结果取平均值,试验结果见表 4。

表 4 试样拉伸强度及弯曲强度测试结果

试样编号	拉伸强度 / MPa	弯曲强度 / MPa
1#	55.58	88.08
2#	54.82	89.71
3#	55.32	85.13
4#	48.17	79.12
5#	55.78	92.13
6#	55.62	90.81
7#	46.61	76.15
8#	59.12	87.56
9#	57.53	90.71

由表 4 可知,1#,2#,3#,5#,6# 试样的拉伸强度及弯曲强度一致性较高,无太大变化,拉伸强度在 $54 \sim 56 \text{ MPa}$ 范围内;4# 试样的拉伸强度与弯曲强度偏低,可能是由于取样位置相较于其它试样位置偏窄,材料的均匀性不如面积较大部位,而且压制时气泡也不易排出;7# 试样的拉伸强度与弯曲强度是所有试件中最低的,这与试样截取位置有关,其处在一个阶梯面上,因此成型时材料在此处流动较多,因而此处基体材料与玻纤的浸渍相对来说较差;8#,9# 试样为横向试样,其拉伸强度与弯曲强度均偏高,证明 LGFRPP 材料并非完全的各向同性材料,此次采用的坯料其横向力学性能较纵向力学性能更优。总体来看,试制出的轿车底板整体的拉伸强度及弯曲强度比较稳定,各部位力学性能波动不大,力学性能满足厂商需求,且质量减轻,能满足轻量化要求。

3 结论

(1) 设计了一种用于成型 LGFRPP 材料的模具结构,主要包括模座、模具、导向机构、加热机构及冷却机构,其结构简单,体积小,造价低廉,模具型面加

热后温度分布均匀,有利于基体与玻纤的浸渍及冷却定型,实际生产中成型效率较高。

(2) 针对轿车底护板的模压成型制定出一套完整的工艺制度,包括:采用热板接触式预热,预热温度为 215 ℃,预热时间为 18 min;压力为 5 MPa;对合模速度进行分段控制;保压时间为 3 min。

(3) 试制出的轿车底护板经过拉伸强度及弯曲强度检测表明,其力学性能稳定,质量减轻,满足轻量化要求,为将 LGFRPP 材料进一步应用于其它车身结构件提供了一定的参考。

参考文献

- [1] 郭兵兵,周春华,陈杰,等. 玻纤增强聚丙烯管材缠绕成型温度工艺参数研究[J]. 工程塑料应用,2013,41(10):56-59.
Guo Bingbing, Zhou Chunhua, Chen Jie, et al. Study on temperature parameters of filament winding of glass fiber reinforced polypropylene pipes[J]. Engineering Plastic Application, 2013, 41(10):56-59.
- [2] Lyu M Y, Choi T G. Research trends in polymer materials for use in lightweight vehicles[J]. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2015, 16(1):213-220.
- [3] 沃西源,薛芳,李静. 复合材料模压成型的工艺特性和影响因素分析[J]. 高科技纤维与应用,2009,34(6):41-44.
Wo Xiyuan, Xue Fang, Li Jing. Analysis on the process properties and influencing factors of composites molding[J]. Hi-Tech Fiber & Application, 2009, 34(6):41-44.
- [4] Kotsikos G, Bland J H, Gibson A G, et al. Squeeze flow testing of glass mat thermoplastic material[J]. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 1996, 27(12):195-200.
- [5] Rubio A, Eguizabal P, Mendizabal M A, et al. Influence of the processing parameters on glass mat reinforced thermoplastic(GMT) stamping[J]. Composites Manufacturing, 1992, 3(1):47-52.
- [6] 邓洪,赵东波,费传军,等. 压力对 GMT 片材力学性能影响研究[J]. 玻璃纤维,2006(6):1-4.
Deng Hong, Zhao Dongbo, Fei Chuanjun, et al. Effect of pressure on the mechanical properties of GMT sheets[J]. Fiber Glass, 2006 (6):1-4.
- [7] 蔡浩华,肖红波. GMT 汽车挡泥板的成型工艺研究[J]. 高科技纤维与应用,2007,32(6):34-37.
Cai Haohua, Xiao Hongbo. Study on the molding process of the fender of GMT composites[J]. Hi-Tech Fiber & Application, 2007, 32(6):34-37.
- [8] 于浩,黄志雄,秦岩. 低压片状模塑料模压工艺参数研究[J]. 武汉理工大学学报,2006,28(3):7-9.
Yu Hao, Huang Zhixiong, Qin Yan. Research on the molding parameters of low pressure sheet molding compounds[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2006, 28(3):7-9.
- [9] 章令晖,李甲申,韩宇,等. 复合材料成型模具研究进展[J]. 航天制造技术,2013,33(1):13-17.
Zhang Linghui, Li Jiashen, Han Yu, et al. The progress of research on composite forming mould[J]. Aerospace Manufacturing Technology, 2013, 33(1):13-17.
- [10] 朱永全,路慧玲,戴干策. 热塑性 GMT 片材预热技术研究[J]. 塑料工业,2000,28(3):35-37.
Zhu Yongquan, Lu Huiling, Dai Gance. Study on preheating technology for GMT thermoplastic sheet[J]. China Plastics Industry, 2000, 28(3):35-37.
- [11] Hartikainen J, Lindner M, Harmia T, et al. Mechanical properties of polypropylene composites reinforced with long glass fibres and mineral fillers[J]. Plastics, Rubber and Composites, 2004, 33(2-3):77-84.
- [12] 刘雄亚,谢怀勤. 复合材料工艺及设备[M]. 武汉:武汉工业大学出版社,1994.
Liu Xiongya, Xie Huaiqin. Composite technology and equipment[M]. Wuhan: Wuhan University of Technology Press, 1994.

亚太地区聚氯乙烯需求增速快

据 IHS 咨询公司预测,通用塑料聚氯乙烯(PVC)在亚太地区的需求将保持快速增长,2015 年中国 PVC 需求将以 5%~6% 的速度增长,美国 PVC 市场增长也将达到 2.9%。

一直以来,亚洲乙烯高价使石脑油基 PVC 不能与电石法 PVC 竞争,但 2014 年四季度以来的油价大跌,以及随之而来的石脑油和乙烯原料价格下跌,削弱了电石法 PVC 的成本优势。IHS 咨询公司表示,中国大部分 PVC 基于煤生产,而在亚洲其他国家,石脑油基 PVC 占主导地位。油价大跌前,亚洲乙烯售价为 1450 美元/t,目前价格为 950 美元/t,但树脂价格下滑幅度不大,PVC 价格从 1000 美元/t 下降到 900 美元/t,导致乙烯基产品的利润在油价下跌后大幅提高。

当新增产能增速放缓时,供应过剩将使中国 PVC 产能利用率保持在较低水平。IHS 咨询公司预测,中国平均 PVC 装置开工率为 52%~53%。由于成本降低,石脑油基 PVC 生产商努力增加出口。

此外,美国 PVC 需求较旺盛。IHS 咨询公司预测,2015 年美国 PVC 市场会增长 2.9%,油价降低也会提高 2015 年欧洲 PVC 利润的增长预期,今年欧洲 PVC 生产商的利润可能平均为 91 欧元/t,而近 5 年欧洲的平均利润仅 28 欧元/t。

由于欧元疲软,欧洲塑料行业的成本降低,有助于出口,且出口比国内现货销售回报更高。欧洲 PVC 和其他聚合物出口的竞争对手主要是北美,特别是对土耳其的出口。预计油价和石脑油价格回升后,出口土耳其的 PVC 离岸净价会涨至 900 美元/t。
(环塑网)