

客车车身用拉挤玻璃钢制品成型工艺及表面质量控制研究

刘峰¹, 郭瑞², 毛金星², 杨冰玉², 黄斐荣²

(1. 长沙市比亚迪汽车有限公司, 长沙 410116; 2. 比亚迪汽车工业有限公司, 广东 深圳 518118)

摘要:介绍玻璃钢制品拉挤成型工艺,分析其表面质量的影响因素,并提出改善其表面质量的措施,为其在客车上的应用提供参考。

关键词:客车车身; 玻璃钢制品; 拉挤成型; 表面质量

中图分类号: U465.6

文献标志码: A

DOI: 10.15917/j.cnki.1006-3331.2025.04.010

Research on Pultrusion Process and Surface Quality Control of Fiberglass Products for Bus Bodies

LIU Feng¹, GUO Rui², MAO Jinxing², YANG Bingyu², HUANG Feirong²

(1. Changsha BYD Auto Co., Ltd., Changsha 410116, China; 2. BYD Auto Industry Co., Ltd., Shenzhen 518118, China)

Abstract: This paper introduces the molding process of fiberglass products, analyzes the influencing factors of their surface quality, and proposes measures to improve it, which provides a reference for their application to buses.

Key words: bus body; fiberglass product; pultrusion molding; surface quality

玻璃纤维增强复合材料又名玻璃钢,具有轻量化和高性能的特性,因此成为汽车行业实现轻量化的重要材料选择。在玻璃钢制品的各种成型工艺中,早期的手糊成型工艺由人工操作,具有灵活性高、操作简单和成本较低等优点,但存在生产效率低、污染重、材料利用率低以及产品稳定性差等显著缺点,已基本退出应用市场。而拉挤成型工艺具有生产效率高、自动化程度高、拉挤制品纤维占比高及产品性能稳定等突出优势,使其逐渐成为汽车行业玻璃钢制品应用的主流工艺。

拉挤玻璃钢制品可用于快速、轻松地构建耐腐蚀、重量轻且不导电的钢结构替代品。在客车行业中,其广泛应用于客车车身材料,如侧围蒙皮、前后围蒙皮、顶围蒙皮及轮罩装饰件等部件。由于在拉挤成型过程中难以实时监控模具内聚合物的聚合反应,可能会导致制品存在一些表面质量问题,因此,针对玻璃钢制品的拉挤工艺进行研究显得尤为关键。

1 拉挤玻璃钢制品的应用

拉挤玻璃钢的发展历程可以追溯到20世纪50年代末,目前已成为全球范围内的重要产业,在全球复合材料市场占有重要地位,已广泛应用于铁路车辆、公路客车、货车的侧围蒙皮和结构件中。近年来,随着拉挤成型工艺的自动化和智能化水平不断提高,生产效率和成本效益进一步优化,拉挤玻璃钢制品在新能源汽车、航空航天、风力发电等高端领域的应用也在不断扩大。

拉挤玻璃钢在客车部件上的应用主要分布在客车侧围、前后围、轮罩装饰件、车顶、地板、座椅、散热器框架等部位。其中,部分客车车身蒙皮采用拉挤玻璃钢制品,能有效降低车身重量并提升车身耐腐蚀性能;某些高端客车的车顶采用拉挤玻璃钢制造,不仅减轻了重量,还提高了车顶的结构强度和安全性;在一些长途客车中,地板支撑梁采用拉挤玻璃钢制品,不仅提高了地板的刚性和稳定性,还减轻了车身重

收稿日期: 2024-11-17。

第一作者: 刘峰(1989—),男,助理工程师,主要从事机械制造自动化工作。E-mail: 591682742@qq.com。

量;一些豪华客车的座椅骨架采用拉挤玻璃钢制品,提高了座椅的耐久性和舒适性^[1-3]。

2 玻璃钢制品拉挤成型工艺

2.1 拉挤玻璃钢构成

拉挤玻璃钢主要由玻璃纤维增强材料、树脂基体材料和辅助材料构成。纤维增强材料主要类别有无捻粗纱和连续纤维毡,其作为主要骨架提供了高强度和刚性,对材料的拉伸强度提升起关键作用,能有效控制材料在固化过程中的尺寸稳定性,减少热变形时的尺寸变化,并提高低温条件下的冲击韧性,从而大幅提高复合材料的性能和适用范围。树脂基体材料主要包括环氧树脂、聚酯树脂,它们负责黏合纤维并固化,形成整体结构,其中最常用的基体树脂是环氧树脂。同时,在拉挤成型过程中还需使用脱模剂、粉末填料、固化剂、偶联剂等材料,用于改善树脂的性能、降低成本和增强材料间的结合^[4]。

拉挤玻璃钢的结构通常是以无捻粗纱为中间层的夹心对称结构,两侧依次分布着用于增强横向强度的连续纤维毡,以及用于提高表面质量、防腐和耐候性能的表面毡。这些纤维增强材料浸润在树脂基体中,并在成型过程中通过高温反应析出脱模剂。拉挤玻璃钢的材料构成如图1所示。

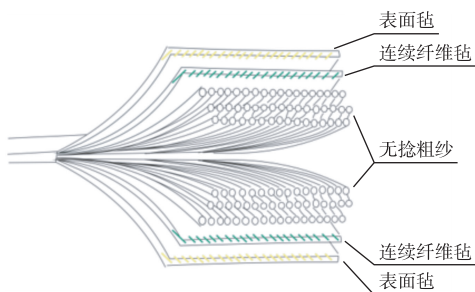


图1 拉挤玻璃钢结构示意图

2.2 制品拉挤成型工艺过程

拉挤成型是最早开发并使用的复合材料制造工艺之一。拉挤成型是一种连续生产工艺,通过将连续纤维、带、布或毡等浸渍树脂胶液,随后这些物料在模具中受到挤压和牵引力的共同作用而固化成型。其特点是生产过程中,物料在模具内部同时经历挤压和外部拉伸,且制品长度与生产流程保持同步连续,因

此也被称为拉挤连续成型^[5]。拉挤成型因其成本效益高、能源效率高、生态友好且废物产生量少而成为一种流行的选择。由于拉挤成型工艺能够生产一体化成型的制品,因此在需要大批量、快速生产和连续制造的情况下,其是最佳选择。

拉挤玻璃钢制品成型工艺过程如图2所示。无捻粗纱、连续纤维毡和表面毡等增强材料依次排列在纱架上,由牵引机拉向预成型装置中心的胶槽进行浸胶,以确保这些增强材料完全浸润在盛有树脂液的胶槽中。在预成型装置的作用下,浸透树脂的增强材料进行初步成型,使其在进入最终模具前形成一定形状和排列,此步骤称为预成型。

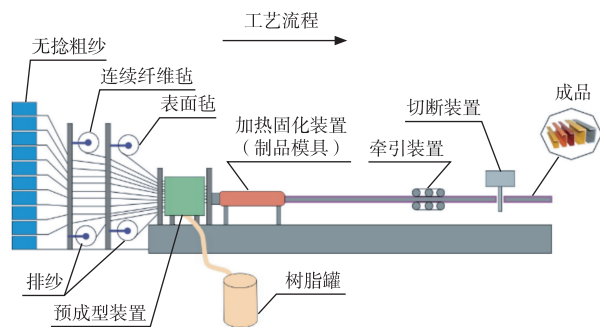


图2 玻璃钢制品拉挤成型工艺流程图

在预成型模具中,增强纤维可以被排列成所需的形状和方向,如直线、编织或交叉等。通过预成型装置处理后,增强纤维材料被牵引至预先加热的钢制品模具(即图2中的加热固化装置)中。在制品模具中,通过加热使增强纤维材料发生氧化反应,使树脂基体固化。固化后的增强纤维材料通过拉拔设备连续拉出,拉拔速度和力度需要精确控制,以确保制品的质量和生产效率。在制品模具中,拉挤玻璃钢制品同时经历挤压和外部拉伸。最终制品被自动切割成指定长度,无需进一步加工即可使用。其中,加热模具的设计取决于最终产品的几何形状和尺寸要求。常见的加热模具具有直线型模具、弯曲型模具以及复合型模具等,可以生产出杆、管、梁等各式各样的拉挤玻璃钢制品。

手糊玻璃钢制品工艺在操作过程中会挥发大量有机溶剂,会污染环境并危害操作工人的健康。而拉挤工艺采用封闭式生产,大幅减少了挥发性有机物的排放。此外,拉挤工艺成品质量稳定,废品率降低,进

一步减少了环境污染。因此,拉挤玻璃钢制品成型工艺的环保性能有显著改善。

3 拉挤玻璃钢表面质量控制

3.1 拉挤玻璃钢综合性能

拉挤玻璃钢材料的成分与工艺决定了其物理与机械性能。其具备低密度、高耐腐蚀性、良好耐磨性、优异加工性能、高强度和韧性以及良好抗热变形等物理和机械性能。通常拉挤玻璃钢的强度在 100 MPa 以上,密度一般为 1.0~1.5 g/cm³,比传统金属材料轻^[6]。由于拉挤玻璃钢的基础材料是高分子复合材料,所以其具有卓越的耐腐蚀特性,能够在严苛环境中长期保持稳定。此外,得益于其良好的加工灵活性,拉挤玻璃钢可以轻松进行切割、钻孔、成型等工艺处理,适应性强,便于集成设计到多种结构中。

3.2 拉挤玻璃钢制品缺陷分析

由于拉挤工艺的限制,大多数玻璃钢制品存在表面质量问题。复合材料制件的常见缺陷包括玻璃钢体分层、裂纹断裂、内部存在气泡与夹质、纤维铺放方向偏差、树脂含量不均、步进纹形成、纤维畸变等^[7]。表 1 列出了拉挤成型玻璃钢制品的缺陷及其成因^[8]。

表 1 拉挤成型玻璃钢制品部分常见缺陷及成因

制品缺陷	原因分析
树脂含量不均	模具压力造成低黏度树脂被挤出
步进纹形成	固化的树脂无法流动,树脂堆积
裂纹	树脂与成型的纤维浸润性不好;模具中,树脂堆积在角槽里,使得表面毡出现褶皱
纤维畸变	纤维受流动树脂冲击和粘带作用,纤维偏移初始位置

总结其产生缺陷的原因大致为:生产操作失误、基体材料配比不精确、增强材料铺放方向不一致、生产工艺流程设计缺陷、环境因素以及外部刮碰和冲击等^[9]。

气泡在拉挤玻璃钢制品中较为常见。气泡的存在对材料性能有显著的负面影响,尤其是会降低材料的拉伸和压缩强度以及模量。气泡的形成通常源于基体树脂和玻璃纤维的特性。树脂基体中挥发成分过多或树脂黏度过高,都会导致空气不易排出。此外,玻璃纤维的浸润性不好也会加剧这一现象,导致

气体无法有效排出。

在拉挤成型的封闭模具工艺中,由于操作过程中的可见性受限,难以实时监测聚合物在模具内的反应,这可能导致制品在完成时出现多种表面缺陷。在拉挤工艺中,制品表面的缺陷(如橘皮纹、鱼鳞纹、水波纹、粘带粉末和无光泽等)主要由牵引速度控制不均、加热温度不当和模腔压力管理不善等共同造成。为了确保持续稳定的表面质量,必须严格控制各个环节的参数,包括均匀的牵引速度以防止层间不稳定,设定适宜的加热温度以确保树脂充分流动且不产生过多气泡,维持适当的模腔压力以保证材料的有效流动。只有这些参数保持一致且稳定,才能生产出高质量的拉挤制品。

此外,拉挤工艺是一个连续生产过程,拉挤玻璃钢材料中玻璃纤维占比较高,表面富树脂层较薄,增强材料的表面特性会直接影响制品表面质量。粗糙的缝编毡会增加表面的不平整度,导致橘皮纹缺陷;复合毡的堆积可能导致颜色不均,形成视觉瑕疵。增强材料纹路明显且遮盖性差,都会影响表面质量。目前我国生产的拉挤制品表面质量普遍不高,表面质量达到 A 级的极少。

3.3 拉挤玻璃钢制品表面质量控制措施

针对玻璃钢制品成型过程中产生的缺陷,需要准确找出缺陷产生的根源,制定相应的预防和控制措施,以有效预防缺陷,提升玻璃钢制品的生产质量和性能。可以从设备性能、原料选择以及工艺控制等方面,对拉挤玻璃钢制品的表面质量进行控制。

3.3.1 提高设备性能

拉挤工艺主要参数有纤维浸渍时间、拉挤线速度、成型温度、模腔压力等。拉挤成型过程中,模具直接决定了制品的成型效果与最终质量。模具温度过高会分解树脂,从而削弱对纤维的有效浸渍;而温度过低则会导致固化度不足,使产品粘连在模具上,即所谓的粘模现象。拉挤速度的控制同样关键:速度过快可能导致树脂在模具中来不及均匀固化,从而影响力学性能;速度过慢则会延长生产周期,降低效率,因为树脂可能会在制品退出模具前就开始固化,导致制品结构不良。

为了实现对拉挤工艺参数的精确控制,拉挤设备

的精密性和自动化性能至关重要。现代拉挤设备通常配备先进的控制系统(如温度传感器、速度控制器、压力监测器等),能够自动调整并维持稳定的工艺参数(如精确控制加热温度、实时调整牵引速度以及稳定模腔压力)。高效的设备可以降低人为误差,确保工艺一致性,从而显著提升产品质量。此外,定期维护与校准也是确保设备性能的关键措施。

3.3.2 原料选择

要确保拉挤玻璃钢制品的质量,除了使用先进的设备外,科学的原材料选择也至关重要。拉挤玻璃钢制品的原料包括基体材料、增强材料和辅助材料。

选择基体材料时,应依据明确的产品技术规格和质量标准,同时需考虑工厂的设备能力和当前的工艺技术水平。对于要求高表面质量的拉挤玻璃钢制品,必须选择性能更优的拉挤树脂,并评估树脂的力学性能指标、黏度、浸润性、凝胶时间及放热峰分布等。

为了得到表面质量较好的拉挤玻璃钢制品,通常会在其表面加一层由玻璃或热塑性聚酯制成的表面毡。若要填充制品的锐角并改善层间剪切强度与横向强度,可在拉挤工艺中使用玻璃膨体纱。该膨体纱是由无捻粗纱在高速气流中膨化形成毛圈,故在垂直纤维长度方向有许多纤维,可显著提升制品强度。同时,辅助材料的选择也应依据产品技术要求、质量标准,以确定最合适的材料。

3.3.3 工艺控制

拉挤制品的表面质量高度依赖于工艺的精确执行。操作人员的技术熟练度和工艺控制水平至关重要。任何环节的失误(如快速拉挤时纱线断裂未及时接续、增强材料连接处理不当、胶液配比不准确等)都会在固化过程中留下瑕疵(如气泡、裂纹或强度下降),严重时甚至会使整个制品成为废品。因此,需建立健全严格的工艺管理制度,保证工艺的顺利实施。

文献[10]分析了先进拉挤成型工艺制件中树脂含量不均、步进纹以及纤维畸变等缺陷的成因,并提

出了工艺改进方案:在原有工艺基础上增加预处理工艺和预固化工艺,该方法显著提高了制品的表面质量。这足以证明工艺控制的重要性。此外,针对拉挤玻璃钢制品表面划痕以及表面毡纹路显著问题,深入分析其原因为拉挤工艺存在问题导致纤维与树脂浸润性不佳。因此,需要增加树脂含量以提高其浸润性,改进方法为增加加热区长度,以提升纤维与树脂的浸润效果。

4 结束语

本文详细介绍了拉挤玻璃钢材料的研究现状、玻璃钢制品拉挤成型工艺流程及其各种缺陷与成因,并提出了拉挤玻璃钢制品表面质量控制措施,为其在客车车身上的应用提供参考。

参考文献:

- [1] 朱则刚. 车用玻璃钢复合材料的应用[J]. 汽车工程师, 2009(12):17-18.
- [2] 薛忠民. 中国玻璃钢/复合材料发展回顾与展望[J]. 玻璃钢/复合材料, 2015(1):5-12.
- [3] 2020年全球及中国复合材料行业市场现状及发展前景[J]. 热固性树脂, 2020(6):14.
- [4] 任之光. 玻璃钢拉挤成型工艺的研究以及在地板中的应用[J]. 科技风, 2018(9):187-188.
- [5] 何亚飞, 矫维成, 杨帆, 等. 树脂基复合材料成型工艺的发展[J]. 纤维复合材料, 2011(2):7-13.
- [6] 王伟伟, 杨忠, 刘鲜红, 等. 风电叶片玻纤拉挤板性能影响因素的研究[J]. 天津科技, 2022(7):84-87.
- [7] 魏波, 周金堂, 姚正军, 等. RTM及其派生工艺的发展现状与应用前景[J]. 广州化学, 2018(4):68-75.
- [8] 李钊. 碳纤维复合材料孔隙率超声检测与评价技术研究[D]. 杭州:浙江大学, 2014.
- [9] 杨春燕. 消除叶片用聚酯玻璃钢缺陷方法考察及阻聚剂优化实验[D]. 保定:河北大学, 2015.
- [10] 杨强强, 齐俊伟, 肖军. 先进拉挤成型制件缺陷成因及工艺改进[J]. 纤维复合材料, 2016(4):3-7.