

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2015.09.013

纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料加工工艺研究

邹积洋, 孙开颜, 李军, 任万杰

(中国兵器工业集团第五三研究所, 济南 250031)

摘要:采用玻纤增强乙烯-乙酸乙烯酯共聚物(EVAC)复合材料为基体材料,以氧化铝陶瓷为夹层材料,制备的纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料具有表面韧性好,夹层硬度高、脆性大的特点,在同时满足纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料加工精度、加工面质量和加工进度要求的条件下,各类角、孔的加工难度很大。针对此类复合材料的加工难点,从设备和刀具的选择、工艺参数的选定、工艺质量的判定等几个方面对复合材料的加工工艺进行了研究,确定了设备规格、刀具外径、切削进刀速度与复合材料厚度关系等关键参数,并从断面质量、尺寸精度、表面质量等方面给出了工艺质量的判定方法。

关键词:纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料;加工工艺;工装夹具;产品质量

中图分类号: TQ327.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2015)09-0066-04

Research on Processing Technology of Glass Fiber Reinforced Thermoplastic Resin Matrix Interlayer Composites

Zou Jiyang, Sun Kaiyan, Li Jun, Ren Wanjie

(CNGC Institute 53, Jinan 250031, China)

Abstract : Glass fiber reinforced thermoplastic resin matrix interlayer composite which uses ethylene-vinyl acetate copolymer(EVAC) thermoplastic resin reinforced glass fiber as matrix material, and the alumina ceramics as interlayer has the characteristics of high toughness in surface, high hardness and high brittleness in the interlayer. To meet the precision of machining process, the quality requirement of the product surface and the requirements of machining processing schedule at the same time, it is difficult to process all kinds of angles and holes. Aiming to solve the difficulties in the processing technology of the glass fiber reinforced thermoplastic resin matrix interlayer composites, the choice of machines, knife tools and the processing parameters, as well as the determination of process quality are researched. Meanwhile, the equipment specifications, blade diameter, the relationship between cutting speed and the thickness of the glass fiber reinforced thermoplastic resin matrix interlayer composite are all determined. The determination method of process quality is given by the section quality, size precision and the surface quality and other aspects.

Keywords : glass fiber reinforced thermoplastic resin matrix interlayer composite ; processing technology ; fixture ; product quality

纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料由三种以上的材料复合而成,夹层材料属于超硬材料,常用的夹层材料有氧化铝、氮化硅、碳化硅、碳化硼、硼化钛陶瓷等。纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料产品广泛应用于耐热、耐腐蚀、耐磨、密封、精密元件、抗弹材料等领域,随着其产品的应用越来越广泛,对该类产品的加工质量要求越来越高,产量越来越大^[1]。由于该类材料外软内硬,其加工方法和工艺与产品的性能和质量的关系一直是一个重要研究领域,加工工艺参数对纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料具有非常显著的作用,不同的加工工艺参数得到的产品的性能、质量有较大差别^[2-3]。随着纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料加工工艺研究的不

断深入,加工工艺技术越来越成熟,专门用于纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料加工的特种设备和刀具的研究开发不断取得突破^[4-6]。

笔者所在单位于上世纪70年代即开展了纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料的复合结构及成型工艺研究,由于应用领域所限,仅以氧化铝陶瓷为夹层的纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料为例,叙述其加工工艺,供相关专业人员参考。

1 热塑性树脂的选择

通常根据纤维增强热塑性树脂基夹层复合材

联系人: 邹积洋,高级工程师,主要从事高分子材料和复合材料加工工艺研究

收稿日期: 2015-06-11

料产品的技术要求和纤维材料等因素选择树脂,常用的热塑性树脂有尼龙 66(PA66)、聚丙烯(PP)、乙烯-乙酸乙烯酯共聚物(EVAC)、热塑性聚氨酯(PUR-T)弹性体、低密度聚乙烯(PE-LD)、聚氯乙烯(PVC)等,考虑到价格成本、成型工艺、粘接复合性能、市场规模、采购难易等因素,确定采用 EVAC 作为热塑性树脂。上述材料的性能如表 1 所示^[7]。

表 1 部分热塑性树脂的性能

材料名称	拉伸强度 / MPa	弯曲强度 / MPa	冲击强度 / (kJ·m ⁻²)	断裂伸长率 / %	低温脆性温度 / °C
PA66	80.0	127	40	3200	-60
PP	29~35	20~56	3.6~11.8	200~700	-140
EVAC	18	58	3.7	600	-80
PUR-T 弹性体	30~36	—	—	500~600	-60
PE-LD	13~17	—	25~41	500~650	-70
PVC	45~50	80~90	30~40	200~400	-40

2 纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料的结构及组成

限于夹层材料的特殊性,纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料通常采用三明治结构,夹层材料位于两层纤维增强热塑性树脂基复合材料之间,根据不同用途、性能指标要求,可采用单层或多层夹层的三明治复合结构,常用的纤维材料有碳纤维、玻璃纤维、玄武岩纤维和芳纶纤维及其织物;纤维及织物的选择可根据产品的技术要求、应用背景、成本控制、加工难易等综合考虑,常用纤维的技术指标如表 2 所示。

表 2 常用纤维的技术指标

材料名称	密度 / (g·m ⁻³)	拉伸强度 / MPa	拉伸弹性模量 / GPa	断裂伸长率 / %	最高工作温度 / °C
E 玻纤	2.55	3 100~3 800	72~75	4.7%	380℃
S 玻纤	2.54	4 000~4 600	83~86	5.3%	300℃
碳纤维	1.78	3 500~6 000	230~600	1.5~2.0%	500℃
玄武岩纤维	2.8	3 000~4 800	79~93	3.1%	650℃
芳纶纤维	1.45	2 900~3 400	70~140	2.8~3.6%	250℃

笔者采用 E 玻纤织物增强 EVAC 热塑性树脂基复合材料,夹层材料为氧化铝陶瓷。

3 纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料的加工难点

纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料由于其夹层材料的硬度高、脆性大,采用普通的机械加工手段根本无法完成,尤其是各类角、孔的加工难度很大,难点在于既要保证加工精度要求(公差 ± 0.1 mm),又要保证加工面的质量要求(加工面无裂纹、无分层)和加工进度要求^[8-10]。为了解决以上问题,常采用以下办法:

(1) 根据产品质量要求,依照产品图纸采用激光

切割的方式加工 2 mm 厚的不锈钢模板。加工纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料产品时按对应模板加工,做到产品尺寸与加工模板完全一致。

(2) 采用数控加工设备,选取基准后自动完成定位、加工过程。

4 设备和刀具的选择

纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料加工设备受加工精度等条件所限,一般选用底盘较重的数控设备,常用的有数控桥式切割机、三维数控钻床,如图 1 和图 2 所示。必要时可以采用非标设备,由设备厂家按照客户提出的产品加工要求,设计适合纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料钻孔及切割的设备及刀具等。

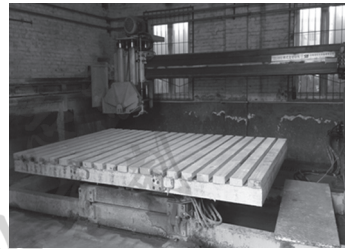


图 1 数控桥式切割机



图 2 三维数控钻床

数控桥式切割机的工作台面大小根据加工产品的尺寸确定,台面一般选用耐水硬木材料。具体参数如下:

台面尺寸: 2 000 mm × 3 000 mm ;

主电机功率: 4.8 kW ;

切割精度: ± 0.2 mm ;

重复切割精度: ± 0.1 mm ;

最大切割速度: 3 000 mm/min ;

台面旋转角度: 45°, 90°, 180°, 360° ;

台面翻转角度: 90°。

三维数控钻床的台面则根据产品尺寸选用磨平花岗石台面,刀具全部选用金刚石刀具,如图 3 所示。粗加工时,选用烧结金刚石刀具;精加工时,选用电镀金刚石刀具或 PCD 金刚石刀具。切割机锯片选用烧结金刚石锯片,如图 4 所示。加工以氧化

铝陶瓷为夹层的纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料的钻石工具由济南精钻机械工具有限公司采用特种配方专门研制。同时,经多次试验确定,锯片的外径为 350 ~ 400 mm 时,加工面的质量最好。



图3 金刚石钻具

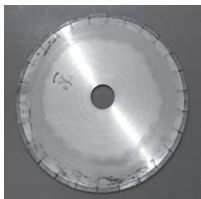


图4 金刚石锯片

5 工艺参数的选定

切割加工纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料的过程,实际是刀具对材料的磨削过程,加工面的质量与刀具的线速度和进刀速度有很大关系,确定最佳的进刀速度可以在加工效率和加工质量方面达到最佳效果^[11-12]。一般情况下,刀片的转速为 2 400 ~ 3 200 r/min,切割进刀速度与被加工材料的厚度成反比,但无论材料的厚度多薄,最大进刀量不能超过 2 000 mm/min,进刀量过大会造成抖动,严重影响加工质量甚至造成陶瓷夹层材料的损坏。另外,在加工过程中必须保证冷却水对刀具的充分冷却,一旦出现停水、断水等问题,应立即停止加工,否则会造成刀具因高温而损坏。切割进刀速度与纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料厚度的关系如表 3 所示。

表3 切割进刀速度与纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料厚度的关系

氧化铝陶瓷 厚度/mm	锯片转速/ (r·min ⁻¹)	锯片直径/ mm	切割进刀速度/ (mm·min ⁻¹)
≤ 5	2 400 ~ 3 000	300	1 500 ~ 1 600
6 ~ 10	2 400 ~ 3 000	300	1 200 ~ 1 300
11 ~ 15	2 800 ~ 3 000	350	1 000 ~ 1 100
16 ~ 20	3 000 ~ 3 200	400	900 ~ 1 000
21 ~ 25	3 000 ~ 3 200	400	800 ~ 900
26 ~ 30	3 200 ~ 3 500	400	700 ~ 800

钻孔时,考虑到钻头大小、钻头的抖动、钻屑的排出等因素,钻头转速一般控制在 600 ~ 1 000 r/min,转速过高会造成孔径偏大、夹层碎裂等质量问题;钻孔过程中一般采用间歇进刀工艺,保证加工碎屑及时从钻孔中排出和钻头的及时冷却。

需要注意的是:新更换的锯片和钻头使用前要用耐火砖开刃,否则切割速度和断面质量均难以保

证;切割、钻孔过程中应保证冷却水不间断,否则会因过热而造成刀具损坏。

6 工艺质量的判定

(1) 断面质量。

切割断面的质量是衡量产品质量的重要因素,一般情况下,切割锯片锋利、转速和切割速度适宜,则切割断面光滑、平整,夹层材料无裂纹或裂纹较少。如果断面裂纹较多或断面出现阶梯状,则说明切割质量较差,应根据现场情况及时查找原因并加以解决。出现问题的原因主要有以下几个方面:①锯片磨损严重、不够锋利,应及时修复或更换锯片;②进刀速度过快,锯片负载过大,将导致锯片转速下降,断面裂纹增加或出现阶梯状断面,应及时降低进刀速度。对圆孔而言,当钻头转速不足或钻头损伤时均会影响孔的断面质量,需及时进行调整。

(2) 尺寸精度。

对于纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料,由于加工设备的限制,其工件公差一般设定在 ± 0.5 mm,在加工过程中须严格控制。当公差超差为正值时可以进行修复,但耗时较长;当公差超差为负值时判定为不合格品,造成浪费。

(3) 表面质量。

纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料工件的表面质量受加工过程的影响较大,当表面质量有特殊要求时,需在工件加工过程中特别注意并采取相应的保护措施,防止工件表面损伤。常用的保护措施是在机床台面加垫一层软质保护材料(如海绵、EVAC 泡沫板、PE 纸等)或者在工件表面粘贴塑料保护膜。

7 结论

(1) 纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料的加工应根据夹层材料的性质选择适宜的设备来完成,必要时可以采用非标设备。

(2) 当纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料的夹层材料为超硬材料时,应选择专门结构、特种配方的钻石刀具。

(3) 对于加工纤维增强热塑性树脂基夹层复合材料的切割刀具的转速,一般选择较高的转速,以提高刀具刃面的线速度,有利于保证加工面的质量,线速度一般不低于 30 m/s;钻孔时钻头转速控制在 600 ~ 1 000 r/min。

(4) 对于加工热塑性树脂基夹层复合材料的金刚石刀具,在使用前要用耐火砖等材料进行开刃,以

利于后续的加工质量及加工效率。

参考文献

- [1] 邢丽英,蒋诗才,周正刚. 先进树脂基复合材料制造技术进展[J]. 复合材料学报,2013,30(2):1-9.
- Xing Liying, Jiang Shicai, Zhou Zhenggang. Progress of manufacturing technology development of advanced polymer matrix composites[J]. Acta Materiae Compositae Sinica,2013,30(2):1-9.
- [2] 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.
- He Yafei, Jiao Weicheng, Yang Fan, et al. The development of polymer composites forming process[J]. Fiber Composites, 2011(2):7-13.
- [3] 李涛,陈蔚,成理,等. 碳纤维复合材料低成本多用途发展展望[J]. 科技资讯,2009(22):68-69,71.
- Li Tao, Chen Wei, Cheng Li, et al. The development and expectation of carbon fiber composites in low cost and more use[J]. Science & Technology Information,2009(22):68-69,71.
- [4] Nakada M, Miyano Y, Cai Hongneng, et al. Prediction of long-term viscoelastic behavior of amorphous resin based on the time-temperature superposition principle[J]. Mechanics of Time-Dependent Materials,2011,15(3):309-316.
- [5] Sakai T, Somiya S. Analysis of creep behavior in thermoplastics based on visco-elastic theory[J]. Mechanics of Time-Dependent Materials,2011,15(3):293-308.
- [6] 张幸红,胡平,韩杰才,等. 超高温陶瓷复合材料的研究进展[J]. 科学通报,2015,60(3):257-266.
- Zhang Xinghong, Hu Ping, Han Jiecai, et al. Research progress on ultra-high temperature ceramic composites[J]. Chinese Science Bulletin,2015,60(3):257-266.
- [7] 童忠良. 化工产品手册——树脂与塑料[M].5版.北京:化学工业出版社,2008.
- Tong Zhongliang. Handbook of chemical products——Resins and plastics[M]. fifth ed. Beijing:Chemical Industry Press,2008.
- [8] 邓岐杏. 普通经济型数控机床在线检测技术的研究[J]. 机床与液压,2014,42(16):159-161.
- Deng Qixing. Research the online detection technology for general economic CNC lathe[J]. Machine Tool & Hydraulics,2014,42(16):159-161.
- [9] Ji Qiang, Haralick R M. Efficient facet edge detection and quantitative performance evaluation[J]. Pattern Recognition,2002,35(3):689-700.
- [10] Tansel I N, Arkan T T, Bao W Y, et al. Tool wear estimation in micro-machining.Part I:Tool usage-cutting force relationship[J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture,2000,40(4):599-608.
- [11] 于化东,张留新,许金凯,等. 微小车床刀具磨损检测方法[J]. 长春理工大学学报(自然科学版),2014,37(2):5-9.
- Yu Huadong, Zhang Liuxin, Xu Jinkai, et al. Detection method for tool wear of small lathe[J]. Journal of Changchun University of Science and Technology(Natural Science Edition),2014,37(2):5-9.
- [12] Johnson M J, Sridharan S. Evaluation of strain energy release rate in delaminated laminates under compressive [J]. AIAA Journal, 1999,37(8):954-963.

奔驰新款敞篷车将使用聚氨酯泡沫塑料

据外媒报道,新款奔驰 smart fortwo 在蜂窝夹层结构顶篷中使用了 Elastoflex E 聚氨酯泡沫塑料,其顶篷模块由蜂窝夹层和玻璃纤维衬垫组成。得益于新型材料的使用,新款奔驰 smart fortwo 的顶篷质量较普通顶篷减轻了 30% 左右,但依然保持较好的强度和抗弯刚度。(工程塑料网)

塑料替代铝等促使欧洲塑料市场继续增长

德国市场研究公司 Ceresana 的最新报告认为,随着塑料继续替代铝、镀锌铁和玻璃,欧洲塑料市场将保持增长。

该公司 CEO Oliver Kutsch 表示,欧洲塑料市场在 2014 年达到了 5300 t,在未来的 8 年里有望实现年增长 2.9%。到 2020 年,年销售额将达到 1040 亿欧元。

该研究包括了聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚氯乙烯(PVC)、工程塑料[如丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料(ABS)和氟塑料]和生物塑料,不包括纤维、涂料和胶粘剂。

德国是欧洲最大的塑料生产地,占 24% 的份额。相继排名分别是比利时、法国、俄罗斯、荷兰和西班牙。

2014 年最重要的塑料应用市场包括柔性包装、硬包装和建筑,占欧洲市场总需求的 70%。

交通和电气电子尽管比例不大,但增速最快。

低密度聚乙烯(PE-LD)和线型低密度聚乙烯(PE-LLD)

占柔性包装市场的一半以上,其次是 PP 和高密度聚乙烯(PE-HD)。硬质包装的主要材料是聚对苯二甲酸乙二酯(PET),以及 PP 和 PE-HD。

2014 年,欧洲建筑行业使用了 550 万 t 的 PVC,其次是 PE-HD、聚苯乙烯(PS)和发泡 PS。(慧聪塑料网)

美国 MHG 成为全球最大 PHA 生物塑料生产企业

Meredian Holdings Group Inc. 公司(MHG)已在位于美国佐治亚州 Bainbridge 的工厂启动首个生产聚羟基脂肪酸酯(PHA)生物塑料的商用规模发酵器。

该公司近日称,此次投产将使该公司成为全世界最大的 PHA 生产商。这种材料用大豆、棉籽或玉米提炼的油制成。

公司 CEO 在新闻稿中补充说:“每一个人,无论是在内陆还是沿海,都在一定程度上受到塑料垃圾的影响。我们看到的、接触到的塑料将影响好几代人,对环境带来不利影响。”

“在 MHG,我们相信 PHA 是让地球更健康的解决之道,而启动这个新的发酵器将让我们扩大这一解决方案的生产规模,对抗塑料垃圾问题。”

MHG 会同跨国食品饮料成分供应商 Tate&Lyleplc 公司一起测试了 Nodax 牌 PHA 的可扩展性。测试的成功带来了 PHA 的全面商业化。(中国聚合物网)