

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2019.04.014

碳纤维增强 EP 复合材料汽车引擎盖切割加工工艺

孙开颜,孙芳兵,张璐,段力锋,高祥政,姚伟,王书平

(中国兵器工业集团第53研究所,济南 250031)

摘要: 主要对碳纤维增强环氧树脂 (EP) 汽车引擎盖的切割加工工艺进行了探究。以超高压水切割机加工汽车引擎盖,研究了悬空高度、切缝宽度对切割质量的影响,同时分析了加工尺寸精度、表面质量控制对产品质量的影响。结果表明,随悬空高度从 5 mm 增大到 40 mm,切缝宽度从 0.9 mm 增大到 4.5 mm,切缝处两侧母材发白,受损范围从 0 mm 增大到 3 mm。在加工过程中,碳纤维增强 EP 复合材料的引擎盖厚度较薄容易变形,在机床台面加垫一层软质保护材料可提高成品的表面质量,严格控制加工过程提高了引擎盖的质量,达到用户的要求。

关键词: 复合材料;碳纤维;环氧树脂;引擎盖;超高压水切割机

中图分类号: TQ320.63 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2019)04-0070-05

Cutting Processing Technology of Carbon Fiber Reinforced Epoxy Resin Composite Automotive Engine Cove

Sun Kaiyan, Sun Fangbing, Zhang Lu, Duan Lifeng, Gao Xiangzheng, Yao Wei, Wang Shuping

(Institute 53, China North Industries Group Corporation Institute 53, Jinan 250031, China)

Abstract : The cutting process technology of carbon fiber reinforced epoxy resin composite automotive engine cover was explored. The effect of suspension height, width of the cutting seam on cutting quality of carbon fiber engine cover machined by ultra-high pressure water cutting machine was studied, and the effects of dimension accuracy and surface quality control on product quality were analyzed. The results show that with the increase of the suspension height from 5 mm to 40 mm, the width of the cutting seam from 0.9 mm to 4.5 mm, the base material on both sides of the cutting seam becomes white, and the damage range increases from 0 mm to 3 mm. Carbon fiber reinforced epoxy resin composite engine cover is thin and easy to deform in the process of processing. Adding a layer of soft protective material on the machine tool table can improve the surface quality of finished products, and strictly controlling the processing process can improve the engine cover quality, achieves use's requirements.

Keywords : composite ; carbon fibers ; epoxy resin ; engine cover ; ultra high pressure water cutting machine

随着汽车工业的发展,汽车轻量化已成为汽车制造工业技术发展的一个重要趋势。节约能源成为目前各大汽车制造商进行新产品研究、设计和开发的首要问题。因此,汽车的燃油经济性成为汽车销售市场对汽车产品最直接的检验标准。

汽车工业技术围绕环保、节能、安全、舒适和低成本五个方面的发展,基本都与汽车材料紧密相关^[1]。在汽车材料的多样化、多元化中,最重要的是轻量化要求,目前汽车轻量化材料又以树脂基复合材料为最新研究方向^[2]。复合材料在汽车减重方面的

应用会带来很好的经济效益。

汽车减重领域,国外已有复合材料构件的模块化生产,即以 一个零件 (或部件) 为中心将周边的零件组合在一起经一次成型加工而成,这样可以减少制造工艺和模具的数量,进而降低整车的生产成本,使汽车在市场上有强大的竞争力^[3]。福特公司的研究表明,复合材料可以将零部件的数量减少到 80%,加工费用相对钢材降低 60%,粘结费用相对焊接费用减少 25%~40%。

复合材料是汽车工业保持竞争优势的潜在源

通讯作者: 孙开颜,大学专科,高级技师,主要从事塑料机械加工工作 E-mail : s85878233@163.com

收稿日期: 2019-01-12

引用格式: 孙开颜,孙芳兵,张璐,等. 碳纤维增强 EP 复合材料汽车引擎盖切割加工工艺 [J]. 工程塑料应用, 2019, 47(4) : 70-74.

Sun Kaiyan, Sun Fangbing, Zhang Lu, et al. Cutting processing technology of carbon fiber reinforced epoxy resin composite automotive engine cove[J]. Engineering Plastics Application, 2019, 47(4) : 70-74.

泉:福特 F250 / 340“皮卡”及 Explorer 和 Mountaineer SUVs 的脚踏板是采用 40% 长玻纤增强聚丙烯注塑成型制造的,取代用 43 个零件组装的部件。福特金牛座和水星黑貂轿车的前围下散热器托架,原钢制的有 22 个零件,而采用纤维增强不饱和聚酯树脂片状模塑料 (SMC) 材料仅需 2 个零件,质量大幅减轻,成本降低 14%;BMW 系列的汽车变速箱组件采用 35% 玻纤增强尼龙 (PA)66 制成,它集多部件于一体,节约了发动机体内的宝贵空间^[4];德国梅赛德斯—奔驰汽车公司在 Atego, Vario 和 Unimog 三种型号轻型载货汽车上,使用 5% 玻璃纤维增强尼龙复合材料代替传统的铝金属材料制造摇臂盖,实现油分离器和摇臂盖的一体化设计,显著降低了发动机工作时的噪音。

国外已经有越来越多用碳纤维、天然纤维等制得的新兴复合材料,该复合材料正在不断地应用到汽车领域。在我国,手糊成型工艺依然在生产汽车零部件领域占主导地位,SMC、团状模塑料 (BMC)、树脂传递模塑 (RTM)、玻璃纤维毡 (GMT) 等先进材料和工艺的应用仍然十分少^[5]。

作为汽车消费大国的我国,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^[6]。复合材料在汽车减重方面的应用也越来越受到汽车生产厂家的重视。

笔者研究了碳纤维增强环氧树脂 (EP) 复合材料家用汽车引擎盖的切割加工工艺,得到了最佳加工工艺,以此工艺加工出合格的产品。

1 实验部分

1.1 原材料

家用汽车引擎盖采用超轻质碳纤维增强耐高温树脂基复合材料。该材料是在军用先进结构 / 耐烧蚀复合材料的基础上,采用连续碳纤维织物、立体蜂窝夹芯材料作为增强材料,以耐高温低黏度 EP 作为树脂基体,通过树脂的快速固化技术,实现 EP 的快速固化 (固化时间 5 ~ 10 min),满足了汽车复合材料构件大批量生产的需求,并突破了碳纤维增强 EP 的可回收关键技术。该材料的可回收技术是国内首次提出并得以突破,可以解决将来汽车产业复合材料大量推广应用的环境污染问题^[7]。此复合材料达到的性能指标如下:

(1) 主承力件——碳纤维增强 EP 复合材料。

表 1 为碳纤维增强 EP 复合材料达到的性能指

标,固化时间 10 min 以内。

表 1 碳纤维增强 EP 复合材料达到的性能指标

项目	达到的技术指标	测试标准
密度 / (g · cm ⁻³)	1.6	GB / T 1463-2005
拉伸强度 / GPa	1.63	GB / T 1447-2005
拉伸弹性模量 / GPa	116.8	
弯曲强度 / GPa	1.14	GB / T 1449-2005
弯曲弹性模量 / GPa	99.7	
压缩强度 / MPa	662	GB / T 3856-2005
极限氧指数 / %	33	GB / T 2406-1995
磨损 / mg	2	GB / T 3960-1983
表面电阻率 / Ω	(0.2 ~ 5.8) × 10 ⁷	GB / T 1410-2006
耐盐雾 500 h 后拉伸强度 / MPa	1.51	GJB 150.10A-2009
耐霉菌 960 h 后拉伸强度 / MPa	1.47	GJB 150.11A-2009
耐受低温润滑脂 12 个月后拉伸强度 / MPa	1.48	
耐受液压油 12 个月后拉伸强度 / MPa	1.45	

(2) 次承力件——SMC, BMC 复合材料的性能。

拉伸强度 ≥ (50 ~ 300) MPa ;

拉伸弹性模量 ≥ (13 ~ 30) GPa ;

弯曲强度 ≥ (125 ~ 500) MPa ;

弯曲弹性模量 ≥ (10 ~ 40) GPa ;

极限氧指数 (LOI) ≥ 28% ;

固化时间 5 min 以内。

采用以上材料生产的家用轿车引擎盖结构图如图 1 ~ 图 3 所示。

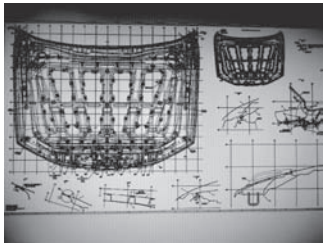


图 1 碳纤维增强 EP 复合材料引擎盖产品图纸

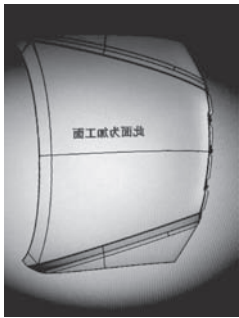


图 2 碳纤维增强 EP 复合材料引擎盖的面板 (三维图)

1.2 仪器与设备

热压罐: 1.65 MPa, 泰兴市现代压力容器制造有限公司;

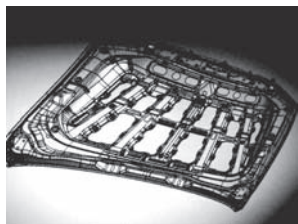


图3 碳纤维增强 EP 复合材料引擎盖的内衬板(三维图)

水切割中心: QWJ2040—FB 型, 南京大地水刀有限公司;

高压泵: 30 kW / 40HP H20 JET 型, 南京大地水刀有限公司;

摇臂钻床: Z3050 型, 滕州市成海机床有限公司;

数控三坐标测量仪: 3DFAMIL Y—CMM 型, 东莞市瑞铭精密机械有限公司。

1.3 加工设计

碳纤维增强 EP 复合材料的引擎盖由于其本体的高硬度、高韧性, 采用普通的机械加工手段较难完成, 尤其是各类异形角、孔的加工难度很大, 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^[8-9]。为解决以上问题, 采用以下方法:

(1) 按照产品图纸要求, 采用数控超高压水切割机, 加工出与产品对应的异形角和孔、钻孔模板等辅助设备;

(2) 将加工模板对应产品毛坯, 划出各个位置线, 加工出穿水孔;

(3) 将产品找正、固定在数控加工设备上, 确定基准完成加工。

1.4 加工方案确定

(1) 工艺参数的选定。

复合材料引擎盖切割加工的过程, 实际就是高压水射流带动石榴砂对材料的切削过程, 加工面的质量与切割压力、切割速度、单位砂量有直接关系, 确定最佳的切割压力、切割速度、单位砂量可以在加工效率和加工质量方面达到最佳效果^[10-11]。根据经验值及现场试验确定最佳参数为, 切割压力为 380~420 MPa、切割速度为 500~1000 mm/min, 单位砂流量为 220 g/min, 砂刀管直径 0.76 mm, 宝石喷嘴内径 0.25 mm。

根据设定的参数形成切割图, 图 4 为碳纤维增强 EP 复合材料引擎盖切割图。图 5 为碳纤维增强 PE 复合材料引擎盖切割路线图。

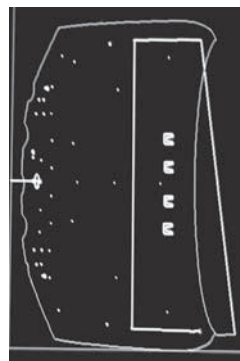


图4 碳纤维增强 EP 复合材料引擎盖切割图



图5 碳纤维增强 EP 复合材料引擎盖切割路线图

(2) 加工方法选定。

根据产品质量要求, 依照产品图纸采用数控超高压水切割机切割的方法, 加工出与产品对应的所有异形角和孔的加工、钻孔模板;

将加工、钻孔模板定位、对应位置、固定在产品毛坯上, 划出各个位置线与加工、钻孔模板位置对应, 加工出穿水孔, 注意做到穿水孔与产品要求及加工模板完全一致^[12];

采用数控水切割机, 固定、找正产品, 确定基准后自动完成定位、加工过程。

1.5 加工方案的实施

使用 5 mm 铝合金板进行测试, 测试压力为 385.8 MPa, 砂流量为 220 g/min。

方案一: 悬空 5 mm 切割, 切缝宽度 0.9 mm, 切割速度为 750 mm/min;

方案二: 悬空 10 mm 切割, 切缝宽度 1 mm, 切割速度为 750 mm/min;

方案三: 悬空 15 mm 切割, 切缝稍宽, 切缝宽度 1.1 mm, 下部宽度约 1.2 mm, 切割速度为 750 mm/min;

方案四: 悬空 25 mm 切割, 切缝宽度较方案三超出近 1 倍, 下部宽度约 2.1 mm, 切割速度为 700 mm/min;

方案五: 悬空 40 mm 切割, 且缝宽度较方案四

超出 1 倍以上,下部宽度约 4.5 mm 左右,切割速度为 500 mm/min。

2 结果与讨论

2.1 切割面质量

(1) 试切效果对比。

采用方案一,悬空 5 mm 切割,切缝上表面无明显喇叭口,切割表面平整无切痕,切割表面优;

采用方案二,悬空 10 mm 切割,切缝上表面无明显喇叭口,切割表面平整无切痕,切割表面优;

采用方案三,悬空 15 mm 切割,切缝稍宽,切缝上表面出现明显的喇叭口,切割表面平整有微小切痕,切割表面良好;

采用方案四,悬空 25 mm 切割,切缝宽度较宽,下部宽度约 3.1 mm,切缝上表面出现非常明显的喇叭口,切割表面切痕明显,两侧母材发白,受损范围 1~2 mm;

采用方案五,悬空 40 mm 切割,切缝宽度较宽,且切缝表面出现明显的喇叭口,两侧母材发白,受损范围 2~3 mm,切割表面出现明显水痕,切缝下表面呈锯齿状。

(2) 方案优选。

由以上分析可得出,采用方案一切割与方案二切割都可以得到较好的效果,但是由于产品表面形状复杂,使用方案一、方案二切割容易发生刀头与产品碰撞现象,对操作要求很高;采用方案三切割,切割速度与测试方案一、方案二相同,切割表面良好,可以得到质量比较好的产品;采用方案四切割速度降低为 700 mm/min,切割表面较差;采用方案五切割速度降低 33%,切割表面质量差;由此可知,采用方案三即悬空 15 mm 对产品进行切割加工,切割效率较高,切割表面良好,可以得到比较好的效果;因此选定采用方案三对产品进行加工。图 6 为碳纤维增强 EP 复合材料引擎盖的切割过程。

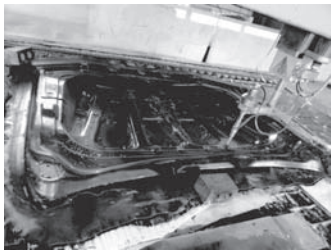


图 6 碳纤维增强 EP 复合材料引擎盖的切割过程

2.2 尺寸精度

碳纤维增强 EP 复合材料引擎盖采用的是钣金

引擎盖图纸,所以,尺寸精度套用了钣金引擎盖图纸公差,其工件公差一般设定在 ± 1 mm,超高压水切割机属于数控加工设备,其加工误差可以控制在 ± 0.5 mm 以内,因此加工精度完全符合产品要求^[13-14];但是,碳纤维增强 EP 复合材料引擎盖的厚度较薄,很容易在加工过程中变形,所以必须严格控制加工过程,杜绝产品在加工过程中产生变形,从而影响产品质量。图 7 为碳纤维增强 EP 复合材料引擎盖的毛坯图纸。

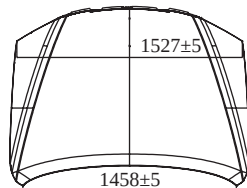


图 7 碳纤维增强 EP 复合材料引擎盖毛坯图纸

2.3 确保表面质量达标的措施

碳纤维增强 EP 复合材料引擎盖产品的表面质量受加工过程的影响较大,需在工件加工过程中特别注意并采取相应的保护措施,防止工件表面受损。采用产品表面粘贴塑料保护膜,产品出模后及时在产品表面粘贴一层聚酯薄膜,防止在运输、加工过程中产品受到划伤、碰伤,确保产品表面光泽无划痕、碰痕;由于超高压水切割机工作台面为金属制网状栅板,产品在工作台面上移动时很容易造成二次伤害,因此加工前必须要在机床台面加垫一层软质保护材料如海绵、EVA 泡沫板、PE 纸等^[15],经过试验和综合成本测算 PE 纸质优、价廉,为良好的衬垫保护材质,因此选用 PE 纸作为机床台面保护材料。

图 8 为碳纤维增强 EP 复合材料引擎盖的成品(背面)。图 9 为碳纤维增强 EP 复合材料引擎盖的成品(正面)。



图 8 碳纤维增强 EP 复合材料引擎盖成品(背面)

3 结论

(1) 碳纤维增强 EP 复合材料引擎盖产品的切割加工,使用超高压水切割机,切割压力选择在 380~420 MPa、切割速度为 500~1000 mm/min,单



图9 碳纤维增强 EP 复合材料引擎盖成品(正面)

位砂流量为 200 g/min、砂刀管直径为 0.76 mm, 宝石喷嘴内径为 0.25 mm ;

(2) 采用悬空高度 15 mm 切割, 切割速度为 750 mm/min。

(3) 碳纤维增强 EP 复合材料引擎盖的厚度较薄, 容易在加工过程中变形, 必须严格控制加工过程。

(4) 机床台面加垫一层 PE 纸作为机床台面保护材料, 以使碳纤维增强 EP 复合材料引擎盖产品的表面质量达标。采用此工艺制得的引擎盖达到用户的要求。

参考文献

- [1] 陈祥宝. 先进树脂基复合材料的发展[J]. 航空制造工程与维修, 2001(1):3-7.
Chen Xiangbao. Development of advanced resin matrix composites[J]. Aviation Manufacturing Engineering and Maintenance, 2001(1):3-7.
- [2] 范五一, 黄锐, 蔡碧华, 等. 炭黑填充型导电塑料加工工艺与性能[J]. 塑料科技, 1994(4):1-3.
Fan Wuyi, Huang Rui, Cai Bihua, et al. Processing technology and properties of carbon black filled conductive plastics[J]. Plastics Science and Technology, 1994(4):1-3.
- [3] 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(3):257-266.
Zhang Xinghong, Hu Ping, Han Jiecai, et al. Research progress of ultra-high temperature ceramic composites[J]. Science Bulletin, 2015(3):257-266.
- [4] 陈伯华, 张菊珍, 陈永山, 等. 结构陶瓷复合材料的现状和发展趋势[J]. 化学进展, 1994(1):41-47.
Chen Bohua, Zhang Juzhen, Chen Yongshan, et al. Present situation and development trend of structural ceramic composites[J]. Chemical Progress, 1994(1):41-47.
- [5] 张小燕, 魏引焕, 孙凯. 快速走丝电火花线切割加工典型陶瓷复合材料的工艺分析[J]. 工艺与检测, 2009(10):102-105.
Zhang Xiaoyan, Wei Yinhuai, Sun Kai. Technological analysis of WEDM processing typical ceramic composites[J]. Technology and Testing, 2009(10):102-105.
- [6] 于佳, 张博明, 王殿福, 等. 复合材料加工工艺模糊推理方法[J]. 化学进展, 2003(6):52-56.
Yu Jia, Zhang Boming, Wang Dianfu, et al. Fuzzy reasoning method for composite processing technology[J]. Chemical Progress, 2003(6):52-56.
- [7] 王玉琳. 经济型数控车床的闭环控制[J]. 机械制造, 2004(12):22-29.
Wang Yulin. Closed-loop control of economical CNC lathe[J]. Machinery Manufacturing, 2004(12):22-29.
- [8] 刘培基, 等. 机械工程测试技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2003:106-113.
Liu Peiji, et al. Mechanical engineering testing technology[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2003:106-113.
- [9] 刘子林. 电机与电气控制[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003:40-50.
Liu Zilin. Motor and electrical control[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2003:40-50.
- [10] 郑学坚. 微型计算机原理及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.
Zheng Xuejian. Principle and application of microcomputer[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1995.
- [11] 杨鸿鹏, 郭建军, 林志航. 质量数据采集分析器[J]. 机电工程, 1997(2):8-9.
Yang Hongpeng, Guo Jianjun, Lin Zhihang. Quality data acquisition and analysis unit[J]. Mechanical and Electrical Engineering, 1997(2):8-9.
- [12] 殷铨, 王明哲. 模具钳工技术与实训[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
Yin Cheng, Wang Mingzhe. Die fitting technology and training[M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2012.
- [13] 晶宸工作室. 最流行图像格式使用参考手册[M]. 北京: 电子工业出版社, 1998.
Jingchen Studio. Reference manual for the use of the most popular image format[M]. Beijing: Electronic Industry Press, 1998.
- [14] 张成才, 孙喜梅, 朱陶业, 等. Auto CAD 的 DXF 文件格式及其转换接口研究[J]. 微型电脑应用, 2001, 17(8):54-55.
Zhang Chengcai, Sun Ximei, Zhu Taoye, et al. DXF file format and its conversion interface for auto CAD[J]. Microcomputer Applications, 2001, 17(8):54-55.
- [15] 龚清洪, 常智勇, 莫荣, 等. 基于 DXF 文件的图元优化排序[J]. 计算机应用, 2006(3):169-171.
Gong Qinghong, Chang Zhiyong, Mo Rong, et al. Optimized primitive sorting based on DXF files[J]. Computer Applications, 2006(3):169-171.