

超大型一体化电池托盘的机加工技术研发及应用

梁汉广¹ 伍宝坚¹ 何绍勇¹ 万里¹ 黄志垣² 高亚平¹ 钟宇毅²

(1. 广东鸿图科技股份有限公司, 肇庆 526108; 2. 广东鸿图汽车零部件有限公司, 广州 510700)

摘要 以电池托盘为例, 分析一体化压铸电池托盘加工难点, 如尺寸大对机床行程要求高、加工角度多需多轴设备、壁薄致加工易振效率低等。制定工艺方案时, 工序数量优先选五轴龙门三道工序, 其在多方面更优; 加工设备选双五轴龙门加工中心; 空心方管用于构建框架减重等。方案实施后, 加工质量显著提升, 铣面无振纹, 参数翻倍, 铝屑和切削液排出顺畅, 生产线达设计目标, 过程能力指数满足要求。

关键词 一体化压铸; 电池托盘; 机加工

中图分类号 TG249.2

文献标志码 A

DOI: 10.15980/j.tzzz.Z20240029

Application of Machining Technology for Ultra-large Integrated Battery Trays

LIANG Hanguang¹, WU Baojian¹, HE Shaoyong¹, WAN Li¹, HUANG Zhiyuan², GAO Yaping¹, ZHONG Yuyi²

(1. Guangdong Hongtu Technology Co., Ltd., Zhaoqing 526108; 2. Guangdong Hongtu Automotive Parts Co., Ltd., Guangzhou 510700)

Abstract: Taking battery tray as object, the processing difficulties were analyzed, such as high requirements for machine tool travel due to large dimensions, multi axis equipment required for multiple processing angles, and low efficiency of vibration caused by thin walls during processing. During the process design, five-axis gantry with three processes was preferred in number of processes, which is superior in multiple aspects. Dual five-axis gantry machining center was selected for processing equipment. Hollow square tubes were utilized to construct framework for weight reduction. After implementation, the processing quality is significantly improved without vibration patterns, and the parameters are doubled. The discharge of aluminum chips and cutting fluid is smoothly exhausted, and the design goals are achieved for production line, of which the process capability index meets the requirements.

Key Words: Integrated Die-casting, Battery Tray, Machining

电池壳体是新能源汽车动力电池的承载件, 通常安装于车体下部, 主要用于保护锂电池在受到外界碰撞、挤压时不会损坏。电池盒是电池包的“骨架”, 是重要的安全件, 主要由电池包上盖、电池托盘、各种金属支架、端板和螺栓组成, 可以看作是电池包的“骨架”, 起到支撑、抗机械冲击和机械振动以及环境保护(防水防尘)的作用。其中电池托盘(即电池盒下箱体)承担着整个电池组以及自身的质量, 并且抵挡外部的冲击, 保护电池模组及电芯, 是电动汽车重要的安全结构件。目前主流的生产方式是压铸+铝型材拼焊, 但由于大型压铸机合模力的提升, 一体化压铸的电池托盘能满足电池托盘尺寸及功能性的要求, 优势明显, 越来越多的整车厂正往一体化压铸电池托盘的方向发展^[1-4]。一

体化压铸的电池托盘虽然能够在一定程度上实现大致的形状和结构, 但由于压铸过程中可能存在的收缩、变形等因素, 很难完全达到电池托盘所需的高精度尺寸要求。

通过机加工, 可以对压铸后的电池托盘进行精确的切削、铣削、加工螺纹等操作, 确保托盘的各个尺寸如长度、宽度、高度、安装孔的位置和尺寸等都能严格符合设计标准^[5]。这对于电池托盘在电动汽车中的准确安装和与其他部件的良好配合至关重要。基于此, 本研究针对超大型一体化电池托盘的加工工艺进行研究及实际的应用概述, 旨在为相关产品应用提供参考。

1 一体化压铸电池托盘的加工难点

我司为某整车厂开发的大型电池托盘见图1, 该产

收稿日期: 2024-09-14; 修订日期: 2024-11-13

基金项目: 国家工信部高质量发展资助项目(2340STCZB1927)

第一作者简介: 梁汉广, 男, 1986年出生, 工程师, E-mail: lhg@ght-china.com

通信作者: 万里, 男, 1970年出生, 教授级高工, E-mail: wanli@ght-china.com

引用格式: 梁汉广, 伍宝坚, 何绍勇, 等. 超大型一体化电池托盘的机加工技术研发及应用[J]. 特种铸造及有色合金, 2025, 45(5): 647-650.

LIANG H G, WU B J, HE S Y, et al. Application of machining technology for ultra-large integrated battery trays[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2025, 45(5): 647-650.

品轮廓尺寸为2 000 mm×1 600 mm×123 mm,最薄壁厚为3 mm,质量为52.4 kg,总加工特征为453个,其中孔加工数量为86个,螺纹孔加工137个,铣面230处,总加工角度有6个,最高加工精度为IT6级。该电池托盘的机加工难点主要体现为:①产品投影面积大,加工特征均匀分布,且有对称性,对机床的加工行程要求高;②根据加工特征的工艺分析,产品的加工需求角度至少在6个,加工设备的加工轴数需求多;③铣面多、螺纹孔也多,产品壁薄,加工容易出现振动导致加工效率偏低。基于以上分析,目标加工设备需要满足大行程、多角度、高刚性、加工效率高、加工精度高等较高技术要求^[6-10],加工夹具需要提升加工刚性。

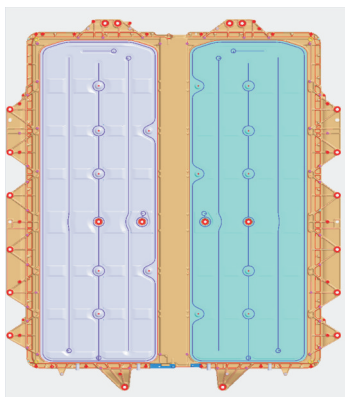


图1 一体化电池托盘产品图

Fig.1 Product of integrated battery tray

2 机加工工艺方案的制定

2.1 工序数量的制定

一体化电池托盘6个面都需要加工,而且部分存在多加工角度,电池模组面安装电池,在背面都会设计冷却水道,目前常见的电池托盘都是通过搅拌摩擦焊工艺把水冷板焊接到电池托盘的本体上,从而形成电池的水冷通道,但是搅拌摩擦焊工艺会产生变形,产品的关键尺寸都需要在搅拌摩擦焊工序后再加工,且搅拌摩擦焊焊接面也需要机加工后才能焊接,这样会导致产品的工序多,同时产品大且重,多次搬运和装夹容易碰伤产品、加工精度难保证。为应对多角度加工的要求,尽可能减少装夹次数,提高尺寸精度,针对电池托盘压铸件的特点,制定了两种加工工艺路线。

方案1,采用五轴龙门设备用3道工序完成所有特征的加工,装夹次数少、尺寸稳定性高、产品划碰伤风险低,分3台设备加工完成,因故障及调机问题对整线产能影响低,产线平衡率高,过程转型切换简单快捷,时间短。该方案投入自动化生产更方便,但是设备单价较贵。

方案2,采用三轴龙门设备分为多个工序完成特征

加工,加工可达性模拟难度低且简单,对加工设备要求低,设备成本相对低且制造周期短,但是分拆多个工序加工,装夹次数多,积累加工误差大,导致尺寸稳定性低、产品划碰伤风险高。多台设备串联加工,因故障及调机问题对整线产能影响大,过程转型切换复杂、时间长,后期投入自动化线的难度也较高。

基于以上分析,方案1对电池托盘压铸件的生产线的加工在效率、质量、成本方面更具优势,且更利于现场布局管理和过程质量的管控,因此优先采用方案1。

2.2 加工设备选型

目前常规的加工中心又分为立式加工中心、卧式加工中心和龙门加工中心。由于一体化电池托盘的产品尺寸大,目前市场上的立式加工中心和卧式加工中心都无法满足要求,只有龙门加工中心的加工行程才能满足。并且一体化电池托盘形状非常复杂,精度要求极高,需要进行多面、多角度的复杂加工,五轴龙门加工中心则是较为理想的选择,尽管其设备成本高、占地面积大,但能保证加工的质量和效率,满足高端制造的需求。根据产品的机加工工艺分析及要求,目前此方案有2种形式可供选择:双梁单主轴式^[11-12]和单梁双主轴式,其区别在于主轴加工头的数量,具体结构示意图见图2。

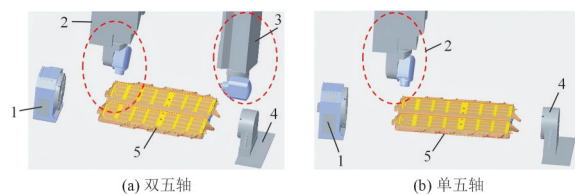


图2 龙门五轴加工中心的形式

Fig.2 Types of five-axis machining center

1. 转台头架 2. 五轴摆头主轴1 3. 五轴摆头主轴2 4. 转台尾座
5. 零件

相对于单五轴加工中心,双五轴具有以下优点:①有两个完全独立的A/C摆头,能同时加工产品左右不同位置的加工特征,铣削作业时间可缩短50%;②回刀库换刀所需的距离短(约3/4),主轴非加工移动时间大幅缩短;③加工时间相比单五轴可以平均缩短50%^[13-14](单五轴OP20实际加工节拍为1 100 s,双五轴模拟加工节拍为543 s),见图3;④双五轴加工中心每台占地约51 m²,单五轴加工中心则为45 m²。根据客户的年需求5.5万件的产能需求测算:单五轴的设备,整线需14台设备,总占地面积为630 m²;双五轴的设备,整线只需6台设备,总占地面积仅需306 m²。

综上,采用双五轴技术方案,该项目的产线所需求的机台数量更少,更利于现场布局、管理和过程质量的管控。因此,建议优先选用双五轴技术方案。



图3 SINUMERIK Operate软件模拟双五轴加工节拍图

Fig.3 Cycle diagram of dual five-axis machining simulated by SINUMERIK Operate software

2.3 机加工夹具设计

2.3.1 夹具整体框架结构方式选定

一体化压铸电池托盘铸件尺寸很大,达到了2 000 mm×1 600 mm×123 mm,相较于传统铸件显著的增加。若按照传统夹具设计模式,夹具质量将高达3 t。然而,CNC设备的第六轴-转台的承重能力仅有1.2 t。为确保夹具既能满足刚性要求,又能适应转台的承重限制,采用空心方管进行焊接来构建夹具的整体框架结构^[15]。通过这种设计方式,在保证夹具刚性的前提下,成功地将整体质量减少了70%,使其降至1 t以下,满足了转台的承重范围,其结构见图4。可以看到,传统夹具与一体化压铸电池托盘夹具在结构上存在差异。

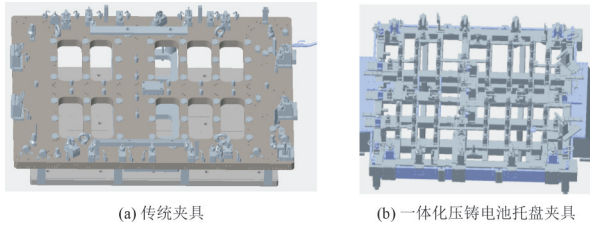


图4 传统夹具及一体化压铸电池托盘夹具

Fig.4 Traditional fixture and integrated die-casting battery tray fixture

2.3.2 夹具定位选定

一体化压铸电池托盘因其巨大的外形尺寸,相较于传统压铸件,其变形量也相对较大。为此,借助压铸模拟分析软件进行了研究,结果见图5。结果表明,在压铸过程中,铸件的中部及前端变形量较小,即使发生变形,也是呈现从中间往轮毂两端方向拉长的趋势。基于六点定位原则,选择在中间位置采用两个孔进行定位,见图6。这种定位方式的优势在于,即便铸件在后续过程中向两边发生变形,也能够有效地保证铸件两边尺寸的对称性,从而确保加工精度。

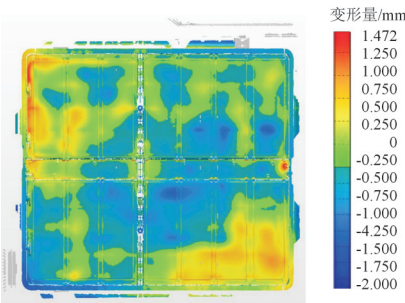


图5 产品变形分析图

Fig.5 Analysis diagram of product deformation

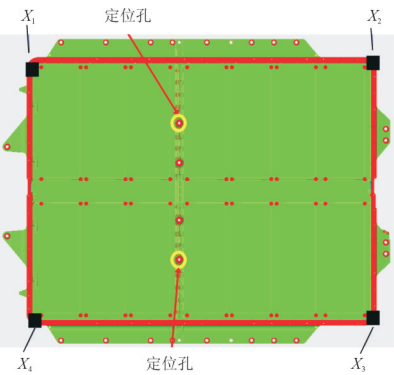


图6 一体化压铸电池托盘的机加工定位示意图

Fig.6 Schematic diagram of machining positioning for integrated die-casting battery tray

在Z方向上,采用了 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 的4点定位,以保证产品在装夹过程中的平稳性。通过这4个点的协同作用,能够使产品在Z方向上得到稳定的支撑和定位,避免在加工过程中因Z方向的不稳定而产生误差,进一步提高了加工的精度和可靠性。

2.3.3 夹具压紧位置选定

主压紧位置选择在 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 定位面对应的4个面,能够直接对定位点进行有效的压紧,确保产品在加工过程中的位置稳定性。此外,其他辅助压紧位置基于有限元分析软件对不同加工特征的加工刚性模拟结果来确定。在常规夹具的使用中,发现仅对薄壁电池托盘外边缘进行定位,会导致薄壁电池中部悬空而未得到定位。图7为夹具仅压紧产品四周,中间位置未加压紧的有限元分析图。可以看出,一阶模态为176.54 Hz,一阶振形显示中间横梁位置位移较大。在后续的切削加工过程中,由于这种悬空状态,薄壁件在加工时会因抖动而在其表面产生大量的振纹,严重影响了产品的加工质量,这和有限元分析结果一致。

针对一体化压铸电池托盘产品,在其中间位置设计了众多手指夹紧机构。增加这些机构后重新做有限元分析,见图8,一阶模态为579.76 Hz,一阶模态频率较图6提升了228.4%。现场加工产品夹紧机构的作用在于保证加工过程中的刚性,有效地减少了薄壁件的

抖动,从而避免了振纹的产生,提高了产品的表面质量和加工精度。压紧位置分布见图9。

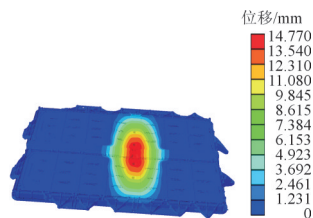


图7 只压紧四周,中间未加夹紧的夹具有限元分析图

Fig.7 Finite element analysis diagram of fixture without clamping in the middle

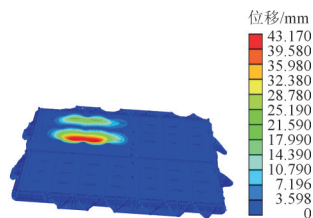


图8 中间增加夹紧后的有限元分析图

Fig.8 Finite element analysis diagram of fixture with clamping in the middle

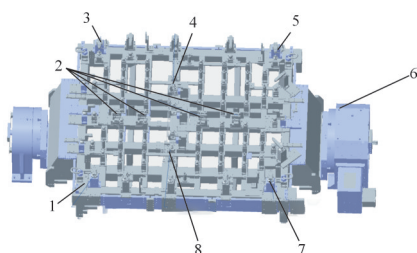


图9 一体化压铸电池托盘的机加工夹具图

Fig.9 Machining fixture diagram for integrated die-casting battery tray

1、3、5、7.支撑面和压紧 2.手指夹紧机构 4、8.定位销 6.转头架

3 讨论与分析

一体化电池托盘尺寸较大,且较薄、刚性差,前期小批软模样件采用常规夹具进行加工,仅只能形成对薄壁电池托盘外边缘的定位,而薄壁电池中部悬空而未进行定位,在后续切削加工中,由于抖动导致薄壁件的表面产生大量的振纹,加工效率很低,见图10。

采用了图9的方案对夹具进行改善,产品铣面粗糙度低,无振纹出现。改善后的加工参数提升了1倍,效果明显,见图11。



图10 改善前加工振纹

Fig.10 Machining vibration patterns before optimization



图11 改善后加工图

Fig.11 Processing diagram after optimization

一体化电池托盘的铣面加工特征多,且电池托盘都是盘式结构,前期使用常规的平板夹具加工的过程会导致铝屑和切削液都堆积在产品的内腔内,无法排

出,机床切削液水箱经常会报液位低,人工上下料倒切削和清铝屑困难,通过使用六轴转台的镂空减重夹具,配合双主轴五轴龙门的摆头旋转加工的功能,实现夹具摆角度加工,加工的铝屑和切削液可以很顺畅排回排屑机回流到切削液箱,能更好地实现自动化加工的需求。

现已投入一条双主轴五轴龙门的生产线,现场实际的加工节拍已达到设计目标,相比之前单主轴的五轴龙门设备的加工节拍,双五轴节拍平均缩短50%,各项加工过程能力指数大于1.33,满足要求。

4 结 语

电池托盘是电动汽车重要安全件,一体化压铸有优势但精度难达要求。加工难点包括产品大、加工角度多、壁薄等。工艺方案制定中,加工设备选双五轴龙门加工中心,夹具设计采用空心方管和手指夹紧机构等创新方式。方案实施后,加工质量提升,振纹消失,效率翻倍,实现铝屑和切削液顺畅排出,生产线达设计目标,满足要求。

参 考 文 献

- [1] 宁太宇,欧阳鸿武,陈家一,等.新能源汽车产业发展现状和问题[J].现代交通与冶金材料,2023,3(4):47-56.
- [2] 陶永亮,姜梦妮.新能源汽车销量促进压铸产业及一体化压铸发展[J].铸造设备与工艺,2022(2):52-55.
- [3] 但昭学,林韵,万里,等.一体化压铸成形技术的现状及发展[J].特种铸造及有色合金,2024,44(8):1 023-1 031.
- [4] 马其华,周琪,沈丰,等.微型新能源汽车车架-电池托盘一体化设计[J].制造业自动化,2020,42(10):8-12.
- [5] 王欣.新能源汽车结构变化与机床市场需求[J].金属加工(冷加工),2023(8):1-5.
- [6] 杨荷妹.CIMT2021龙门式加工中心展品评述[J].世界制造技术与装备市场,2021(3):82-85.
- [7] 吴强,肖荣诗,林峰,等.第十八届中国国际机床展览会特种加工机床评述(上)[J].世界制造技术与装备市场,2023(4):34-39.
- [8] 吴强.第十八届中国国际机床展览会特种加工机床评述(下)[J].世界制造技术与装备市场,2023(5):24-30.
- [9] 蔡晶,陈建杰,王超,等.一种用于新能源电池托盘的复合加工机床[J].金属加工(冷加工),2023(6):10-13.
- [10] 吴超,唐辉.一体化压铸件机器人加工装置:CN202410482455.5[P]. 2024-06-18.
- [11] 朱光明,吴艳玲.双龙门大扭矩机械主轴五轴联动数控机床关键技术[J].金属加工(冷加工),2011(2):4-5.
- [12] 孟浩权,洪潭,蒋文潇,等.一种直线电机驱动的高速双主轴机床:CN202410205922.X[P]. 2024-04-05.
- [13] 薛飞,黄忠,王冬,等.双主轴加工中心的模拟仿真[J].汽车工艺师,2023(6):40-43.
- [14] 赵剑峰.基于SINUMERIK 840D sl系统的前轴零件一次装夹加工工艺及程序设计[J].金属加工(冷加工),2024(9):66-71.
- [15] 冯平,任赛良,李进步,等.一种新能源汽车一体化后地板夹具工装:CN202420867824.8[P]. 2024-06-11.

(编辑:彭瑾)