

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2023.06.012

注塑模表面齿形花纹结构加工工艺的设计优化

胡光良, 严胜义, 宋小尉, 朱少军, 潘利兵, 谢才东

(浙江长江汽车电子有限公司, 浙江温州 325025)

摘要: 汽车控制面板的旋钮开关是人机交互界面不可或缺的操作零件,为了兼顾外观造型美感和开关实用性,旋钮零件表面一般设计成齿形花纹结构并采用电镀工艺。以汽车空调面板某电镀旋钮零件为例,分析介绍了旋钮零件结构特征、注塑模具结构设计及抽芯滑块表面齿形花纹采用分体式加工工艺的特点等,并针对该旋钮零件表面齿形花纹结构采用分体式加工工艺存在的不足和问题进行深入分析,根据实际情况结合零件结构特征及模具设计要求,通过采用嵌入式的拆镶方式,设计了基于组合加工方式的注塑模具及抽芯滑块结构,并详细介绍了该旋钮模具组合加工工艺的操作步骤和方法以及相应优势的对比分析。通过与分体式加工工艺对比分析可知,该组合加工工艺只需在一次装夹中即可完成旋钮滑块组合件表面齿形花纹结构的加工,显著提高了模具工件的加工效率和精度,且成本较低。该组合加工方法对于改善此类模具表面齿形花纹结构的加工质量、提升加工效率、降低加工成本具有实际指导意义和借鉴价值。

关键词: 旋钮;模具;齿形花纹;分体式加工;组合加工

中图分类号: TQ320.5+2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2023)06-0073-07

Design and Optimization of Processing Technology of Tooth Pattern Structure on Injection Mould Surface

Hu Guangliang, Yan Shengyi, Song Xiaowei, Zhu Shaojun, Pan Libing, Xie Caidong

(Zhejiang Changjiang Automobile Electronic System Co., Ltd., Wenzhou 325025, China)

Abstract : The knob switch of automobile control panel is an indispensable operating part of human-computer interaction interface. In order to give consideration to the aesthetic feeling of appearance and the practicability of switch, the surface of knob parts is generally designed with tooth pattern structure and electroplating process. Taking an electroplated knob part of automobile air conditioner panel as an example, the structural characteristics of the knob part, the structural design of the injection mould and the characteristics of the split processing technology for the tooth pattern on the surface of the core-pulling slider, etc. were analyzed and introduced, and the shortcomings and problems existing in the split processing technology for the tooth pattern structure on the surface of the knob part were deeply analyzed. According to the actual situation, combined with the structural characteristics of the part and the requirements of mould design, the injection mould and the core-pulling slider structure based on the combined processing mode were designed by adopting the embedded dismantling and inserting mode, and the operation steps and methods of the combined processing technology of the knob mould were introduced in detail, as well as the comparative analysis of advantages. Through comparative analysis with the split processing technology, it can be seen that the combined machining technology can complete the machining of the tooth pattern structure on the surface of the knob slider assembly only in one clamping, which significantly improves the machining efficiency and accuracy of the die workpiece, and the cost is low. This combined machining method has practical guiding significance and reference value for improving the machining quality, improving machining efficiency and reducing machining cost of tooth pattern structure on this kind of die surface.

Keywords : knob ; mould ; tooth pattern ; split processing technology ; combination machining

通信作者: 胡光良, 学士, 工程师, 主要从事塑胶模具工程研发及注塑工艺研究

收稿日期: 2023-03-15

引用格式: 胡光良, 严胜义, 宋小尉, 等. 注塑模表面齿形花纹结构加工工艺的设计优化[J]. 工程塑料应用, 2023, 51(6): 73-79.

Hu Guangliang, Yan Shengyi, Song Xiaowei, et al. Design and optimization of processing technology of tooth pattern structure on injection mould surface[J]. Engineering Plastics Application, 2023, 51(6): 73-79.

汽车空调控制面板^[1]上的多功能旋钮主要用于车内温度控制和风量调节等,为了提升其外观造型美感、增强科技感和操作手感及安全性,旋钮外观造型一般设计成齿形结构特征呈矩阵式分布。同时为了提高旋钮零件的硬度、抗腐蚀性、抗氧化性和耐用性,以及起到美化外观,满足消费者需求的目的,旋钮零件表面一般采用电镀工艺^[2]。

由于电镀工艺的特殊性,其对零件素材各方面要求较高,如较薄的壁厚会导致电镀时发生变形,镀层结合力^[3]较差,同时刚性降低,且在使用过程中镀层极易脱落。而较大的分型段差或者锐边、棱角容易聚集电荷,电流较其它地方更大,容易造成段差或锐边处产生毛刺、烧焦、积镀^[4]等问题,积镀不仅影响电镀零件的外观美感,而且还会降低镀层结合力,造成镀层起皮^[5]、鼓包,甚至脱落等,严重影响零件使用寿命。

笔者以某电镀旋钮零件为例,结合其产品结构特征和设计要求,通过模具设计优化及工艺改善,设计了基于组合加工方式的模具结构和加工工艺,使抽芯滑块表面分型段差小于0.01 mm,有效改善了抽芯滑块分型段差^[6]过大而导致的零件积镀问题。

1 零件信息及结构分析

图1为零件及结构分析图。如图1a和图1b所示,旋钮零件尺寸为 $\varnothing 24.0\text{ mm} \times 15.0\text{ mm}$,表面周围以矩阵式的形式分布64列齿形花纹凸起结构,如图

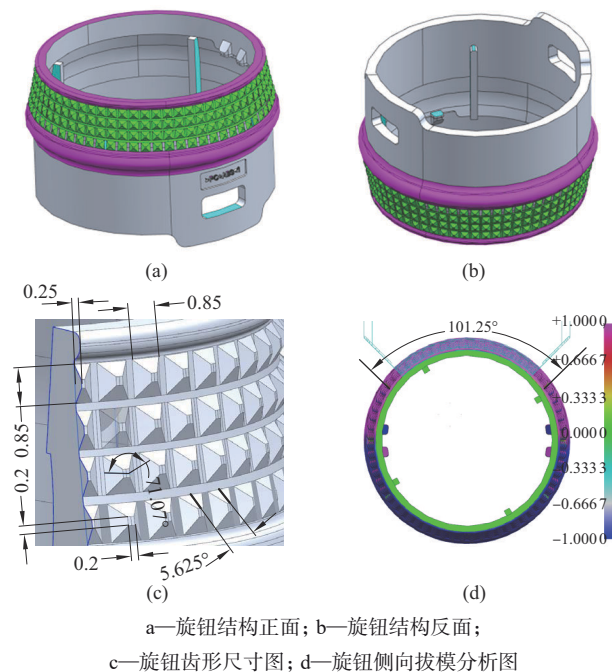


图1 零件及结构分析图

1c所示,凸起结构特征齿根距为 $0.85\text{ mm} \times 0.85\text{ mm}$,齿尖距为 $0.2\text{ mm} \times 0.2\text{ mm}$,齿高 0.25 mm ,齿面角 71.07° ,零件表面整体齿形造型新颖,极具立体感和科技感。旋钮零件材料为SABIC公司电镀级聚碳酸酯/丙烯腈-丁二烯-苯乙烯塑料MC1300,表面哑光电镀银,外观要求零件素材表面滑块分型处无明显分型段差、台阶、飞边、塌角等缺陷问题,电镀后无镀层毛刺、起皮、鼓包、积镀等外观问题。

由于受旋钮单个齿面角大小影响,从图1d旋钮拔模分析结果可知,其单个侧向抽芯滑块最大包覆角为 101.25° (图1d黑色线区域),3个抽芯行位总包覆角为 303.75° ,无法满足整个旋钮零件侧向成型及脱模要求,故至少需4个抽芯滑块实现侧向脱模。

2 模具结构设计说明

由旋钮零件结构分析可知,旋钮周围表面齿形花纹结构特征受齿的脱模方向制约,模具需至少采用4个侧向抽芯^[7]滑块实现脱模,零件浇口布局 and 抽芯滑块结构图如图2所示。

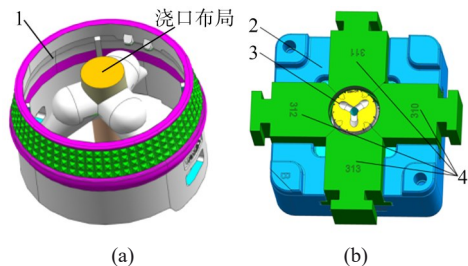


图2 零件浇口布局和抽芯滑块结构图

抽芯滑块结构如图3所示,滑块整体外形可通过线切割下料后工艺磨加工,头部圆弧及定位孔通过配入模仁中进行同步慢丝加工,可充分保证加工精度,但由于滑块表面齿形花纹呈利角结构,无法直接采用数控加工机床(CNC)精加工到位,必须采用电火花加工(EDM)成形。

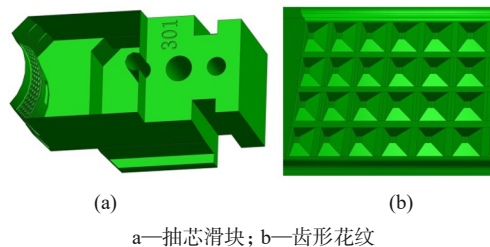
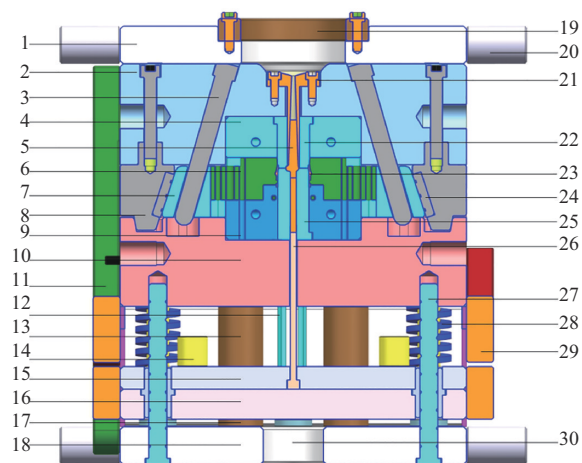


图3 抽芯滑块结构及齿形花纹放大图

根据旋钮零件结构特征及设计要求,该旋钮模具采用大水口转三点潜伏式浇口进胶,模腔数为一

模一腔,采用顶针和直顶机构顶出,模具最大外形尺寸为280.0 mm×230.0 mm×296.0 mm,详细模具结构如图4所示。



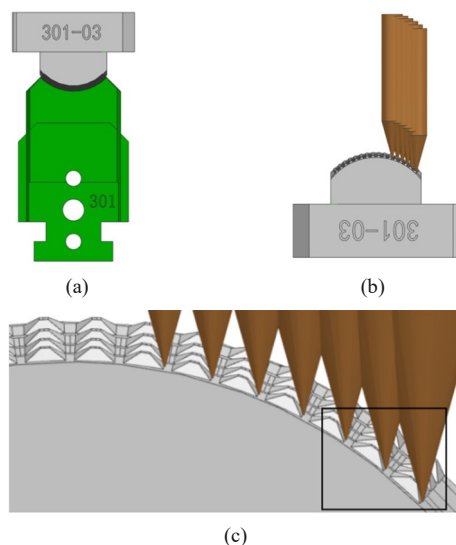
1—定模座板; 2—定模板; 3—斜导柱; 4—定模仁; 5—主流道;
6—抽芯滑块; 7—滑块座; 8—锁紧块; 9—动模仁; 10—动模板;
11—强制复位杆; 12—直顶; 13—支撑柱; 14—限位柱;
15—面针板; 16—顶针底板; 17—垃圾钉; 18—动模座板;
19—定位圈; 20—模脚; 21—唧嘴; 22—定模镶件; 23—塑件;
24—耐磨块; 25—动模镶件; 26—顶针; 27—中托司; 28—弹簧;
29—强制复位机构; 30—顶棍孔

图4 模具结构剖面图

3 分体式加工工艺分析

在五轴CNC^[8]加工技术应用还不够成熟或普及前,每个滑块表面上的齿形花纹结构特征受刀具及加工机床等各方面条件的制约,其齿形花纹结构无法直接通过CNC加工成形,只能利用电化学腐蚀的原理通过电极进行EDM放电成形。同样因受CNC加工技术和各种条件的制约而无法直接加工整体式电极。图5为单个滑块整体电极及CNC加工电极刀具刀路。如图5a所示,301-03为单个滑块整体电极,图5b为电极CNC加工刀具刀路模拟图,由图5c放大图可知,标识区域刀具在加工齿形凹槽时刀尖侧刃与电极凸起齿形结构会发生干涉导致过切,电极齿形结构特征无法直接CNC加工到位,而采用更尖细的刀具则存在断刀、弹刀风险,以及电极表面加工不良等问题,因此该旋钮抽芯滑块表面的齿形花纹结构只能采用分体式电极分别单独进行EDM放电加工^[9],再组装模具成形各部件。

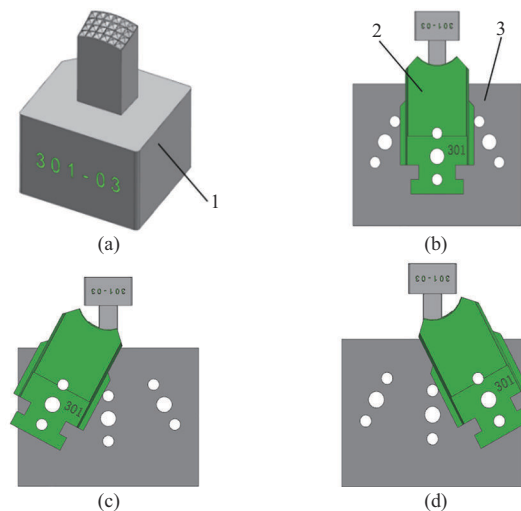
分体式加工工艺采用电极分拆,抽芯滑块分别装入载板夹具,逐一旋转一定角度进行EDM放电加工。因EDM加工是利用电化学腐蚀的原理对模具工件表面进行电化学腐蚀^[10]加工,而电极多半采



a—单个滑块整体电极; b—CNC加工电极刀具刀路模拟图;
c—CNC加工电极刀具刀路模拟放大图

图5 单个滑块整体电极及CNC加工电极刀具刀路示意图

用铜材且其硬度及熔点较低,在EDM放电加工过程中产生的高温会导致电极材料尖锐棱角部分发生熔融造成较大损耗(俗称损公),为了保证滑块表面齿形花纹结构的加工精度和质量,所以EDM放电粗加工过程中每旋转一次则需更换一组新的电极,精加工只需一组电极。图6为分体式加工工艺说明。如图6所示,图6a为分体式电极,图6b为滑块摆到正中间进行EDM放电,图6c和图6d分别为滑块左摆28°和右摆28°进行EDM放电。



1—分体式电极; 2—抽芯滑块; 3—载板夹具
a—分体式电极; b—滑块摆正EDM放电图;
c—滑块左摆28°EDM放电图; d—滑块右摆28°EDM放电图

图6 分体式加工工艺说明

分体式加工工艺电极数量较多,且工件在加工过程中的多次装夹、定位、校数及不确定因素等会

造成累计加工误差较大,进而导致加工出来的实物与要求相差甚远。同时模具工件在组装过程中也存在各种误差和不确定因素,最终导致模具成型旋钮零件时抽芯滑块的分型处存在至少0.03 mm的明显段差线。由于旋钮零件表面采用电镀工艺,较大的段差线会导致电镀后零件表面分型利角处产生明显积镀问题,不仅影响零件表面的美观性,降低客户使用体验感受,还会降低零件镀层结合力,造成镀层起皮、鼓包,甚至脱落等,严重影响零件使用寿命。因此通过采用电极分拆,多次进行EDM放电加工抽芯滑块齿形结构的分体式加工工艺方法不能满足零件精度及表面质量要求,须通过模具结构设计及加工工艺优化改善。

4 组合式加工工艺分析

组合加工^[11]工艺是一种按工件的模具装配关系,通过采用整体式电极在一次装夹中完成模具滑块组合件的高精密加工的工艺方法,具体步骤可分为模具设计拆镶优化、电极拆分与加工、工件装夹与定位、组合放电加工4个部分。

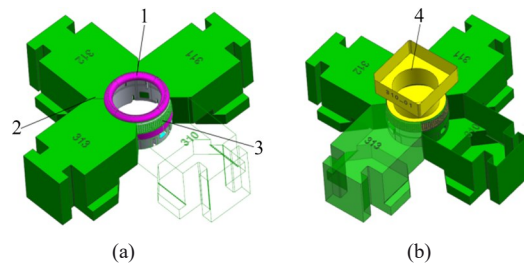
4.1 模具设计拆镶优化

为了保证模具工件获得更优的加工工艺,提高模仁、抽芯滑块及模具镶件的加工精度,根据旋钮零件的结构特征对模具做嵌入式拆镶优化,如图7a所示,对旋钮模具动模仁2和动模镶件1进行拆镶处理,以便于对图7b所示动模仁滑块T型导向槽4和动模仁镶件孔3采用慢丝加工,而动模镶件1和

抽芯滑块5采用线切割下料后工艺磨加工,配合斜面6采用慢丝加工,如图7d所示,滑块成形圆弧轮廓8通过模仁和滑块装夹组合并进行固定,然后采用慢丝一次加工成形,以确保圆弧的真圆度、定位孔位置度及工件各定位面和关键尺寸的加工精度。

4.2 电极拆分与加工

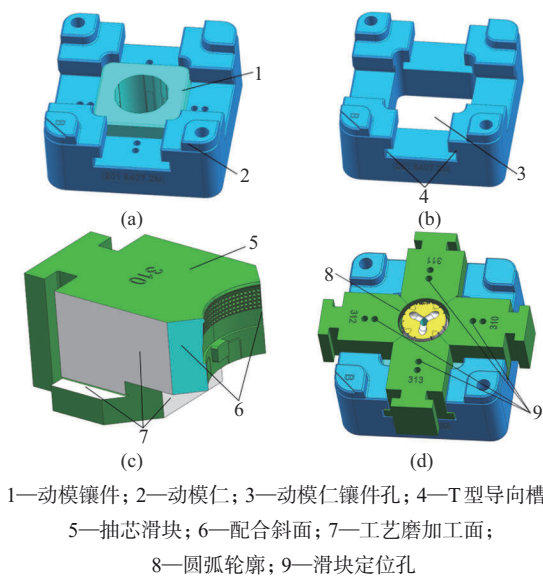
为了有效解决分体式电极加工方法的弊端,尽量减少电极数量和装夹、定位、校数次数,减小多次加工带来的累计误差^[12],因此电极设计及加工至关重要。为此将电极设计成整体式,采用多轴高速CNC直接加工,无须抛光。图8为电极拆分方法示意图。如图8a所示,旋钮零件齿形花纹结构由4个抽芯滑块组合成形,且每个抽芯滑块的齿形电极拆成一个整体(图8b),这种电极拆分方法既可保证电极所有齿形的一致性,还减少了电极数量,进而减少EDM放电加工次数,降低累计加工误差,提升加工效率和EDM加工精度。



1—旋钮零件; 2—滑块分型段差线; 3—齿形成形腔位; 4—整体式电极
a—旋钮零件抽芯滑块结构图; b—抽芯滑块及整体式电极图

图8 电极拆分方法示意图

图9为电极加工方法说明。将整体式电极(图9a)装入EROWA夹具(图9b),采用五轴高速CNC机

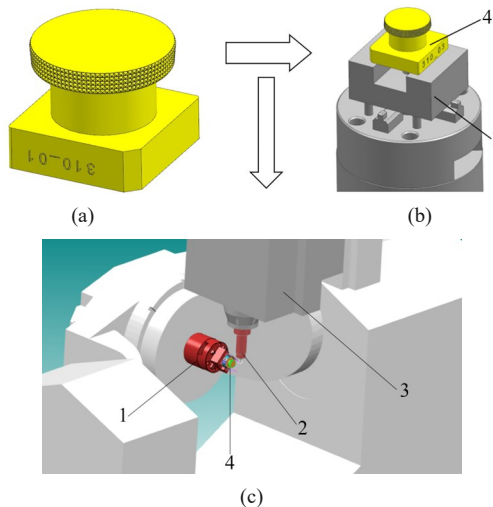


1—动模镶件; 2—动模仁; 3—动模仁镶件孔; 4—T型导向槽;
5—抽芯滑块; 6—配合斜面; 7—工艺磨加工面;
8—圆弧轮廓; 9—滑块定位孔

a—动模仁&动模镶件组装图; b—动模仁;

c—抽芯滑块; d—动模仁&动模镶件&抽芯滑块组装图

图7 模具拆镶设计方案说明



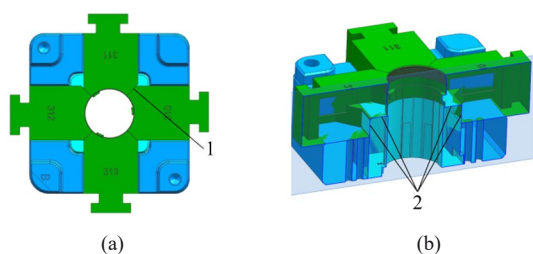
1—EROWA夹具; 2—CNC加工刀具; 3—CNC机床; 4—整体式电极
a—整体式电极; b—电极装入EROWA夹具; c—五轴高速CNC机床

图9 电极加工方法说明

床直接加工,粗精工电极各1件。

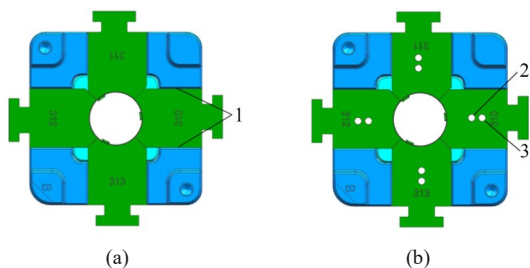
4.3 工件装夹与定位

图10为工件装配方法示意图,图11为工件定位孔加工方法示意图。如图10a所示,抽芯滑块、动模镶件同时装入动模仁配模,要求动模镶件基准面与滑块定位面配好时红丹刚好接触,不允许存留任何间隙(图10b),采用激光焊将抽芯滑块的两边固定住(图11a),再采用慢丝同步加工^[13]抽芯滑块和模仁定位孔。对于图11b中的滑块第一定位孔2,其位置的确定随意性较大,不与相关特征干涉即可,而对于图11b中的滑块第二定位孔3,其位置需要按照确定的电极位移安全距离4 mm进行加工并确保位置精度。



1—滑块之间的分型接触面(4处); 2—抽芯滑块定位面
a—抽芯滑块、动模镶件同时装入动模仁图示;
b—动模镶件基准面与滑块定位面配好时示意图

图10 工件装配方法示意图



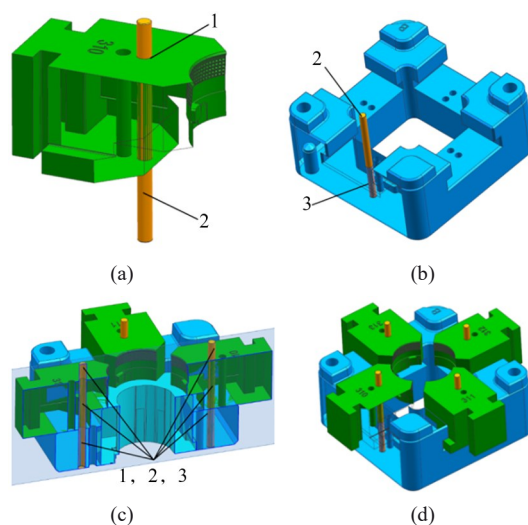
1—激光焊固定; 2—滑块第一定位孔; 3—滑块第二定位孔
a—激光焊定位加工图; b—两定位孔同步加工图

图11 工件定位孔加工方法示意图

4.4 组合放电加工

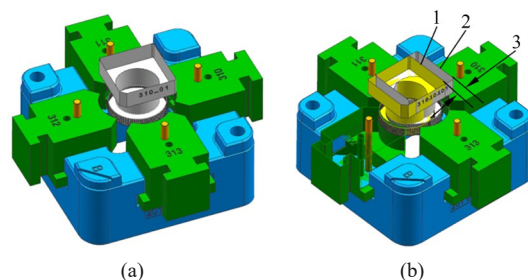
图12为抽芯滑块与模仁装夹说明。如图12所示,抽芯滑块装入动模仁,全部往后退出足够的安全距离4 mm,也即抽芯滑块两孔的中心距,采用销钉同时穿过滑块第一定位孔1和动模仁第二定位孔3,将滑块和动模仁进行组合同步固定,整体效果如图12c所示,如图12d所示按相同方法固定其余抽芯滑块,拆走厚模镶件,开始EDM组合放电加工^[14]。

EDM放电加工前先进行电极的校正,碰数分中,然后将电极移至中心并下降至指定高度位置(图13a),最后采用整体式电极对抽芯滑块表面齿形结



1—滑块第一定位孔; 2—销钉; 3—动模仁第二定位孔
a—销钉与滑块定位孔匹配图; b—销钉与动模仁定位孔匹配图;
c—滑块与动模仁组装剖面图; d—滑块与动模仁整体组装图

图12 抽芯滑块与模仁装夹图示说明



1—EDM放电开始中心位置; 2—EDM放电结束终止位置;
3—位移距离

a—整体电极移至中心并下降至指定高度位置图;
b—整体电极 EDM 放电初始位置和结束位置图

图13 放电加工示意图

构进行侧向 EDM 放电加工,如图13b所示,图13b的位移距离3为抽芯滑块两孔中心距离。按照此方法加工直至4个抽芯滑块全部完成EDM放电成形。加工过程中非X,Y轴正交方向则联动放电,可充分保证旋钮滑块表面齿形的加工精度和质量。

5 改善效果对比说明

图14为分体式电极及EDM加工示意图。如图14所示,采用分体式加工工艺需考虑到加工过程中电极材料的损耗问题,EDM放电粗加工过程中每旋转一次则需更换一组新电极,4个抽芯滑块共需12个粗工电极,再加上每个抽芯滑块1个精工电极共4个,合计共需16个分体式电极分别进行16次装夹才能完成所有抽芯滑块齿形结构特征的EDM放电成形加工,加工效率较低,且多次装夹加工的累积误差导致旋钮零件抽芯滑块分型段差线超过0.03

mm,无法满足旋钮零件表面的电镀要求。

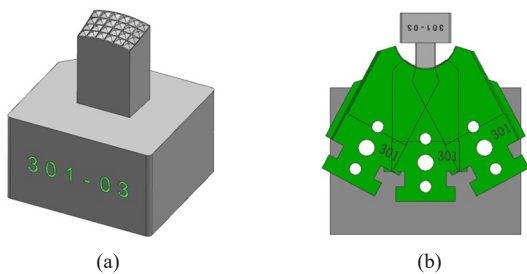


图14 分体式电极及其EDM加工示意图

图15为整体式电极及EDM组合加工示意图。如图15所示,采用整体式电极的组合加工方法,将旋钮抽芯滑块表面的齿形结构做成整体式电极,利用模仁将各滑块装夹组合并精确定位后,再进行慢丝和EDM同步放电加工,整个过程只需1个粗工电极和1个精工电极共两个电极,且在1次装夹中即可完成所有滑块齿形部位结构特征的加工,加工高效且还能获得较高精度的合格工件,段差线精度满足旋钮零件表面电镀要求。

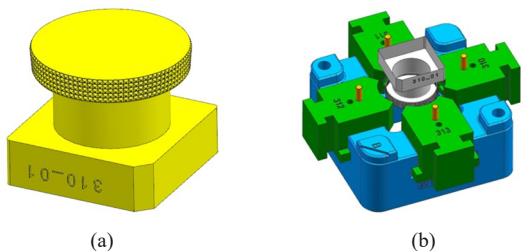


图15 整体式电极及其EDM组合加工示意图

图16为改善后成型旋钮零件实物照片。如图16所示,采用组合式加工工艺的模具,其成型零件实物表面滑块分型段差较小,电镀后表面基本上不存在毛刺、烧焦、积镀等外观缺陷问题,改善效果非常明显。

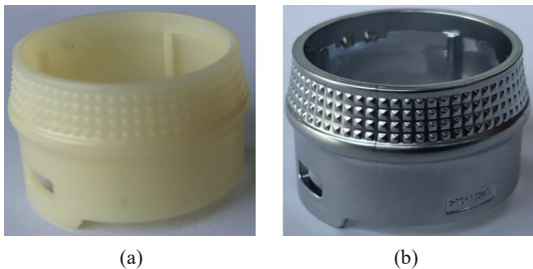


图16 改善后成型的旋钮零件实物照片

表1为分体式加工和组合式加工的对比分析情况。通过表1数据对比分析可直观地发现采用组合

式加工方法相比分体式加工方法优势较明显,分体式加工方法的16件电极CNC加工工时和EDM放电工时均为32h,而组合式方法加工2件整体式电极的CNC加工工时和EDM放电工时均为12h,组合式加工方法两工序的合计工时仅为分体式加工方法的37.5%,加工效率提升明显,且累计加工误差较小,加工精度也能得到充分保证,满足零件设计要求。

表1 分体式加工和组合式加工对比分析

加工方法	电极类型	电极数量/个	电极工时/h	EDM次数/次	EDM工时/h
分体式	分体式	16	32	16	32
组合式	整体式	2	12	2	12

目前该组合加工方法已形成技术标准并被广泛应用,该技术应用相对成熟稳定已累计成功应用160余例,给企业生产加工带来较大改善和经济效益,《一种高效加工旋钮模具表面齿形花纹的方法》已申请发明专利(ZL202110149783.X)并获得授权^[15]。

图17为组合加工工艺应用案例。图17a的实际应用案例1中,左图为旋钮零件结构图,右图为旋钮表面齿形花纹采用10个抽芯滑块实现成型及脱模的结构图;图17b的实际应用案例2中,左图为座椅调节按钮零件结构图,右图为按钮零件表面齿形花纹采用6个抽芯滑块实现成型及脱模的结构图。

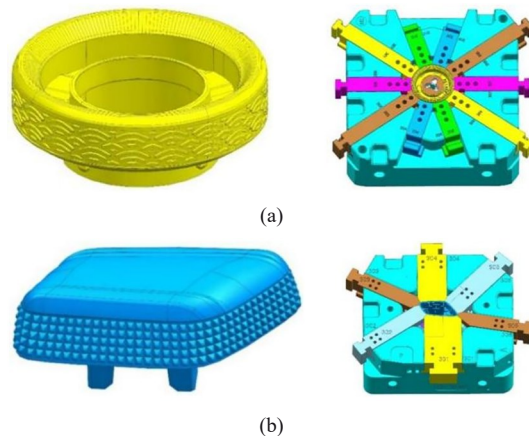


图17 组合加工工艺应用案例图

6 结语

组合式加工是一种按工件模具装配关系,基于整体式电极^[16]只需在一次装夹中即可完成模具滑块组合件表面齿形花纹结构的加工方法,该工艺方法较大程度上减少了电极数量,以及工件装夹、定位、校正、碰数次数和累计加工误差等,提高了工件加

工精度及效率,有效改善了传统分体式电极加工的弊端,达到降本增效的目的,极具实用指导意义和推广应用价值。

参考文献

- [1] 刘小明,明廷雪,唐路.汽车空调控制面板的设计[J].汽车电器,2017(4):61-64.
Liu Xiaoming, Ming Tingxue, Tang Lu. Control panel design of vehicle A/C[J]. Auto electric parts, 2017(4):61-64.
- [2] 李巍.汽车用塑料电镀工艺及产品结构对电镀质量的影响[J].汽车工艺与材料,2022(2):25-28.
Li Wei. The influence of automotive electroplating process and product structure on electroplating quality[J]. Automobile Technology & Material, 2022(2):25-28.
- [3] 虞莲雯.塑料电镀排挡面板镀层鼓泡失效的研究[J].电镀与涂饰,2021,40(15):1 168-1 172.
Yu Lianwen. Study on blistering defect of electroplated plastic shift panel[J]. Electroplating and Finishing, 2021, 40(15):1 168-1 172.
- [4] 王荣生.汽车塑料电镀件设计及生产工艺[J].科技创新与应用,2012(18):115-116.
Wang Rongsheng. Design and production process of automotive plastic electroplating parts[J]. Technology Innovation and Application, 2012(18):115-116.
- [5] 周波,唐正生,许海仙,等.多层陶瓷基板电镀层结合力不良的原因和解决措施[J].电镀与涂饰,2018,37(23):1 094-1 098.
Zhou Bo, Tang Zhengsheng, Xu Haixian, et al. Reasons and solutions for poor adhesion of electroplated coatings on multilayered ceramic substrate[J]. Electroplating and Finishing, 2018, 37(23):1 094-1 098.
- [6] 陈达,杨世通.保险杠模具分型线段差品质的提升[J].模具制造,2022,22(12):32-34.
Chen Da, Yang Shitong. Improvement the poor quality of parting line segment for bumper mold[J]. Die & Mould Manufacture, 2022, 22(12):32-34.
- [7] 梅益,朱春兰,宋沛毅,等.短固定手柄套多侧向抽芯注塑模具设计[J].工程塑料应用,2018,46(4):75-79.
Mei Yi, Zhu Chunlan, Song Peiyi, et al. Short fixed handle set more lateral core-pulling injection mould design[J]. Engineering Plastics Application, 2018 46(4):75-79.
- [8] 王建翎.基于旋转五轴与CNC加工中心联机控制系统及控制方法[J].科技风,2022(5):163-165.
Wang Jianling. Online control system and control method based on rotating five-axis and CNC machining center[J]. Technology Wind, 2022(5):163-165.
- [9] 付建军.模具电火花成形加工[M]//模具制造工艺.2版.北京:机械工业出版社,2017:101-107.
Fu Jianjun. Die EDM forming process[M]//Die manufacturing technology. 2nd ed. Beijing:China Machine Press, 2017:101-107.
- [10] 李杰,石玟,黄健康.铝/钢异种金属MIG熔钎焊接头腐蚀性能研究[J].热加工工艺,2018,47(13):214-217,222.
Li Jie, Shi Yu, Huang Jiankang. Corrosion properties of aluminum-steel dissimilar metals MIG welding-brazing joint[J]. Hot Working Technology, 2018, 47(13):214-217, 222.
- [11] 程光.壳体组合件组合加工工艺的研究[J].机械制造,2018,56(7):97-99.
Cheng Guang. Study on the combined processing technology of shell assembly[J]. Machinery, 2018, 56(7):97-99.
- [12] 岳雨蒙,孙宗建,田理中,等.机械压力机湿式离合器轴承发热故障分析与工艺改进[J].锻压装备与制造技术,2018,53(6):24-26.
Yue Yumeng, Sun Zongjian, Tian Lizhong, et al. Analysis of heating problem of press wet clutch bearing[J]. China Metalforming Equipment & Manufacturing Technology, 2018, 53(6):24-26.
- [13] 苏国康,李海成,林莉,等.多工位同步加工电火花线切割机床研制[J].航空制造技术,2020,63(17):98-101.
Su Guokang, Li Haicheng, Lin Li, et al. Development of multi-station synchronous wire cut electrical discharge machining (WEDM) machine[J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2020, 63(17):98-101.
- [14] 宋国新,耿雪松,朱红敏.复杂流道构件组合放电加工技术研究[J].电加工与模具,2017(1):56-59,68.
Song Guoxin, Geng Xuesong, Zhu Hongmin. Study on combined discharge machining technology of complex channel components [J]. Electromachining & Mould, 2017(1):56-59, 68.
- [15] 严胜义,王甘平,胡光良,等.一种高效加工旋钮模具表面齿形花纹的方法:CN112975015B[P]. 2022-06-17.
Yan Shengyi, Wang Ganping, Hu Guangliang, et al. Method for efficiently machining tooth-shaped pattern on surface of knob mold:CN112975015B[P]. 2022-06-17.
- [16] 许发越.电火花加工工艺[M]//许发越.模具制造工艺与装备.2版.北京:机械工业出版社,2015:129-134.
Xu Fayue. EDM process[M]//Xu Fayue. Die manufacturing process and equipment. 2nd ed. Beijing:China Machine Press, 2015:129-134.