

飞机起落架构件反配加工技术研究

■ 中航飞机股份有限公司长沙起落架分公司（陕西汉中 723200） 刘新文 张锦娟 李运龙

摘要：简要分析了反配加工在起落架制造上存在的必然性以及反配加工的基本原理、加工难点。简述反配加工的基本方式，详细描述了反配加工过程中的加工要求及反配加工的基本流程。从加工设备、辅助夹具、刀具等几方面入手，结合实例对配加工件修复加工技术进行了探讨。

起落架零件结构通常都较为复杂，精度要求相对较高。为满足设计要求，保证装配质量，起落架零件加工时存在大量的具有配加工要求的零件，虽然装配质量提高了，但配套件存在一一对应关系，不具有互换性。若互为配加工关系的零件之一在配加工之后无法正常使用或因某种原因报废，存在的“专配关系”将随之消失。重新加工也很难正常装配，导致互为配加工的零件均无法再次使用而报废，既导致巨大的经济损失，也严重影响零件交付进度。故针对反配加工的可行

性工艺方案的研究迫在眉睫。

1. 反配加工的基本原理及难点分析

配加工是为了减少公差积累的影响所采取的一种协调加工措施，即对两个或多个存在装配连接关系的零件进行组装，通过一定方式固定在一起同时加工，使他们具有相同的孔轴线，达到顺利装配。

单个零件的公差可以轻易确定，但多个组合零件的公差叠加累积产生的误差会影响最终公差，从而可能影响零件的装配及

正常使用。若配加工后两个互为配加工的零件其中之一报废，原配加工零件的孔轴线方向由于多种误差的关系存在多种偏斜可能性。

如图1中圆柱为配加工件孔的示意图，虚线表明轴线的方向具有不确定性。如何让重新加工的零件和之前配加工过的零件同轴

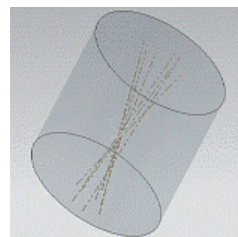


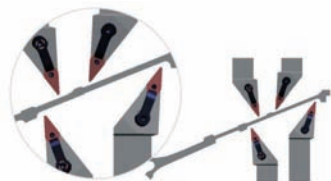
图1 配加工孔轴线

设备：数控立车。

选刀原则：高温合金精加工刀片，薄壁零件需槽型锋利减小切削力，重复定位精度高；刀杆夹紧安全可靠。公司-Nf标准车削槽型适合高温合金薄壁件的精加工，选择刀尖强度较高的55° D型刀片，槽型锋利，定位面精磨，可增加重复定位精度。刀杆用M类压紧方式，夹紧安全可靠。结合ZIGQ3N-NM异型槽刀，可以完成加工内容。切削参

数： $v=40\text{m/min}$ ， $f_r=0.15\text{mm/r}$ 。

（16）精车大端。加工特点：精车大端，壁厚仅3.5mm，加工变形严重。加工设备：数控立车。



精车大端

选刀原则：高温合金精加工刀片，薄壁零件需槽型锋利减小

切削力，重复定位精度高；刀杆夹紧安全可靠。公司-NF标准车削槽型适合高温合金薄壁件的精加工，由于角度限制，选择通用性更好的35° V型刀片，槽型锋利，定位面精磨，可增加重复定位精度。刀杆用M类压紧方式，夹紧安全可靠。刀片牌号选用耐磨性好的YBG105，提高使用寿命。切削参数： $v=50\text{m/min}$ ， $f_r=0.15\text{mm/r}$ 。MW

（收稿日期：20170511）

就是我们所要研究方向。

反配加工即是通过特殊的装夹、找正方式，用已经配加工的零件来重新加工配套零件；或者通过已报废零件轴线，新制可与报废零件互换的配套件，保证已经配加工的零件和新制零件具有相同方向的轴线，实现一对一顺利装配。

反配加工的主要难点：一方面，零件在反配过程中装夹找正困难，且配加工件与新制件的加工过程不易观察；另一方面如何根据实际情况设计专用夹具、调节装夹、选择加工方式以及如何通过过程控制实现新制零件和原零件同轴，从而满足装配需求。

2. 配加工件形态分类

根据配加工形态可将配加工划分为单孔配加工件及双孔、多孔配加工件两类。单孔配加工件即配加工时只有一个孔是配合加工的，只存在一条公共轴线如图2所示，而双孔、多孔配加工件顾名思义就是具有两条或多条具有相互关系的轴线具体如图3所示。

加工双孔、多孔配加工件时必须同时注意单孔加工的主要原理及多孔之间的相对位置关系。双孔、多孔配加工件相对更为复杂，但是基本原理一致，反配的难度系数增加，同时风险增大。目前起落架结构中单孔类相对较

为普遍，双孔、多孔相对较少。

3. 反配加工的基本方法

传统的加工方式是通过计量配加工零件来确定孔的位置关系，再在设备上找出其位置关系进行加工，由于孔位线的任意性及部分产品结构的复杂性，给计量及设备找正带来很大困难，有较大的误差积累。通过对现场“反配加工”零件的分析研究，以装夹找正方式总结出如下两种基本加工方法：

(1) 通过多轴机床来调节反配加工零件位置关系。通过机床调节配加工零件，即在找正零件的过程中若配加工件轴线方向偏差较大，通过调节机床A、B轴让原本随意偏斜的轴线实现与机床主轴平行。将新制件和配加工件同时安置于机床工作台上，将找正心轴（孔、轴间隙控制在0.01mm内，减少反配误差）插入配加工件孔内找正零件，通过调节机床A、B轴找正心轴，保证心轴轴线与机床主轴平行，再以配加工件上孔确定孔位坐标值；将新制件放置在与配加工件具有相对关系的坐标位置，通过配加工件的孔位坐标计算出新制件的孔位坐标，再进行加工，从而保证了新制件及配加工件孔位及轴线重合，实现反配加工保证装配要求。

(2) 通过三点式夹具调节

反配零件位置关系。反配加工的另一方法三点式夹具调节法，通过分析配加工及零件相互装配关系，将零件固定于机床工作台上，将专用心轴插入配合加工的孔内，专用心轴必须将配加工件和新制件同时贯通。通过手动调节三点式夹具的支撑点来找正心轴的轴线使其与机床主轴平行，从而达到找正的目的（见图4）。

记录心轴找正后的孔位坐标值，拆除配加工件以防止加工时误伤已经完成表处理的成品零件，在保证其余尺寸关系后固定新制件，按孔位坐标加工新制件上的配加工孔。图5为图4的零件配合关系二维图。

(3) 配加工孔的加工遵循以下流程。依据配加工孔的基本原理、加工方法以及加工现场实际情况，配加工孔的加工遵循以下流程：①分析反配加工零件的状态。②依据实际情况制定加工方案，包括使用的设备。③根据加工方案确定专用工装及刀具。④装夹、找正零件，保证配加工件的轴线与机床主轴平行。⑤依据配加工件孔位关系确定新制件孔位坐标，进行钻—镗—铰孔加工。

4. 反配加工需注意的几点

(1) 合理选择装夹、找正方式。反配过程中装夹方式及找正方式的选择，主要取决于配加工

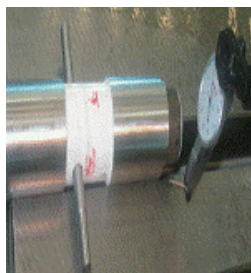


图2 单孔类

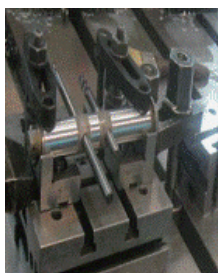


图3 双孔类、多孔类

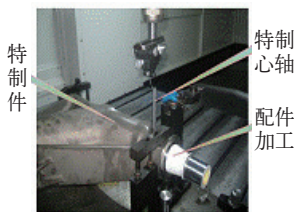


图4 三点式夹具找正过程图

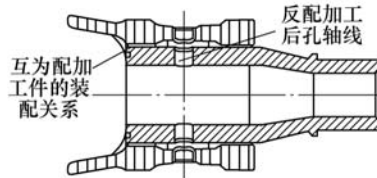


图5 配加工关系及效果图

件上配套孔的方向性，一般情况下如果方向为竖直的选用三点式装夹手动调节支撑点，如果配套孔方向为水平方向或者配加工件形态为双孔、多孔类，尽可能选择多轴机床进行加工。

(2) 合理的刀具选用。起落架材料多为超高强度钢，协调加工时硬度在52HRC以上，钻、镗刀具悬伸较大，对刀具的刚性及精度要求较高，由于配加工件已经是成品件，为保证反配加工过程中不会误伤配加工件，刀具的选择就显得尤为重要。通过多次试加工对比，优选肯纳的钻头及镗刀（见附表及图6）。

(3) 加工过程的控制。为保证反配后零件可以顺利装配，在加工过程中对直接或间接影响零件加工质量的因素进行控制，严格控制加工过程，一方面要控

制心轴的公差范围，保证心轴和配加工件的孔轴间隙值；另一方面控制找正状态，找正时必须将心轴找正在0.01mm范围内，且找正范围大于加工范围，以增加孔位坐标的准确性；特别是反配加工孔时最为安全及有效的加工流程是钻、镗、铰，在使用钻头在新制件上钻初孔，注意钻孔时一般钻成台阶孔，即孔近端采用稍大钻头，孔远端采用稍小钻头，防止孔钻偏损伤配加工件，再采用镗刀镗孔，镗孔至预留少许加工余量，再采用手绞刀铰孔至尺寸，避免损伤配加工件。

(4) 加工过程风险分析。反配加工时配加工件为具有表面处理层的成品件，反配加工过程具有一定的复杂性且超差的风险性较高。起落架反配加工按零件大小分类可以划分为三类：大件

配小件、小件配小件、小件配大件。其中风险最大的是用有价值的小件配大件，即小件为配加工件，大件为新制件。对起落架构件来说，若反配加工后零件不能正常装配使用，一方面会产生较大的经济损失，另一方面重新加工一件所需周期较长，严重影响产品交付进度。

5. 反配加工在起落架加工、返修上的成果

通过反配加工可行性方案的实施，解决了有“专配关系”配套件的修复，已在多个型号上得到应用，既产生了较大的直接经济效益，更重要的是分类固化了多种加工流程，使配加工零件返修有据可依，保证了返修质量，节约返修成本，为后续起落架的返修及修理奠定了坚实的基础。

6. 总结与展望

上文所述反配加工的基本内容，我们了解了反配加工在起落架的制造及返修过程中的绝对重要性。经过近年来我们对反配加工可行性加工方案的研究和不断实践，不断吸取经验不断改进。通过过程控制，合理的选用机床、夹具、刀具和正确的加工顺序流程，使反配加工的风险降低，实现了对它的保质加工。

随着机械加工工艺的进步及硬件条件的提升，我们可采用更先进的工艺，使互为配加工件的零件可以在满足设计要求的前提下相互替换，即实现专配零件的互换性，摘掉“专配”的帽子，使国内机械行业工艺技术向前迈进一大步。MW

（收稿日期：20170512）

对比试验

成品孔径	刀具类型	刀具名称	刀具悬伸/mm	产品/HRC	加工参数
$\phi 12^{+0.027}_0$	钻头	KTIP100R12SS12M KTIP1000HPM KCP15	100	55	20mm/min, 600r/min
	镗刀	DWG60032033	100		20mm/min, 450r/min
$\phi 16^{+0.027}_0$	钻头	KSEM150R10WN20M KSEM1500HPGM KC7315	150	52	25mm/min, 550r/min
	镗刀	DWG60032039	140		20mm/min, 400r/min

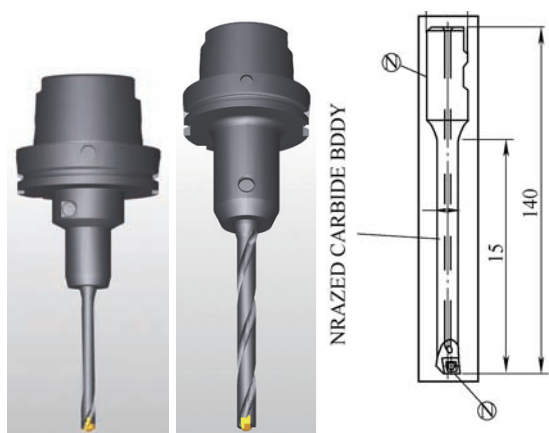


图 6