

航空救生产品数控铣削加工与模块化制造技术

金鑫¹, 金润一², 陈峻¹, 张奇¹

1. 航宇救生装备有限公司 湖北襄阳 441003

2. 重庆邮电大学自动化学院 重庆 400065

摘要: 针对微小批量零件的高频次换型、多工步加工、工装夹具反复拆换等特征, 优化数控铣削加工方案。通过长期积累的技术经验和零件大数据分析, 将问题归类, 过程复现, 基于刀具、夹具、零件结构与材质的共性特点, 提供集成创新的解决方法, 获得数控机械加工的分组方案。以零件材质、结构特性、技术手段相关联的方法, 创建稳定高效的数控加工工艺和生产秩序, 满足航空救生产品快速、准确、灵活的生产需求。

关键词: 航空救生产品; 微小批量; 数控铣削; 分组加工; 模块化

1 序言

随着航空救生新产品的涌现, 具有集成化、多功能、强适应和高精度特征的新构型零件, 带来机械加工难度的成倍增长。数控加工技术的核心手段——数控铣削工艺的应用水平必须深度开发、有序提升。

2 专业调查

(1) 数控车削、铣削生产现状 以车床、铣床和加工中心为代表的数控通用机床设备^[1], 是开发生产多品种、小批量航空救生产品的重要手段, 具有高融合、全数字和快节奏的优势。受以下生产条件的限制, 现阶段数控铣削设备应用情况不够理想。

1) 数控铣削在线零件的批量比例。设 n 为零件单批次的数量(件), $n \leq 20$ 的占比70%, $20 < n < 50$ 的占比20%, $50 \leq n \leq 200$ 的占比10%。

2) 不同型号、材质和结构的复杂零件频繁在线换型, 月度换型频次30次以上的岗位达总数的86%, 数控铣削的技术换型准备时间占全生产周期的60%左右, 单位为小时。

3) 首次数控铣削试制的科研零件工序量占在线总工序量的86%。

(2) 航空救生新产品特点 近年来, 数控冷加工的技术创新虽然取得一些成果, 但多为零散课题攻关, 不具有系统、规模、集约和科学的技术效

能。在当前科研型号和品种翻倍, 新集成结构、新耐蚀材料无加工案例可供借鉴, 产品生产周期压缩, 综合管控难度加大的形势下, 散点开花、单一循环的模式已经不能满足航空产品生产发展的需要。2018—2022年单一循环模式技术攻关情况调查结果如图1所示。

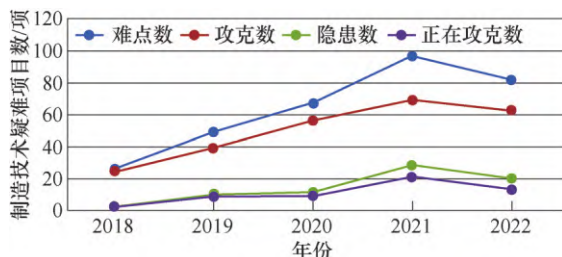


图1 单一循环模式技术攻关情况调查结果

实践证明, 不同结构的零件混线生产时产生的技术疏漏、准备失误、反复调整、质量偏差和操作拖沓等不良现象, 造成周期延长、节点迟滞。相对于科研集成结构品种多及新耐蚀材料的应用等情况, 工艺技术方法较为匮乏, 技术成果不可套用。

3 技术分析

机械加工种类繁多、千变万化, 但两个重要元素——零件与工艺方法的本质没有改变。零件由毛坯形态^[2]、材质、结构、精度及批量等描述。工艺方法以装夹、切削、检测及设备性能等组成。通过建立基础技术模块, 获得迭代新技术能力。通过

初步分析归类,以零件毛坯的不同形状为对象,建立各种装夹方式。以六点定位原则、点线面平行夹持方法和装夹技术模块,对应材质、余量、形态、精度与加工技术的基本关系,形成平面、台阶、曲面、内腔、孔、相贯孔以及长径比>5的深孔等切削技术模块^[3]。

(1) 产量、设备与工艺结构的对应关系 依据零部件配套和科研任务流程大数据统计,以设备性能、加工方法、零件结构和材料材质等要素分类生产的工作方法,获得产量、设备与工艺结构的对应关系(见图2)。

(2) 零件批量与周期的对应关系 依据航空救

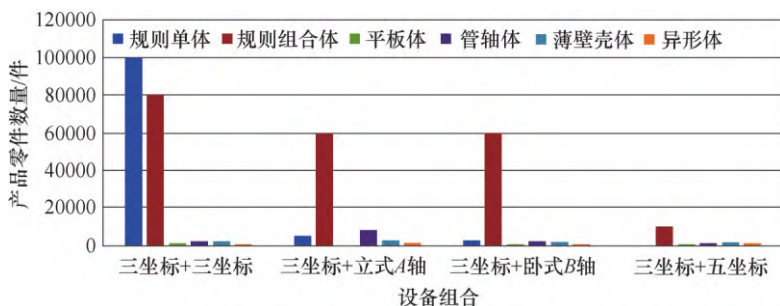


图2 设备功能与产量的对应关系

生产品零件的批量、周期、材料结构、工艺路线和设备等各项大数据,归类统计各项技术指标。选取5种零件,结构由单一到复杂,难度由低到高,配套批量由多到少,生产周期翻倍,形成批量、周期对应关系(见图3)。

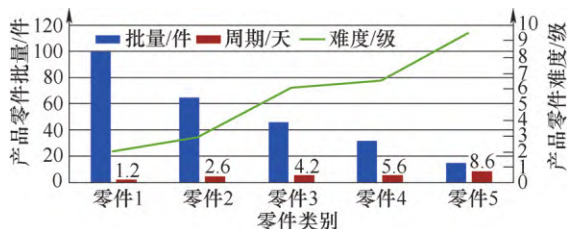


图3 批量、周期和零件难度对应关系

4 方案与实施

工艺方法→生产秩序→生产周期和产品质量→生产成本和经营效益,形成航空救生产品分组加工的基本框架。减少换型频次,统一工艺方法,规范专业技能,才能实现科学高效生产。材质与结构决定工艺路线、设备,是零件分组考量的充分条件,小批次积累的批量和周期是建立技术模块的必要基础。运用技术模块化方法分析千万种工艺路径,简化为几种、十几种,最多几十种,实现零件成组化规模制造。完善零件分组与技术准备、数控加工、计划排产、生产组织的对应关系,实现技术模式和管理方式融合创新。

(1) 零件的结构分组方法 分析多年来型号滚动生产的技术和运行大数据,零件的结构分组^[4]方

法如下。

1) 特种材质结构和加工周期分组包括:镁合金分组(专项材质)和模锻3D打印分组(异形类),建立夹具、刀具设备组合的专业方法。

2) 型号、批量和结构分组包括:板轨分组(尺寸≥400mm)、管轴分组(A轴回转)、管嘴接头分组(火工管路)。

3) 平行通用分组(通行类),定位夹持的点、线、面之间建立对应平行关系,可归一类。

镁合金分组有16项零件,批量10~50件,其加工周期满足W形座椅的装配需要。模锻铸造3D打印分组有51项零件,单项批量50件,加工周期15~40天/项。

管轴结构分组,随着设计型号增多,目前有400多项长轴回转零件,功能件、异形件多,还有较多零件在开发。

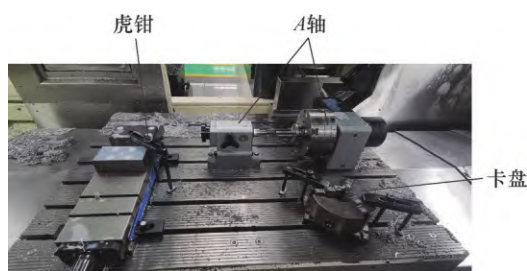
管嘴接头结构分组共有14种型号400多项,包括二通、三通、四通和五通等。耐蚀材质斜孔、深孔和相贯孔多,球头、半球头相贯外形,应专业研究该结构的高效工艺方法。

板轨结构分组目前有62项零件属于大尺寸平板、滑轨类零件,批量10~90件,周期7~30天,涉及安全、夹具及专业工艺。

平行结构分组涉及几万项,技术按周期和批量推动。由虎钳、卡盘、拼装及现制夹具组成,点、线、面平行的规则体为特征。

(2) 管轴结构分组创新试验 数控铣削工段依据型号交付计划进行管轴结构类零件排产^[5]。

针对现有设备产能不足的状况，匹配计划所需相关要素，采取措施：①提前安排人员准备方案、程序、辅具和刀具。②对多项零件通用的刀具、夹具和工具等进行配套和维护保养。③对穿插项目的生产，机台预置多个工装位，进行随机换型高效生产。管轴结构加工分组设备及零件如图4所示。



a) A轴、虎钳、卡盘及拼装夹具多工位图



b) 零件典型特征展示

图4 管轴结构加工分组设备及零件

数控铣削工段由6台A轴设备、9名操作人员、1名编程人员、1名工艺人员和1名计划管理人员组成管轴结构加工专业组，在计划、技术和器具准备到位时，开展数控加工技术模块化探索，因地制宜完善工作方法。

(3) MES系统数据统计 调取MES系统2018年1月~2023年8月技术攻关情况相关数据如图5所示，科研完成情况如图6所示。经过技术与流程的持续创新，科研节点完成率由2018年的48%提升到2023年的95.2%，技术难点攻克率由2021年的71.134%提升到2023年的92.308%。数据表明，零件成组化、数控加工技术模块化的创新方向是正确的，进一步增强了科研试制零件实现规律制造的能力。

以设备出产为重点，一线有人负责，技术专业对口，质检对应把关，计调细化节拍，管理全面掌

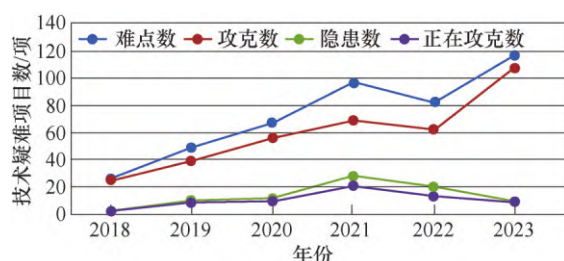


图5 MES系统技术攻关情况

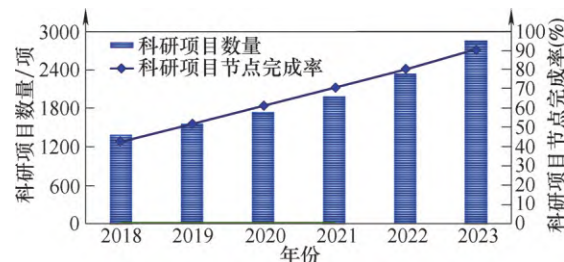


图6 科研完成情况

控，建立专业团队技术工作方法和运行机制：①1个生产小单元包括2~3台设备、3名操作人员，其中1人负责。②3~5个生产小单元承担1个结构分组，由1名工艺员、2名程序员负责技术。③1个结构分组的质量工作由1~2名质检员负责。④1名计划员、1名管理员负责1个专业团队的全面管理。

(4) 产品生产周期与各项技术的函数关系分析 归类统计航空救生产品各项技术指标，要素纷繁复杂，生产周期是成本的核心表达值，形成批量周期对应函数关系。生产周期与技术技能函数公式为

$$W = (xn + hi) / kmgj$$

式中， W 为产品生产周期(h)，出产零件的总消耗时间； x 为固有批量(件)，产品零件的总件数； n 为固有周期(h)，加工单件产品的消耗时间； h 为换型时间(h)，不同产品零件岗位更换加工方式的时间； i 为换型频次(次)，交付期内换型次数； k 为材质系数， $k=0\sim 1$ ，0为不可加工材质，1为7075铝合金； m 为结构系数， $m=0\sim 1$ ，0为不可加工结构，1为通用结构； g 为工艺系数， $g=0\sim 1$ ，0为无工艺方法，1为通用方法； j 为技能系数， $j=0\sim 1$ ，0为无专业技能，1为高专业技能。

5 结束语

本文针对航空救生产品的生产特点，优化数控铣削加工方案，推出分组加工和模块化制造技术，实现合并归类和规模生产。小批量产品种类繁

反射板精密加工关键技术与质量控制

瞿凌, 许业林, 白海峰

中国电子科技集团公司第三十八研究所 安徽合肥 230088

摘要: 以某中型反射板为例, 针对其尺寸大、壁薄、结构复杂及精度要求高的特点, 提出精密加工技术及质量控制方法, 保证了零件的相关设计要求。

关键词: 反射板零件; 数控精密加工; 关键技术; 质量控制

1 序言

反射板作为天馈线的结构载体, 在结构与工艺设计时, 除必须满足电性能指标外, 还要考虑质量、体积、安装、运输和维修要求^[1]。图1所示反射板零件材料为5A06铝合金, 外形尺寸为10mm×2964mm×883.2mm, 尺寸较大。内部有数量较多的减轻腔及连接器安装孔位, 加工特征多。设计尺寸精度、几何公差要求高, 属于较典型的中

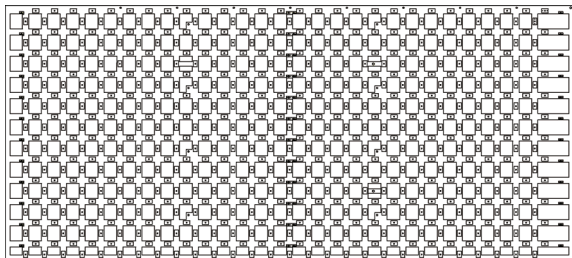


图1 反射板零件外形

大型、低刚性薄壁加工件。多, 机械加工千变万化, 我们要用技术和开发方法提升管理结构效能, 用管理和科学思维厘清技术脉络。技术方法同类同化, 零散批次与生产周期合并累加。通过周期技术关系公式, 提升零件成组化水平, 充实技术模块化内涵。通过专业结构工艺流程获得规范的生产路线, 实现整体匹配、规律生产, 形成一套完整的微小批量零件分组加工技术, 在设计、工艺、操作和物流等细节上精益求精, 全面提升技术和管理水平。

参考文献:

[1] 李福生. 数控机床技术手册[M]. 北京: 北京出版

社, 1996.

2 技术要求及控制难点

数控铣削加工具有高精度、高效率 and 低成本等优势^[2], 能实现不同材料、一定复杂结构零件的加工, 尺寸精度可达微米级(铣削公差等级可达IT7级), 表面粗糙度值 $Ra < 0.1\mu m$ ^[3]。反射板适合在大型数控机床上整体加工成形, 重点是保证各个安装接口的几何精度和加工后整体平面度满足设计要求^[4]。加工过程主要控制难点包括以下几个方面。

(1) 低刚性零件的生产过程变形影响 该中型反射板零件幅面超过 $2.6m^2$, 零件厚度仅10mm, 刚性非常差, 而整个加工过程需多次翻转, 且需要转场进行电镀、装配等多道工序, 在中转及存储过程中极易产生变形。

(2) 薄壁零件加工应力变形控制 零件平面度

- [2] 杨叔子. 机械加工工艺师手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [3] 陈宏钧. 实用机械加工工艺手册[M]. 北京: 机械工业出版社, 2009.
- [4] 余光国, 马俊, 张兴发. 机床夹具设计[M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1995.
- [5] (美) 迈克尔·L·乔治. 精益6西格玛[M]. 方海萍, 魏青江, 译. 北京: 机械工业出版社, 2005.

MW 20240605