

## 提高挖掘机结构件加工效率的工艺方法研究

李远超 陈特 刘训令

徐州徐工挖掘机械有限公司, 江苏 徐州 221000

[摘要]随着挖掘机产品在国内市场销量的逐步扩大, 挖掘机生产制造成本也越来越多地引起企业广泛关注, 其中挖掘机结构件生产效率对生产制造成本影响较大。本人在挖掘机结构件实际生产制造过程中, 通过实施提高挖掘机结构件效率的工艺方法研究, 系统分析、总结出挖掘机结构件加工效率提升的宝贵经验, 希望可以给大家带来有益的收获。

[关键词] 制造成本; 生产效率; 加工

DOI: 10.33142/sca.v5i1.5545

中图分类号: TG506

文献标识码: A

### Research on Process Method of Improving Machining Efficiency of Excavator Structural Parts

LI Yuanchao, CHEN Te, LIU Xunling

Xuzhou XCMG Excavation Machinery Co., Ltd., Xuzhou, Jiangsu, 221000, China

**Abstract:** With the gradual expansion of the sales volume of excavator products in the domestic market, the production and manufacturing cost of excavator has attracted more and more attention of enterprises. Among them, the production efficiency of excavator structural parts has a great impact on the production and manufacturing cost. In the actual manufacturing process of excavator structural parts, I have carried out the research on the methods of improving the efficiency of excavator structural parts, and systematically analyzed and summed up the valuable experience of improving the efficiency of excavator structural parts, hoping to bring beneficial results to everyone.

**Keywords:** manufacturing cost; production efficiency; machining

#### 引言

近几年挖掘机行业的高速发展、持续走热, 挖掘机市场竞争越发激烈, 挖掘机生产产能和成本问题已成为制约企业攻城略地的关键因素, 也是每个挖机企业发展的关键因素。为了在行业的高热期迅速有效的抢占市场, 如何在压降成本的同时提高结构件生产效率, 是每个企业的永恒的追求。

本文聚焦挖掘机结构件加工效率提升存在的瓶颈难题, 通过开展提升挖掘机结构件加工效率的工艺方法研究, 挖掘制约加工效率提升的关键因素, 突破大进给铣削、螺旋孔高速加工及高效精准装夹等多项核心关键技术, 进一步提升挖掘机结构件加工效率, 减少设备需求数量, 降低生产制造成本。

#### 1 应用大进给铣削工艺, 提升铣面效率

挖掘机转台主体回转支承安装面一直采用标准规格的面铣刀进行加工, 受刀具性能影响, 标准面铣刀铣面参数设置低, 刀具切削性能和加工中心性能不匹配, 未能充分发挥加工中心高速加工性能, 无法满足回转支承安装面大进给铣削需求, 影响转台主体铣面效率。

调研知名刀具品牌高进给铣削刀具产品原理及优缺点, 综合评估各类产品技术特点、应用领域等指标, 选取最优试用品牌刀具, 设计基于加工设备、数控刀具及工装夹具的切削参数正交试验, 测试高进给铣刀在挖机转台主体回转支承安装面加工中的应用, 确定最优刀具类型, 在保证加工质量的前提下, 反复优化刀具切削参数, 最终实现回转支承安装面大进给铣削加工。

高进给铣刀的应用实现了转台主体回转支承安装面的高速稳定加工, 表 1 是  $\Phi 100$  铣刀试验对比结果, 从表中可知, 转台主体回转支承安装面铣面效率提升 70%, 铣面时间由 10 分钟缩短至 3 分钟。

#### 2 设计非标高速刀具, 提升反铣面效率

挖掘机转台主体采用卧式镗铣加工中心一次装夹完成全部工序的加工, 转台主体减速机安装面通常采用正铣的加工方式, 受转台主体加工工装安装位置和加工中心工作台尺寸影响, 加工中心主轴需伸出至工作台中心, 导致铣面过程中刚性不足, 切削参数设置偏低, 影响转台主体减速机安装面的铣面效率。

依据挖掘机转台主体加工尺寸、工件材质及工装刚度

表 1  $\Phi 100$  铣刀试验对比结果

类别	加工工序	切削宽度 (mm)	切削深度 (mm)	主轴转速 (r/min)	进给速度 (mm/min)	加工时间 (min)	备注
改进前	铣面	$\Phi 100$	2	650	1000	10	加工效率提高 70%
改进后	铣面	$\Phi 100$	2	800	3000	3	

**表 2 转台主体减速机铣面试验对比结果**

类别	加工工序	切削宽度 (mm)	切削深度 (mm)	主轴转速 (r/min)	进给速度 (mm/min)	加工时间 (min)	备注
面铣	正铣	55	3	800	350	12	加工效率提高 42%
反铣	反铣	55	3	300	480	7	

**表 3 M20 丝锥试验对比结果**

类别	加工工序	螺纹孔 (个)	切削深度 (mm)	主轴转速 (r/min)	加工时间 (S)	备注
改进前	攻丝	13	90	150	365	加工效率提高 24%
改进后	攻丝	13	90	250	221	

**表 4  $\phi 80$  粗镗刀试验对比结果**

类别	加工工序	加工余量 (mm)	切削深度 (mm)	主轴转速 S(r/min)	进给速度 F(mm/min)	加工时间 (min)	备注
改进前	镗孔	3	200	400	120	2	加工效率提高 25%
改进后	镗孔	3	200	500	180	1.5	

等, 自主设计非标高速反铣面刀具, 通过系统分析刀片形式和角度对铣面效率的影响, 定制最优铣削角度, 最大化提升铣面效率; 验证不同刀具材质对加工效率的影响, 选择刀具最优设计材料, 增强刀具整体刚性和切削稳定性; 采用仿真软件模拟不同刀片齿数切削阻力的情况, 验证出最佳刀片齿数, 最终实现转台主体减速机安装面的铣面效率大幅度提升。

非标高速反铣面刀具的创新设计, 替代传统标准面铣刀, 实现了转台主体减速机安装面的反向加工, 减少了加工中心主轴的伸出量, 消除了铣面过程的振动, 提升了转台主体减速机安装面的铣面效率。表 2 是转台主体减速机铣面试验对比结果, 从表可知, 转台主体减速机安装面铣面效率提升 42%, 铣面时间由 12 分钟缩减至 7 分钟。

#### 4 应用螺纹孔高速加工工艺, 提升螺纹孔加工效率

挖掘机转台主体减速机螺纹孔深度较深, 螺纹孔传统采用非标普通的加长丝锥进行加工, 受刀具材质和刀具长度的影响, 丝锥切削参数设置较低, 螺纹孔加工效率低; 受转台主体减速机螺纹孔深度影响, 切削丝锥切屑无法有效排出, 导致丝锥产生积屑瘤、崩刃现象, 严重影响螺纹孔加工效率和加工质量。

研究螺纹加工工艺与刀具技术优缺点, 开展涂层前排屑丝锥应用试验, 验证出最优涂层材质和切削角度, 反复优化加工参数, 提高加工效率和刀具寿命; 开展机床、刀具对攻丝效率影响的研究, 采用柔性攻丝程序加工螺纹孔, 替代传统刚性攻丝程序, 减少攻丝过程中的机床等待; 应用前排屑丝锥、挤压丝锥替代盲孔丝锥, 提升排屑的流畅度, 避免积屑瘤和崩刃的发生, 提升螺纹孔加工效率。

前排屑涂层丝锥、挤压丝锥的应用, 替代传统的盲孔丝锥, 实现了转台主体减速机螺纹孔的高效加工, 表 3 是 M20 丝锥试验对比结果, 从表中可知, 转台主体减速机螺纹孔加工效率提升 24%, 加工时间由 365 秒缩短至 221 秒。

#### 5 选用深孔防振镗刀, 提升镗孔效率

挖掘机转台主体铰点孔采用卧式加工中心和非标加长镗刀进行加工, 受刀具长度、工件刚度等因素影响, 铰

点孔粗加工过程中存在机械振动, 进而导致加工参数设置偏低, 严重影响转台主体铰点孔效率。

通过机床主轴实际输出最大功率计算主轴扭力, 建立主轴扭力与沿主轴方向切削力的数学模型, 并计算切削力近似均值; 应用有限元分析软件进行对装夹状态的工件进行静力学分析, 分析各模块在施加载荷作用下的变形情况, 找出薄弱环节; 分析原因并制定相应的改进措施, 削减薄弱环节的位移量, 直至机床主轴实际输出功率达到恒定数值, 最终实现机械加工振动的消减; 开展深孔防振镗刀应用试验, 应用防振镗刀替代传统加长型普通镗刀, 实现铰点孔高速稳定加工。

防振镗刀的应用有效减少了加工过程的振动, 实现了转台主体铰点孔的高效和高质量加工, 表 4 是  $\phi 80$  粗镗刀试验对比结果, 从表中可知, 转台主体铰点孔加工效率提升 25%, 加工时间由 2 分钟缩短至 1.5 分钟。

#### 6 应用大参数切削工艺, 提升加工效率

挖掘机结构件用数控刀具切削参数全部凭借操作人员经验和刀具厂家推荐进行设定, 镗孔、铣面、钻孔、攻丝等数控刀具切削参数设定偏保守, 未能充分发挥设备和刀具的最佳性能, 挖掘机结构件的加工效率还存在一定提升空间。

统计结构件加工部位材质和切削参数, 设计基于工件材质和加工参数的正交试验, 建立工件材质与加工参数的对应关系, 根据进给速度  $F=kzn$  ( $F$ -进给速度,  $k$ -系数,  $z$ -切削刃数,  $n$  刀具转速), 工件材质与切削参数的对应关系(见表 5、6), 通过大数据分析, 验证最优切削参数, 最大化发挥刀具性能, 提升加工效率, 并依据效果在各工序进行推广应用。

**表 5 Q345B 粗镗 K 系数与进给速度 F 对应表**

K 系数	F 进给速度 (mm/min)	Z 切削刃数	n 刀具转速 (r/min)
0.18	180	2	500
0.1	138	2	682
0.11	140	2	619

表 6 35# 精镗 K 系数与进给速度 F 对应表

K 系数	F 进给速度(mm/min)	Z 切削刃数	n 刀具转速
0.18	120	1	680
0.11	89	1	800
0.08	60	1	800

通过开展基于材料特性的切削参数工艺研究,依据工件材质选用最佳切削参数,最大化发挥刀具性能,进一步提升挖掘机结构件加工效率,表 7 是  $\phi 90$  精镗刀试验对比结果, $\phi 90$  精镗效率提升约 30%,镗孔时间由 50 秒缩减至 35 秒。

### 7 应用人机分离工艺,实现连续加工

挖掘机结构件动臂、斗杆、转台主体全部采用机械式加工工装进行装夹、找正,装夹、找正过程中需双人配合作业,且需停止机床运行,装夹、找正占用机床加工时间,导致工件加工不连续;结构件加工过程中需主操人员全程观察设备运行状态,未实现机床和操作人员的分离操作,严重影响挖掘机结构件的生产效率。

研究人机分离作业模式,通过观测、统计挖掘机结构件加工过程中各工序的作业时间,依据各工序重要度划定人机分离作业工序,重新分配各工序的作业时间,并划定镗孔、铣面工序为人机分离作业工序,确保镗孔、铣面工序加工过程无人值守,减少上件、装夹、找正、测量等操作导致机床停机,实现挖掘机结构件连续加工,大幅提升挖掘机结构件生产效率。

表 8 斗杆加工节拍试验对比结果

类别	加工节拍 (min)	备注
人机未分离	65	加工效率提高 31%
人机分离	45	

人机分离工艺技术的应用,将装夹、找正工序内作业转化为工序外作业,实现挖掘机结构件不间断连续加工,表 8 是斗杆加工节拍试验对比结果,从表可知,斗杆加工节拍减少了 20 分钟。

### 8 应用高效精准装夹工艺,提升装夹效率

挖掘机结构件动臂、斗杆、转台主体全部采用机械式加工工装,需 2 名操作人员配合完成工件的装夹、找正,过程中需操作人员反复调整加工工装压紧装置、顶紧装置及对中装置等,未实现结构件高效精准快速装夹,整个过程需 20-30 分钟,整个过程存在人员浪费现象,且作业效率低,操作人员劳动强度大。

通过开展结构件加工工装动力化升级改造,设计动臂、

斗杆、转台主体动力化加工工装,升级加工工装备换型方式,采用电机带动齿条替代人工推动底座的方式,实现不同机型的快速装夹,提升换型效率;升级结构件找正方式,用激光位移传感器自动调整耳板对称,替代人工控制调整,提高结构件找正效率;应用液压马达带动丝杠完成结构件自对中精确找正,替代人工手动操作旋转自对中装置,提高结构件找正效率;优化工件吊装、定位方式,实现结构件一键式自动定位、装夹,消除多人配合作业现象,结构件装夹只需一名操作人员,大幅度提升装夹效率,降低劳动强度,减少操作人员数量。

表 9 转台主体装夹时间对比结果

类别	装夹时间 (min)	备注
机械式工装	20	装夹效率提高 75%
液压式工装	5	

动力化加工工装的应用实现结构件一键式自动装夹,提升工件装夹效率,减少劳动强度,表 9 是对比结果,从表可知,转台主体装夹效率提升 75%,转台主体装夹时间减少了 15 分钟。

### 9 研究反变形工艺,缩减加工工序

挖掘机结构件动臂、斗杆、转台主体耳板焊后尺寸偏差较大,传统采用普通高速钢刀具进行刮面加工,保证耳板焊后内档尺寸,白钢刀刮面需操作者手摇主轴肉眼观测,刀具进给量小,生产过程中需不断测量加工尺寸,同时白钢刀损耗较大,过程中需频繁测量甚至修磨白钢刀,作业效率极低,严重影响结构件的加工效率和加工质量。

为消除内档面加工工序,系统统计结构件焊接变形量等数据,通过反变形工艺设计、优化焊接顺序等措施,控制焊接变形量,保证动臂、斗杆耳板内档距与对称度要求,实现挖掘机结构件内档面的免加工。针对挖掘机结构件动臂、斗杆、转台开展焊接模拟仿真,研究焊接变形规律与反变形控制方法;采用在机测量系统对挖掘机结构件进行在线变形量测量,得出实际焊接变形规律;采用反变形工艺手段控制挖掘机结构件焊接变形量,优化毛坯件加工预留量,提升挖掘机结构件加工效率。

表 10 转台主体铰点孔内档面加工对比结果

类别	加工工序	加工时间 (min)
改进前	刮面	30
改进后	/	0

反变形技术的应用有效保证了挖掘机结构件耳板内

表 7  $\phi 90$  精镗刀试验对比结果

类别	加工工序	加工余量 (mm)	切削深度 (mm)	主轴转速 (r/min)	进给速度(mm/min)	加工时间 (S)	备注
参数优化前	精镗孔	0.25	90	800	140	50	加工效率提高 30%
参数优化后	精镗孔	0.25	90	900	180	35	

档尺寸精度,实现了挖掘机结构件耳板内端面的免加工,大幅提升了挖掘机结构件加工效率,表10是转台主体铰点孔内档面加工对比结果,从表可知,转台主体内档面加工时间减少了30分钟。

### 10 总结

通过分析影响挖掘机转台主体加工效率的瓶颈因素,从加工工艺装备和数控刀具两个方面进行技术攻关,攻克了高进给铣削工艺、螺纹孔高速加工工艺、大参数切削工艺、人机分离工艺、高效精准装夹工艺及反变形工艺等,打造专有的核心技术优势,实现挖掘机结构件加工效率进

一步提升,挖掘机结构件综合加工效率提升20%,加工效率达到国内领先水平。

### [参考文献]

- [1] 蒋伟洁,彭顺金,徐杰,等. 挖掘机结构件预涂工艺研究[J]. 涂料工业,2015,45(3):4.
  - [2] 袁耀熙. 提高液压挖掘机结构件质量的几项工艺措施[J]. 工程机械,1988(8):48-50.
- 作者简介:李远超(1988.1-),职称:中级工程师;陈特(1993.5-),职称:助理工程师;刘训令(1993.12-),职称:助理工程师。