

32J41W40 valve body process and fixed shaft relative swing type intelligent fixture design

Ziteng Guo

Hebei Science and Technology Engineering Vocational and Technical University, Xingtai, Hebei, 054002, China

Abstract

This study focuses on the design of 32J41W40 valve body processing process and fixed shaft. After a thorough analysis of the valve body structure and technical requirements, plan the processing route covering materials and multiple processes, and detail the key process points. The innovatively designed intelligent fixture, based on the relative swing principle of the fixed axis, integrates intelligent sensing, advanced hydraulic pressure and precise control technology to realize the efficient and intelligent positioning and clamping of the valve body. Through simulation and actual processing verification, it effectively improves the processing accuracy and efficiency, provides key support for the intelligent upgrade of valve body manufacturing, and is of great significance to promote the intelligent development in the field of mechanical processing.

Keywords

valve body processing; intelligent fixture; relative swing; optimization of processing technology; intelligent manufacturing

32J41W40 阀体加工工艺及定轴相对摆动式智能分中夹具设计

郭子腾

河北科技工程职业技术大学, 中国 · 河北 邢台 054002

摘 要

本研究聚焦32J41W40阀体加工工艺与定轴相对摆动式智能分中夹具设计。深入剖析阀体结构及技术要求后, 规划出涵盖材料、多工序的加工工艺路线, 并详述关键工序要点。创新设计的智能夹具, 基于定轴相对摆动原理, 融合智能传感、先进液压与精准控制技术, 实现对阀体的高效智能定位夹紧。经模拟仿真与实际加工验证, 有效提升了加工精度与效率, 为阀体制造智能化升级提供关键支撑, 对推动机械加工领域智能发展具有重要意义。

关键词

阀体加工; 智能分中夹具; 定轴相对摆动; 加工工艺优化; 智能制造

1 引言

在现代工业的复杂体系中, 阀体作为流体控制系统的核心部件, 其加工精度与质量对系统性能起着决定性作用。随着智能制造技术的迅猛发展, 传统加工工艺及夹具在精度、效率和适应性方面渐显不足。因此, 研发适配的先进加工工艺与智能夹具成为提升阀体制造水平的关键路径, 对保障工业生产的高效稳定运行具有深远意义。

2 32J41W40 阀体结构剖析与技术指标体系

2.1 阀体结构复杂性解析

32J41W40 阀体呈现出高度复杂的结构特征, 其外部轮廓由多段不同曲率的圆柱面与平面交错构成, 内部则包含精

细的腔体结构、错综复杂的通道网络以及高精度的连接法兰^[1-2]。关键流道孔径精度要求严苛, 其公差控制在极小范围, 通道壁面需达到特定的粗糙度标准, 以确保流体传输的稳定性和密封性, 各部分间的相对位置关系精确, 任何细微偏差都可能影响阀体整体性能^[3]。

2.2 技术要求

阀体核心尺寸如孔径、法兰厚度及中心距等, 加工公差被严格限定在 $\pm 0.03\text{mm}$ 以内, 部分关键部位甚至要求达到 $\pm 0.01\text{mm}$, 这对加工设备的精度和工艺稳定性提出了极高要求, 需借助高精度数控加工中心及精密测量仪器来保障。圆柱面的圆度需精准控制在 0.003mm 以内, 平面的平面度要求不超过 0.008 , 以此确保阀体与配套部件的紧密贴合与有效密封, 在机械加工过程中需采用先进的磨削、精铣等工艺来实现。各腔体、通道相对于安装基准面的垂直度和平行度分别被要求控制在 0.015mm 和 0.02mm 以内, 这要求

【作者简介】郭子腾(2003-), 男, 中国河北保定人, 本科, 从事夹具设计研究。

在加工过程中严格保证定位基准的准确性和加工工序的精度传递，通过高精度的夹具和精确的数控编程来达成。流道内壁及密封面表面粗糙度必须达到 $Ra0.4-Ra1.2\mu m^{[4]}$ ，以满足流体动力学性能和密封性能要求，需选用合适的刀具、切削参数及精细的加工工艺，如高速铣削、精密镗削结合先进的切削液技术来实现。

3 阀体加工工艺路线规划与关键工序解析

3.1 加工工艺路线系统性设计

加工工艺路线包括粗加工阶段策略^[5]、半精加工阶段规划^[6]以及精加工阶段要点^[7]。

粗加工阶段策略是运用大功率数控车床对阀体毛坯实施粗车加工，以较大切削深度（4 - 6mm）和进给量（0.4 - 0.6mm/r）快速去除大量余量，切削速度依据材料特性和刀具耐用度设定在 120 - 180m/min。半精加工阶段规划是在加工中心上开展铣削、钻孔等半精加工工序，采用中等切削参数，铣削平面时切削深度 0.8 - 1.2mm、进给量 0.15-0.25mm/z、切削速度 100 - 150m/min，钻孔时依孔径选用适配钻头并优化切削参数，为精加工预留 0.3 - 0.6mm 均匀余量，磨削外圆柱面时，磨削深度 0.008 - 0.02mm、进给 0.03-0.08mm/r、切削速度 25-40m/min；镗削内孔时，切削速度 50-70m/min、进给量 0.03 - 0.07mm/r，确保达到设计要求的各项精度指标与表面质量。

3.2 刀具切削力与阀体变形的关系

在复杂型腔加工中，刀具切削力与阀体变形之间根据材料力学中的弹性力学理论，对于一个受到外力作用的弹性体（阀体），其变形量可以通过应力 - 应变关系来计算。假设刀具切削力为 F ，作用在阀体的局部区域上，该区域的等效受力面积为 A ，则该区域所受的应力 $\sigma = F/A$ 。根据胡克定律，在弹性范围内，应力 ε 与应变之间存在线性关系 $\sigma = E\varepsilon$ ，其中 E 为阀体材料的弹性模量。

对于复杂形状的阀体，其变形情况需要通过有限元方法进行分析。在有限元模型中，将阀体离散为多个小单元，每个单元的变形可以通过节点位移来描述。根据虚功原理，外力在虚位移上所做的功等于弹性体内应力在虚应变上所做的功。对于一个单元 e ，其节点位移向量为 μ^e ，节点力向量为 F^e ，则有：

$$F^e = \int_{V^e} B^T \sigma dV$$

其中 B 为应变 - 唯一矩阵， V^e 为单元体积。通过对所有单元进行组装，可以得到整个阀体的平衡方程： $KU=F$ 。其中 K 为总体刚度矩阵， U 为总体节点位移向量， F 为总体节点力向量（包括刀具切削力等外部载荷）。通过求解这个方程，可以得到阀体在刀具切削力作用下的节点位移，评估其变形情况。如果变形超差，则需要调整刀具路径规划和切削参数，以减小切削力或改变切削力的作用方式，从而控制阀体变形。采用双刀镗削技术提升加工效率与孔的直线度，

同时选用高性能切削液，以其卓越的润滑、冷却和排屑性能降低切削温度与刀具磨损，保障内孔尺寸精度、形状精度和表面粗糙度^[8-9]。平面超精铣削技术则指在加工阀体连接平面时，选用高精密切削刀具，依据平面尺寸和精度要求精准确定刀具直径与齿数。采用高速顺铣工艺结合先进的刀具路径规划算法，确保平面的平面度及与其他表面精确位置关系，通过在线测量与补偿技术实时监控并修正加工误差。

4 定轴相对摆动式智能分中夹具创新设计

4.1 智能夹具定位精度优化分析

在智能夹具的定位过程中，假设夹具的理想定位位置为 x_0 ，实际定位位置为 x ，定位误差为 $\Delta x = x - x_0$ 。夹具的定位精度受到多种因素的影响，包括传感器测量误差 Δs 、控制系统的算法误差 Δc 、液压系统的驱动误差 Δh 等。根据误差合成理论，总的定位误差可以表示为：

$$\Delta x = \sqrt{\Delta s^2 + \Delta c^2 + \Delta h^2}$$

对于传感器测量误差，假设传感器的测量精度为 $\pm \delta_s$ ，则 Δs 在 $[-\delta_s, \delta_s]$ 范围内。控制系统的算法误差可能与算法的计算精度、控制参数的设置等因素有关。在一个基于 PID 控制的系统中，控制输出为：

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

其中 $e(t)$ 为误差信号， K_p 、 K_i 、 K_d 分别为比例、积分、微分系数。如果这些系数设置不合理，可能会导致系统的超调或响应滞后，产生算法误差 Δc 。

液压系统的驱动误差可能与液压油的压力波动、油缸的摩擦力等因素有关。假设液压系统的压力波动范围为 $\pm \Delta p$ ，油缸的摩擦力为 F_f ，油缸的有效面积为 A_h ，则液压系统的驱动误差 Δh 可以表示为：

$$\Delta h = \frac{F_f}{A_h} + \frac{\Delta p A_h}{k}$$

其中 k 为液压系统的刚度系数。为了提高夹具的定位精度，需要对上述各个误差源进行分析和优化。选择精度更高的传感器以减小 Δs ，通过优化 PID 控制器的参数或采用更先进的控制算法来减小 Δc ，改善液压系统的设计和维护以减小 Δh 。

定轴相对摆动式智能分中夹具的核心设计理念是液压驱动与智能传感反馈的协同作用，实现对阀体的自适应精准定位与夹紧。通过安装在夹具体上的高精度液压油缸驱动特制 V 形单体绕固定销轴灵活摆动，借助智能传感器实时监测阀体的外圆尺寸变化，并将数据即时传输至控制系统^[10]。控制系统依据预设算法迅速处理数据，精准控制液压油缸的动作，动态调整 V 形块的开口尺寸，确保阀体轴心线始终精确位于 V 形面的对称中心平面上。有效消除因阀体直径公差及加工过程中的尺寸波动所引发的定位误差，极大提升定位精度与稳定性，根据上述理论知识，使用 matlab 仿真实验结果如图 4-1、图 4-2 所示。

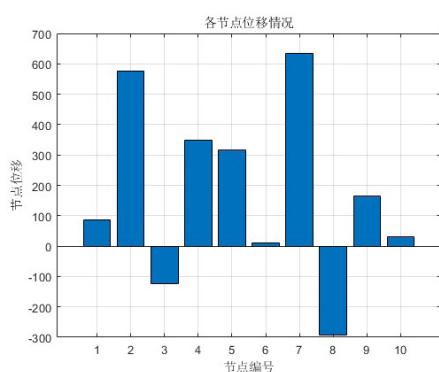


图 4-1 智能夹具各节点位移情况图

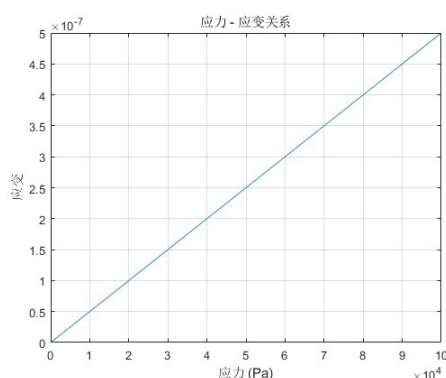


图 4-2 智能夹具应力-应变关系图

4.2 结构设计创新

夹具体采用高强度合金钢和特殊热处理工艺，具备卓越的刚性和抗变形能力，且结构设计注重模块化和轻量化，便于安装与更换部件。V形单体选用耐磨合金材料，通过表面处理提升硬度与耐磨性，并且采用精密的连接和自清洁橡胶隔尘条保持精度与清洁。液压系统由高性能液压油缸、智能液压泵、比例控制阀组等组成，能够精确控制液压动作，并通过传感器监控系统运行，确保液压系统的安全与稳定运行。

4.3 复杂曲面加工刀具路径规划

将刀具路径表示为一个染色体（编码），可以用一系列的控制点坐标或路径段参数来表示。假设刀具路径的编码为 $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ ，其中 x_i 为路径的某个参数或控制点坐标。定义一个适应度函数 $f(x)$ ，该函数用于评估刀具路径的优劣。适应度函数可以考虑加工表面的粗糙度、加工效率、刀具磨损等因素。对于一个给定的刀具路径编码 X ，通过模拟刀具在该路径上的加工过程，计算出相应的表面粗糙度 $Ra(x)$ 、加工时间 $T(x)$ 和刀具磨损量 $W(x)$ 等指标，然后根据一定的权重组合得到适应度函数值：

$$f(x) = \alpha \frac{1}{Ra(x)} + \beta \frac{1}{T(x)} + \gamma \frac{1}{W(x)}$$

其中 α 、 β 、 γ 为权重系数。然后，通过遗传操作（选择、交叉、变异）来生成新的刀具路径种群。选择操作根据

个体的适应度值，选择适应度高的个体进入下一代种群；交叉操作将两个父代个体的部分基因进行交换，生成新的子代个体；变异操作对个体的某些基因进行随机改变，增加种群的多样性。经过多代的遗传进化，种群中的个体（刀具路径）不断优化，最终得到适应度最高的刀具路径，即最优的刀具路径规划方案。神经网络算法在刀具路径规划中的应用原理类似，通过构建一个神经网络模型，将加工过程中的各种参数（如工件形状、刀具参数、加工工艺参数等）作为输入，刀具路径作为输出，利用大量的样本数据对神经网络进行训练，使其能够学习到刀具路径与各种参数之间的映射关系，从而根据实时的加工状态预测和生成最优的刀具路径。

5 结论与展望

通过深入研究与创新设计 32J41W40 阀体加工工艺及定轴相对摆动式智能分中夹具，成功提升了加工精度与效率，解决了传统加工方式中的诸多难题，为阀体制造行业的智能化升级提供了有效技术方案和实践经验，对机械加工领域的智能制造转型具有重要示范意义。随着人工智能、大数据、物联网等技术的融合，阀体加工工艺和智能夹具设计将迎来更多创新机遇。大数据可实现加工参数的智能优化，物联网技术能构建智能加工车间，人工智能将推动智能决策系统的开发，进一步提升阀体制造的智能化水平，满足高端制造需求，推动机械制造行业的发展。

参考文献

- [1] 王金凤,孙灏,孙伟,等.一种专用阀体零件的数控加工工艺设计[J].中国科技信息,2023,(10):74-77+81.
- [2] 乐宇,丁观琪.典型阀门阀体零件机械加工工艺规程分析[J].今日制造与升级,2022,(05):98-100.
- [3] Dhulia J K, Maniar N P. Design and development of hydraulic fixture for multiple mechanical operations with hydraulic clamping system[C]//AIP Conference Proceedings. AIP Publishing, 2023, 2821(1).
- [4] 杨明霞,师超红,李森源.液控阀阀体加工工艺分析及夹具设计[J].机电工程技术,2020,49(08):207-208+225.
- [5] 杨清华.一种阀体的加工工艺分析和夹具设计[J].科学技术创新,2020,(17):165-166.
- [6] 林毅珊.新型智能机械夹具的设计与验证[J].中国机械,2024,(25):48-51.
- [7] 张政.智能技术在工装夹具设计与制造中的应用[J].电子技术,2024,53(07):83-85.
- [8] Zhang G Z, Zhou Y Z. Fixture Planning of Valve-Body Part Based on Machining Capability of NC Machining Center[J]. Advanced Materials Research, 2013, 753: 1365-1368.
- [9] 赵利平.基于夹具智能设计技术的机床夹具库的研究与开发[J].中国新通信,2021,23(20):134-135.
- [10] 齐彦,汪韬,康西英.一种生产线用缸体夹具的设计与实现[J].制造技术与机床,2021,(10):128-132+139.