

# 探析机械加工中的工装夹具定位设计

汤业超 王小会 朱子龙

中航西安飞机工业集团股份有限公司 陕西 西安 710089

**摘要:** 本文深入探讨了机械加工中的工装夹具定位设计。首先阐述了工装夹具在机械加工中的重要地位与作用,接着详细分析了工装夹具定位设计的基本原则,常见的工装夹具定位方式及各自的特点、适用范围以及定位元件的选择与设计要点。旨在为机械加工领域的工装夹具设计提供全面、深入的理论依据与实践指导,以提升机械加工的质量与效率。

**关键词:** 机械加工; 工装夹具; 定位设计; 加工精度

引言: 机械加工是制造业的核心环节之一,其加工质量和效率直接影响到产品的性能和市场竞争力。在机械加工过程中,工装夹具起着至关重要的作用,它能够准确地定位和夹紧工件,确保工件在加工过程中相对于刀具和机床的正确位置,从而实现规定的加工精度和表面质量要求。其中,工装夹具的定位设计是工装夹具设计的关键内容,合理的定位设计能够有效减少加工误差,提高加工的一致性和稳定性,降低生产成本,提高生产效率。因此,深入探析机械加工中的工装夹具定位设计具有极为重要的理论和实践意义。

## 1 工装夹具在机械加工中的作用

### 1.1 保证加工精度

工装夹具通过精确的定位元件,能够将工件限定在规定的位置上,使工件在加工过程中的位置误差控制在极小范围内。例如,在铣削平面时,通过夹具将工件的底面和侧面精确定位,可以保证铣削出的平面与设计基准平面的平行度和垂直度要求。

### 1.2 提高生产效率

使用工装夹具可以快速地装卸工件,减少工件的安装和调整时间。而且,由于夹具能够保证工件的正确定位,减少了加工过程中的试切和测量次数,使机床能够连续地进行加工,从而显著提高了生产效率。例如,在自动化生产线上,专用工装夹具能够实现工件的快速定位和夹紧,配合自动化加工设备,大大提高了生产线的节拍。

### 1.3 扩大机床的工艺范围

一些特殊的工装夹具可以使机床完成原本不能进行的加工工艺。例如,通过设计专用的回转夹具,可以在普通铣床上进行圆周分度加工,使普通铣床具备了类似分度头的功能,拓宽了机床的应用领域。

### 1.4 减轻工人劳动强度

工装夹具能够方便地将工件固定在合适的位置,工人无需花费大量精力去调整工件的位置和夹紧力。尤其是在加工大型或重型工件时,工装夹具的使用可以大大减轻工人的劳动强度,同时也提高了操作的安全性<sup>[1]</sup>。

## 2 工装夹具定位设计的基本原则

### 2.1 六点定位原理

六点定位原理是工装夹具定位设计的基础理论。任何一个刚体在空间中都具有六个自由度,即沿三个坐标轴的平移自由度(X、Y、Z)和绕三个坐标轴的旋转自由度( $\theta X$ 、 $\theta Y$ 、 $\theta Z$ )。在工装夹具设计中,通过合理布置六个定位支承点,可以限制工件的六个自由度,从而实现工件的完全定位。例如,对于一个长方体工件,可以在其底面布置三个不共线的支承点限制Z向平移自由度和 $\theta X$ 、 $\theta Y$ 旋转自由度,在侧面布置两个支承点限制X向平移自由度和 $\theta Z$ 旋转自由度,在端面布置一个支承点限制Y向平移自由度。

### 2.2 六点定位原理的应用注意事项

(1) 定位支承点的布置应合理。定位支承点应根据工件的形状、尺寸和加工要求进行布置,避免出现过定位或欠定位现象。过定位是指工件的某个自由度被重复限制,可能导致工件变形或定位不准确;欠定位则是指工件的某些自由度未被限制,无法保证加工精度。例如,在加工轴类零件时,如果在轴的两端同时采用顶尖定位,且顶尖的轴向位置固定不变,就会出现过定位,因为轴的轴向自由度被重复限制,可能会使轴在加工过程中产生弯曲变形。(2) 定位支承点应具有足够的精度和刚性。定位支承点的精度直接影响工件的定位精度,因此定位元件应具有较高的制造精度和尺寸稳定性。同时,定位元件应具备足够的刚性,能够承受工件的重量和加工过程中的切削力,防止定位元件变形而影响定位精度。例如,在使用平面定位时,定位支承板应具有较

高的平面度和硬度,以保证工件底面的可靠定位。(3)定位与夹紧应协调配合。定位是确定工件的位置,夹紧是保持工件的位置不变。在工装夹具设计中,定位和夹紧应相互协调,夹紧力应作用在定位支承点所形成的稳定区域内,且不应破坏工件的定位精度<sup>[2]</sup>。

### 3 常见工装夹具定位方式

#### 3.1 平面定位

(1)定位元件。平面定位常用的定位元件有支承钉、支承板等。支承钉适用于工件以较小的平面定位,根据其头部形状可分为平头支承钉、球头支承钉和齿纹头支承钉。平头支承钉用于已加工平面的定位,球头支承钉用于未加工平面的定位,齿纹头支承钉可增大摩擦力,防止工件滑动。支承板则适用于较大平面的定位,分为平板式支承板和斜槽式支承板,平板式支承板结构简单,斜槽式支承板有利于排屑。(2)定位误差分析。平面定位的定位误差主要来源于定位平面本身的平面度误差以及工件定位平面与定位元件之间的间隙。当定位平面存在平面度误差时,会导致工件在定位时产生倾斜或平移,从而影响加工精度。例如,在铣削平面时,如果工件的定位平面不平整,铣削出的平面与设计平面之间就会出现平行度误差。为了减少平面定位误差,应提高定位平面的加工精度,并合理选择定位元件的类型和尺寸,保证定位元件与工件定位平面之间的良好接触。

#### 3.2 圆柱面定位

(1)定位元件。圆柱面定位常用的定位元件有V形块、定位套等。V形块是应用最广泛的圆柱面定位元件,它能够自动对中,无论圆柱面的直径大小如何变化,都能保证工件的轴线始终位于V形块的对称平面内。V形块根据其结构可分为固定式V形块和活动式V形块,固定式V形块用于定位精度要求较高的场合,活动式V形块则常用于工件的侧面定位或作为辅助定位元件。定位套则是通过内孔与工件的圆柱面配合来实现定位,定位套的内孔尺寸精度要求较高,一般采用H7/h6或H7/g6的配合。

(2)定位误差分析。圆柱面定位的定位误差主要与V形块的夹角、定位套的内孔尺寸精度以及工件圆柱面的尺寸公差有关。对于V形块定位,当工件圆柱面的直径存在公差时,会导致工件在V形块中的定位位置发生变化,从而产生定位误差。例如,在磨削外圆柱面时,如果工件在V形块中的定位不准确,磨削出的圆柱面直径精度和圆柱度就会受到影响。为了减少圆柱面定位误差,应根据工件的尺寸公差合理选择V形块的夹角,并提高定位套的内孔制造精度。

#### 3.3 圆孔定位

(1)定位元件。圆孔定位常用的定位元件有定位销、心轴等。定位销根据其结构可分为圆柱销、圆锥销和菱形销等。圆柱销主要用于圆孔的精确定位,其与工件圆孔的配合一般采用H7/r6或H7/n6的过盈配合或过渡配合;圆锥销则可用于圆孔的轴向定位,其锥度一般为1:50,圆锥销与工件圆孔的配合具有一定的自锁性;菱形销则主要用于一面两销定位方式中,作为防止工件转动的定位元件,其菱形结构可以补偿工件两圆孔中心距的公差。心轴则是用于套类零件的定位,分为圆柱心轴和锥度心轴,圆柱心轴与工件内孔的配合一般采用H7/h6或H7/g6的间隙配合或过渡配合,锥度心轴则依靠锥面的摩擦力来定位和夹紧工件。(2)定位误差分析。圆孔定位的定位误差主要与定位销或心轴的尺寸精度、形状精度以及工件圆孔的尺寸公差有关。例如,当定位销的直径存在制造误差时,会导致工件在定位销上的位置发生偏移,从而影响加工精度。在采用一面两销定位时,还需要考虑两销中心距的公差以及菱形销的补偿作用对定位误差的影响。为了减少圆孔定位误差,应提高定位销和心轴的制造精度,合理选择定位销与工件圆孔的配合公差,并正确设计一面两销定位方式中的销子尺寸和位置。

### 4 定位误差的分析与控制

#### 4.1 定位误差的产生原因

(1)基准不重合误差。基准不重合误差是指由于工件的定位基准与设计基准不重合而产生的误差。在机械加工中,加工尺寸的计算通常是以设计基准为依据的,如果定位基准与设计基准不一致,就需要进行尺寸换算,而尺寸换算过程中可能会引入误差。例如,在加工一个轴类零件时,设计要求轴的某一外圆表面与轴的中心轴线有一定的同轴度要求,若定位时采用轴的外圆表面作为定位基准,而不是轴的中心轴线,就会产生基准不重合误差,因为轴的外圆表面在加工过程中本身存在形状误差,会导致同轴度加工误差增大。(2)定位副制造不准确误差。

定位副是指工件的定位表面与夹具的定位元件所组成的配合副。由于定位元件和工件定位表面的制造精度有限,在配合过程中会产生间隙或过盈,从而导致工件的定位位置发生变化,产生定位误差。

#### 4.2 定位误差的计算方法

定位误差的计算应根据具体的定位方式和加工要求进行。对于基准不重合误差,可通过尺寸链的计算方法来确定。例如,在上述轴类零件加工的例子中,可以建立以轴的中心轴线为封闭环的尺寸链,通过计算各组成环的公差对封闭环的影响,得出基准不重合误差的大

小。对于定位副制造不准确误差,可根据定位元件和工件定位表面的尺寸公差以及它们之间的配合关系进行计算。例如,在圆柱销定位圆孔的情况下,定位误差等于圆柱销与圆孔的最大配合间隙。在一些复杂的定位情况下,可能需要综合考虑基准不重合误差和定位副制造不准确误差,采用概率法或极值法进行计算,以确定总的定位误差<sup>[1]</sup>。

#### 4.3 定位误差的控制措施

(1) 合理选择定位基准。尽量选择与设计基准重合的定位基准,以减少基准不重合误差。如果无法选择与设计基准重合的定位基准,则应进行精确的尺寸换算,并采取相应的工艺措施来补偿基准不重合误差。例如,在加工箱体类零件时,可以先以底面为定位基准加工出顶面,然后再以顶面为定位基准加工其他表面,这样可以通过两次定位来保证各加工表面之间的位置精度,减少基准不重合误差的影响。(2) 提高定位元件和工件定位表面的制造精度。通过提高定位元件的制造精度,如减小定位销的直径公差、提高V形块的夹角精度等,可以减少定位副制造不准确误差。同时,提高工件定位表面的加工精度,如提高圆孔的圆柱度、平面的平面度等,也有助于降低定位误差。例如,采用精密磨削或珩磨等加工方法来提高工件定位表面的精度。(3) 优化定位方式。在满足加工要求的前提下,选择定位误差较小的定位方式。例如,在圆孔定位中,对于精度要求较高的加工,可以采用小锥度心轴定位,因为锥度心轴的定位精度比圆柱心轴高,能够有效减少定位误差。此外,合理设计一面两销定位方式中的销子形状、尺寸和位置,可以更好地补偿工件的尺寸公差和形状误差,降低定位误差。

### 5 工装夹具定位设计的发展趋势

#### 5.1 智能化定位设计

随着智能制造技术的发展,工装夹具的定位设计将朝着智能化方向发展。通过传感器技术、人工智能算法等,工装夹具能够自动感知工件的形状、尺寸和位置信息,并根据加工要求自动调整定位元件的位置和参数,实现自适应定位。例如,智能夹具可以根据不同型号的

工件自动切换定位方式,提高夹具的通用性和灵活性。

#### 5.2 高精度定位元件的应用

为了满足日益提高的机械加工精度要求,高精度定位元件将得到更广泛的应用。如采用纳米级精度的定位销、超高精度的V形块等,这些高精度定位元件能够进一步减少定位误差,提高加工精度。同时,新型材料的应用也将有助于提高定位元件的性能,如采用陶瓷材料制造定位元件,具有高硬度、低摩擦系数和良好的热稳定性等优点。

#### 5.3 与数字化制造技术的融合

工装夹具定位设计将与数字化制造技术深度融合。在产品阶段,通过CAD/CAM软件可以对工装夹具进行虚拟设计和仿真分析,预测定位误差和加工结果,提前优化定位设计方案。在制造过程中,通过数字化控制系统可以实现工装夹具的自动化安装、调整和定位,提高生产效率和加工质量。例如,利用数字化制造平台可以实现工装夹具定位设计数据与机床加工数据的无缝对接,实现加工过程的智能化控制。

结论:工装夹具定位设计在机械加工中具有不可替代的重要作用。通过遵循六点定位原理等基本原则,合理选择平面定位、圆柱面定位、圆孔定位等常见定位方式,并深入分析定位误差产生原因与计算方法,采取有效控制措施,能够显著提高机械加工的精度与效率,降低生产成本,提升产品质量。机械加工从业者应密切关注这些发展趋势,不断探索与创新工装夹具定位设计方法,以适应制造业快速发展的要求,推动机械加工行业向更高水平迈进。

#### 参考文献

- [1]邢朝华.探析机械加工中的工装夹具定位设计[J].科学与信息化,2022(5):30-32
- [2]覃事鹏.浅析机械加工中工装夹具的定位设计[J].湖北农机化,2018(02):60-61
- [3]潘巧玉.探析机械加工中的工装夹具定位设计[J].浙江广厦建设职业技术大学学报,2021,16(08D):75-78