

# 工装夹具定位分析教学研究

颜丙功<sup>1</sup> 吴德华<sup>1</sup> 李可奇<sup>2</sup> 单成进<sup>2</sup> 任洪亮<sup>3</sup> 尤芳怡<sup>1</sup> 柳建<sup>4\*</sup> (通讯作者)

<sup>1</sup>福建省厦门市集美区华侨大学机电及自动化学院; <sup>2</sup>福建省厦门市32228部队;

<sup>3</sup>福建省厦门市集美区华侨大学信息科学与工程学院; <sup>4</sup>北京装甲兵工程学院机械产品再制造国家工程研究中心

**[摘要]**工装夹具设计中的定位分析是机械制造技术基础课程的关键内容,如何在教学过程中通俗直观地进行讲解,让学生从抽象到具象的理解定位方案是机械制造技术基础教学的难点。本文从教学实践出发,理出了该部分内容的一种讲解方案。

**[关键词]**夹具; 定位; 夹紧; 自由度

**【DOI】** 10.12252/j.issn.2096-6288.2020.02.1029

定位分析是工装夹具设计的首要工作。夹具设计教学中,一般会强调,一定要将定位和夹紧区分开,定位是定位,夹紧是夹紧<sup>[1-3]</sup>。定位与夹紧的主要区别在于,定位关注的是工件在夹具中如何放置,夹紧关注的是如何让工件固定在夹具中不跑动。为了让学生清晰理解定位的概念,这里需要进一步强调:什么叫做工件在夹具中如何放置?

所谓如何放置,实际是指,在机床刀具调整好,固定走刀路径的前提下,加工之前,将工件在机床各自由度方向上放置于一定位置。不是“加工过程中”,而是“加工之前”的工件的摆放。加工过程中出现的工件的跑动是“夹紧”的问题,不是“定位”的问题<sup>[4-5]</sup>。

夹具理想的定位,直观上应该是,对一批工件,逐个随手往夹具里一扔,每个工件的位置和姿态是一致的。“位置和姿态一致”是定位的追求,面向的是一批工件,“位置和姿态不动”是夹紧的追求,指的是单个工件。

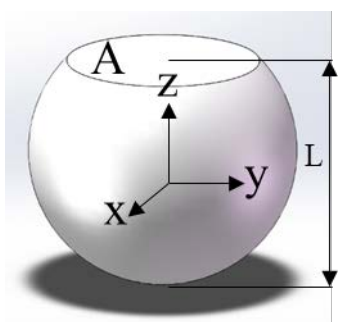


图1 球形工件铣平面

如图1所示,用立式普通铣床在一批球形工件上加工图示平面,最少需要限制几个自由度?

首先需要明确,要加工的是一批工件,不是一个工件,要关注的是:一批工件,逐个放置到已经调好刀的机床上,工件所放位置对待加工尺寸的影响。待加工尺寸是什么?如图1所示,该案例所指的待加工尺寸是L,需要保证尺寸L,即平面A相对于最低点的距离。

以球心为原点建立工件坐标系,在机床工作台上建立机床坐标系,工件在机床上的位置和姿态,即转化为工件坐标系相对于机床坐标系的位置和姿态。列出工件的六个自由度,如图1所示,即 $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$ ,  $\hat{x}$ ,  $\hat{y}$ ,  $\hat{z}$ 对六个自由度逐个分析。

对于 $\bar{x}$ ,考虑当第n个球形毛坯放置在机床坐标系的 $x=0$ ,第(n+1)个球形毛坯放置在 $x=1$ 的位置时,加工出的

平面的定位尺寸会发生变化吗?很明显不会,但是可能会由于放置的位置超出设定的行程,出现“加工不到”的问题,“加工不到”对于定位尺寸的精度没有影响,所以 $\bar{x}$ 可以不受限制。对于 $\bar{y}$ ,加工出的平面的定位尺寸也不会发生变化,所以 $\bar{y}$ 也不需要限制。但是对 $\bar{z}$ 就不同了,已经调好刀的机床,如果第n个工件放置在 $z=0$ ,第(n+1)个工件放置在 $z=1$ ,则两个工件加工出的定位尺寸会由于z轴位置变动出现差异,因而 $\bar{z}$ 必须限制。

对于 $\hat{x}$ ,  $\hat{y}$ ,  $\hat{z}$ ,可以用同样思路考虑,如果放置时,第n个工件的坐标系与机床工作台坐标系重合,第(n+1)个工件的坐标系绕机床工作台坐标系的某个轴发生了旋转,加工出的平面的定位尺寸会发生变化吗?很明显不会,因为球形工件是三维对称的,所以, $\hat{x}$ ,  $\hat{y}$ ,  $\hat{z}$ 都不需要限制。

综上所述,对图1所示情形,最少只需要限制1个自由度 $\bar{z}$ 。但实际上,为了提高加工效率,一般对 $\bar{x}$ 和 $\bar{y}$ 两个自由度也进行限制,但在分析“最少需要限制几个自由度”时,不需要考虑。

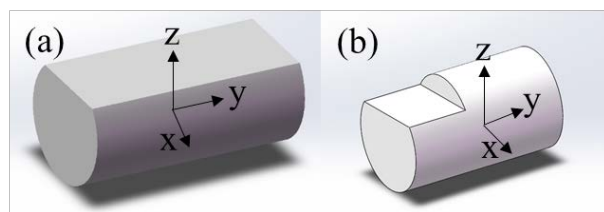


图2 圆轴上铣平面

如图2所示,用立式普通铣床在一批圆柱轴工件上加工图示平面,分别最少需要限制几个自由度?

同样的,分别考虑 $\bar{x}$ ,  $\bar{y}$ ,  $\bar{z}$ ,  $\hat{x}$ ,  $\hat{y}$ ,  $\hat{z}$ 六个自由度。工件坐标系如图2所示。先分析图2a。对于 $\bar{x}$ 和 $\bar{y}$ ,如果第n根轴放置在 $x=0$ (或 $y=0$ ),第(n+1)根轴放置在 $x=1$ (或 $y=1$ ),平面的定位尺寸不会受到影响,因此, $\bar{x}$ 和 $\bar{y}$ 都不需要限制;对于 $\bar{z}$ ,如果第n根轴放置在 $z=0$ ,第(n+1)根轴放置在 $z=1$ ,平面的定位尺寸会受到影响,因此, $\bar{z}$ 需要限制;对于 $\hat{x}$ ,如果第n根轴放置时,工件坐标系与机床坐标系重合,第(n+1)根轴放置时工件坐标系绕机床坐标系的X轴旋转 $1^\circ$ ,则加工出的平面会相对于轴的下母线旋转 $1^\circ$ ,平面的定位尺寸会受到影响,所以, $\hat{x}$ 需要限制;对于 $\hat{y}$ 和 $\hat{z}$ ,如果第n根轴放置时,工件坐标系与机床坐标系完全重合,第(n+1)根轴放置时工件

坐标系绕机床坐标系的Y轴（或Z轴）旋转 $1^\circ$ ，平面的定位尺寸不会受到影响，所以， $\hat{y}$ 和 $\hat{z}$ 都不需要限制。综上所述，对于图2a的情形，最少需要限制 $\hat{z}$ 和 $\hat{x}$ 两个自由度。

分析图2b。对于 $\hat{x}$ ，如果第n根轴放置在 $x=0$ ，第 $(n+1)$ 根轴放置在 $x=1$ ，平面的定位尺寸不会受到影响，因此， $\hat{x}$ 不需要限制；对于 $\hat{y}$ 和 $\hat{z}$ ，如果第n根轴放置在 $y=0$ （或 $z=0$ ），第 $(n+1)$ 根轴放置在 $y=1$ （或 $z=1$ ），平面的定位尺寸会受到影响，因此， $\hat{y}$ 和 $\hat{z}$ 都需要限制；对于 $\hat{x}$ 和 $\hat{z}$ ，如果第n根轴放置时，工件坐标系与机床坐标系完全重合，第 $(n+1)$ 根轴放置时工件坐标系绕机床坐标系的X轴（或Z轴）旋转 $1^\circ$ ，则加工出的平面会相对于轴的下母线旋转 $1^\circ$ ，平面的定位尺寸会受到影响（若绕Z轴，平面的右侧面会倾斜），所以， $\hat{x}$ 和 $\hat{z}$ 都需要限制；对于 $\hat{y}$ ，如果第n根轴放置时，工件坐标系与机床坐标系完全重合，第 $(n+1)$ 根轴放置时工件坐标系绕机床坐标系的Y轴旋转 $1^\circ$ ，平面的定位尺寸不会受到影响，因为轴绕Y轴是对称的，所以， $\hat{y}$ 不需要限制。综上所述，对于图2b所示情形，最少需要限制 $\hat{y}$ 、 $\hat{z}$ 、 $\hat{x}$ 、 $\hat{z}$ 四个自由度。

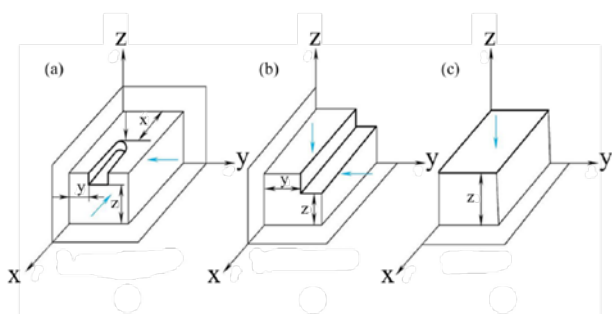


图3 矩形块上铣特征面

如图3所示，用立式普通铣床在一批矩形块工件上加工图示平面，分别最少需要限制几个自由度？

同样的，分别考虑 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 、 $\hat{z}$ 、 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 、 $\hat{z}$ 六个自由度。对于图3a，考虑 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 和 $\hat{z}$ ，如果第n个工件放置在 $x=0$ （或 $y=0$ 、 $z=0$ ），第 $(n+1)$ 个工件放置在 $x=1$ （或 $y=1$ 、 $z=1$ ），键槽的定位尺寸会受到影响，因此， $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 和 $\hat{z}$ 都需要限制；对于 $\hat{x}$ 和 $\hat{y}$ ，如果第n个工件放置时，工件坐标系与机床坐标系完全重合，第 $(n+1)$ 个工件放置时工件坐标系绕机床坐标系的X轴（或Y轴）旋转 $1^\circ$ ，则加工出的键槽底面不再与工件底面平行，定位尺寸会受到影响，所以， $\hat{x}$ 和 $\hat{y}$ 都需要限制；对于 $\hat{z}$ ，如果第n个工件放置时，工件坐标系与机床坐标系完全重合，第 $(n+1)$ 个工件放置时工件坐标系绕机床坐标系的Z轴旋转 $1^\circ$ ，则加工出的键槽的侧面会倾斜，所以，需要限制。因而，对于图3a， $\hat{z}$ 需要限制 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 、 $\hat{z}$ 、 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 、 $\hat{z}$ 六个自由度。

对于图3b，考虑 $\hat{x}$ ，如果第n个工件放置在 $x=0$ ，第 $(n+1)$ 个工件放置在 $x=1$ ，台阶面的定位尺寸不会受到影响，因此， $\hat{x}$ 不需要限制；考虑 $\hat{y}$ 和 $\hat{z}$ ，如果第n个工件放置在 $y=0$ ，第 $(n+1)$ 个工件放置在 $y=1$ ，台阶面的定位尺寸会受到影响，因此， $\hat{y}$ 和 $\hat{z}$ 都需要限制；对于 $\hat{x}$ 和 $\hat{y}$ ，如果第n个工件放置时，工件坐标系与机床坐标系完全重合，第

$(n+1)$ 个工件放置时工件坐标系绕机床坐标系的X轴（或Y轴）旋转 $1^\circ$ ，则加工出的台阶面不再与底面平行，平面的定位尺寸会受到影响，所以， $\hat{x}$ 和 $\hat{y}$ 都需要限制；对于 $\hat{z}$ ，如果第n个工件放置时，工件坐标系与机床坐标系完全重合，第 $(n+1)$ 个工件放置时工件坐标系绕机床坐标系的Z轴旋转 $1^\circ$ ，则加工出的台阶面会倾斜，所以， $\hat{z}$ 需要限制。因而，对于图3b，最少需要限制 $\hat{y}$ 、 $\hat{z}$ 、 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 、 $\hat{z}$ 五个自由度。

对于图3c，考虑 $\hat{x}$ 和 $\hat{y}$ ，如果第n个工件放置在 $x=0$ （或 $y=0$ ），第 $(n+1)$ 个工件放置在 $x=1$ （或 $y=1$ ），平面的定位尺寸不会受到影响，因此， $\hat{x}$ 和 $\hat{y}$ 不需要限制；考虑 $\hat{z}$ ，如果第n个工件放置在 $z=0$ ，第 $(n+1)$ 个工件放置在 $z=1$ ，平面的定位尺寸会受到影响，因此， $\hat{z}$ 需要限制；对于 $\hat{x}$ 和 $\hat{y}$ ，如果第n个工件放置时，工件坐标系与机床坐标系完全重合，第 $(n+1)$ 个工件放置时工件坐标系绕机床坐标系的X轴（或Y轴）旋转 $1^\circ$ ，则加工出的平面不再与底面平行，平面的定位尺寸会受到影响，所以， $\hat{x}$ 和 $\hat{y}$ 都需要限制；对于 $\hat{z}$ ，如果第n个工件放置时，工件坐标系与机床坐标系完全重合，第 $(n+1)$ 个工件放置时工件坐标系绕机床坐标系的Z轴旋转 $1^\circ$ ，则加工出的平面不会受到影响，所以， $\hat{z}$ 不需要限制。因而，对于图3c，最少需要限制 $\hat{z}$ 、 $\hat{x}$ 、 $\hat{y}$ 三个自由度。

综上所述，本文基于教学实践，结合典型案例，分析介绍了最少限制1个（图1）、2个（图2a）、3个（图3c）、4个（图2b）、5个（图3b）、6个（图3a）自由度的工件定位情形。依据分析过程，将自由度分析讲解的要点总结如下：（1）明确“定位”是关于一批工件加工之前在机床上放置时的位置与姿态一致性的问题；（2）定义机床工作台坐标系与工件坐标系，“定位”即转变为工件坐标系相对于机床工作台坐标系的位置和姿态问题；（3）逐个自由度，从偏置的角度，分析两个或多个工件在相应自由度方向偏置后对待加工尺寸会不会产生影响；（4）区分“加工不到”和“加工不对”两类问题，注意是否会影响形位精度；（5）验证分析结果，反向考虑，如果不限制某个自由度会造成什么问题。

参考文献

[1] 王先奎. 机械制造工艺学. 第3版[M]. 机械工业出版社, 2013.  
 [2] 卢秉恒. 机械制造技术基础. 第4版[M]. 机械工业出版社, 2017.  
 [3] 浦林祥. 金属切削机床夹具设计手册[M]. 机械工业出版社, 1995.  
 [4] 郭惠昕, 罗佑新, 何哲明. 夹具定位方案的稳健性及其优化设计[J]. 现代制造工程, 2001, 000(004): 34-35.  
 [5] 姜昂, 范清林, 郑丞, 等. 夹具定位方案稳定性评价及定位点搜索算法[J]. 上海交通大学学报, 2010(4): 5.