

小型复杂模锻件零件的加工工艺方法优化

牛雪平 王延飞 王喜军

郑州飞机装备有限责任公司 河南 郑州 450005

摘要：模锻件毛坯相对于棒料、板料、自由锻毛坯材料的去除率最低，加工刀具的损耗最小，加工周期相对较短，但是模锻件毛坯存在装夹找正困难，加工工序繁琐的弊端，影响零件加工进度。本文通过分析模锻件毛坯的结构特点，结合现有的工艺过程，有针对性的设计铣床夹具，来消除模锻件毛坯加工时存在的质量、效率瓶颈。

关键词：模锻件毛坯；制造公差；随形夹具；多工位；铣床夹具

引言

加工零件时，材料去除量越大，则对应刀具的成本越高。针对已定型批量较大的零件加工，选用模锻件毛坯可以极大的节省刀具成本。目前我厂挂钩、摇臂、止动器等多种零件在加工时采用模锻件毛坯。对模锻件毛坯进行加工工艺优化，可以有效的提高零件加工质量的稳定性、以及零件的加工效率。

1 模锻件简介

模锻件是指将金属坯料加热到一定的温度后，放入特定形状的锻造模具中，在压力机上锻造成型。模锻件毛坯的制造公差由以下四个方面确定：（1）质量，锻件的质量根据零件图尺寸考虑加工余量与拔模斜度后按变形部分的基本尺寸计算确定；（2）分模面形状，包括分

为平直对称分模面以及不对称弯曲分模面；（3）材质因素，材质因素M用来反映材料加工难易程度对锻件公差的影响，分类如下：M0适用于铝合金、镁合金和铜合金，M1适用于碳含量小于0.65%，且合金元素含量小于5%的钢，M2 适用于碳含量大于等于0.65%，且合金元素含量大于等于5%的钢，M4适用于钛合金和高温合金；（4）形状复杂因素，锻件的形状复杂因素S用来反映锻件形状复杂程度对锻件公差的影响， $S = m_s / m_H$ ，（其中 m_s 为锻件质量， m_H 为锻件包容体的质量），形状复杂因素S分为四组，S1组（简单）：大于0.63~1，S2组（一般）：大于0.32~0.63，S3组（较复杂）：大于0.16~0.32，S4组（复杂）：大于0~0.16。具体公差查询见表1：

同轴度公差	错移公差	毛边过切量(%)	分模线 不 平直或 对称	锻件 质量 kg	锻件 材质因素 M0 M1 M2 M4	锻件形状 复杂因素 S1 S2 S3 S4	锻件基本尺寸																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
							大于		100		160		250		400		530		1000		1600																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
							至	至	至	至	至	至	至	至	至	至	至	至	至	至	至																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																								
0.8	0.4	0.5		0	0.4		0.9	+0.06	1.0	+0.07	1.1	-0.07	1.2	-0.03	1.4	+0.09	1.6	+0.11	2.0	+0.13	2.5	+0.17	3.2	+0.21	4.0	+0.27	5.0	+0.33	6.3	+0.37	8.0	+0.47	10.0	+0.53	12.5	+0.63	16.0	+0.77	20.0	+0.93	25.0	+1.10	32.0	+1.33	40.0	+1.60	50.0	+1.93	63.0	+2.33	80.0	+2.80	100.0	+3.33	125.0	+4.00	160.0	+4.80	200.0	+5.80	250.0	+7.00	320.0	+8.50	400.0	+10.33	500.0	+12.50	630.0	+15.00	800.0	+18.00	1000.0	+21.67	1250.0	+26.00	1600.0	+31.00	2000.0	+37.00	2500.0	+44.00	3200.0	+53.00	4000.0	+64.00	5000.0	+77.00	6300.0	+93.00	8000.0	+112.00	10000.0	+135.00	12500.0	+163.00	16000.0	+196.00	20000.0	+235.00	25000.0	+288.00	32000.0	+346.00	40000.0	+420.00	50000.0	+510.00	63000.0	+616.00	80000.0	+748.00	100000.0	+900.00	125000.0	+1088.00	160000.0	+1312.00	200000.0	+1584.00	250000.0	+1904.00	320000.0	+2272.00	400000.0	+2712.00	500000.0	+3216.00	630000.0	+3888.00	800000.0	+4704.00	1000000.0	+5664.00	1250000.0	+6816.00	1600000.0	+8256.00	2000000.0	+9936.00	2500000.0	+11952.00	3200000.0	+14368.00	4000000.0	+17200.00	5000000.0	+20464.00	6300000.0	+24112.00	8000000.0	+28896.00	10000000.0	+34720.00	12500000.0	+41040.00	16000000.0	+48704.00	20000000.0	+58016.00	25000000.0	+69408.00	32000000.0	+83712.00	40000000.0	+100800.00	50000000.0	+122880.00	63000000.0	+148416.00	80000000.0	+178080.00	100000000.0	+212800.00	125000000.0	+252480.00	160000000.0	+300480.00	200000000.0	+358080.00	250000000.0	+423680.00	320000000.0	+500160.00	400000000.0	+598080.00	500000000.0	+710400.00	630000000.0	+845760.00	800000000.0	+1002240.00	1000000000.0	+1189440.00	1250000000.0	+1412160.00	1600000000.0	+1676160.00	2000000000.0	+1989120.00	2500000000.0	+2386560.00	3200000000.0	+2832960.00	4000000000.0	+3330240.00	5000000000.0	+3988800.00	6300000000.0	+4710720.00	8000000000.0	+5520960.00	10000000000.0	+6544320.00	12500000000.0	+7790400.00	16000000000.0	+9347840.00	20000000000.0	+11247360.00	25000000000.0	+13452000.00	32000000000.0	+15952000.00	40000000000.0	+18902400.00	50000000000.0	+22329600.00	63000000000.0	+26208000.00	80000000000.0	+30604800.00	100000000000.0	+35990400.00	125000000000.0	+42393600.00	160000000000.0	+49996800.00	200000000000.0	+58627200.00	250000000000.0	+69504000.00	320000000000.0	+82886400.00	400000000000.0	+98700800.00	500000000000.0	+117721600.00	630000000000.0	+139904000.00	800000000000.0	+164832000.00	1000000000000.0	+193824000.00	1250000000000.0	+226848000.00	1600000000000.0	+268032000.00	2000000000000.0	+312480000.00	2500000000000.0	+362880000.00	3200000000000.0	+418080000.00	4000000000000.0	+479616000.00	5000000000000.0	+547680000.00	6300000000000.0	+623232000.00	8000000000000.0	+702816000.00	10000000000000.0	+788496000.00	12500000000000.0	+880320000.00	16000000000000.0	+979840000.00	20000000000000.0	+1095360000.00	25000000000000.0	+1208640000.00	32000000000000.0	+1321280000.00	40000000000000.0	+1445760000.00	50000000000000.0	+1576320000.00	63000000000000.0	+1710720000.00	80000000000000.0	+1868160000.00	100000000000000.0	+2032320000.00	125000000000000.0	+2202240000.00	160000000000000.0	+2380800000.00	200000000000000.0	+2568960000.00	250000000000000.0	+2766720000.00	320000000000000.0	+2982720000.00	400000000000000.0	+3195840000.00	500000000000000.0	+3439680000.00	630000000000000.0	+3694080000.00	800000000000000.0	+3912960000.00	1000000000000000.0	+4144320000.00	1250000000000000.0	+4361280000.00	1600000000000000.0	+4598080000.00	2000000000000000.0	+4812480000.00	2500000000000000.0	+5018560000.00	3200000000000000.0	+5180800000.00	4000000000000000.0	+5304960000.00	5000000000000000.0	+5432320000.00	6300000000000000.0	+5530240000.00	8000000000000000.0	+5584320000.00	10000000000000000.0	+5598080000.00	12500000000000000.0	+5568960000.00	16000000000000000.0	+5496960000.00	20000000000000000.0	+5312640000.00	25000000000000000.0	+4932480000.00	32000000000000000.0	+4400640000.00	40000000000000000.0	+3780480000.00	50000000000000000.0	+3048960000.00	63000000000000000.0	+2307360000.00	80000000000000000.0	+1603200000.00	100000000000000000.0	+968640000.00	125000000000000000.0	+403200000.00	160000000000000000.0	+163200000.00	200000000000000000.0	+64800000.00	250000000000000000.0	+25920000.00	320000000000000000.0	+16320000.00	400000000000000000.0	+10240000.00	500000000000000000.0	+6480000.00	630000000000000000.0	+4032000.00	800000000000000000.0	+2592000.00	1000000000000000000.0	+1632000.00	1250000000000000000.0	+1024000.00	1600000000000000000.0	+648000.00	2000000000000000000.0	+403200.00	2500000000000000000.0	+259200.00	3200000000000000000.0	+163200.00	4000000000000000000.0	+102400.00	5000000000000000000.0	+64800.00	6300000000000000000.0	+40320.00	8000000000000000000.0	+25920.00	10000000000000000000.0	+16320.00	12500000000000000000.0	+10240.00	16000000000000000000.0	+6480.00	20000000000000000000.0	+4032.00	25000000000000000000.0	+2592.00	32000000000000000000.0	+1632.00	40000000000000000000.0	+1024.00	50000000000000000000.0	+648.00	63000000000000000000.0	+403.20	80000000000000000000.0	+259.20	100000000000000000000.0	+163.20	125000000000000000000.0	+102.40	160000000000000000000.0	+64.80	200000000000000000000.0	+40.32	250000000000000000000.0	+25.92	320000000000000000000.0	+16.32	400000000000000000000.0	+10.24	500000000000000000000.0	+6.48	630000000000000000000.0	+4.03	800000000000000000000.0	+2.59	1000000000000000000000.0	+1.63	1250000000000000000000.0	+1.02	1600000000000000000000.0	+0.65	2000000000000000000000.0	+0.40	2500000000000000000000.0	+0.26	3200000000000000000000.0	+0.16	4000000000000000000000.0	+0.10	5000000000000000000000.0	+0.06	6300000000000000000000.0	+0.04	8000000000000000000000.0	+0.03	10000000000000000000000.0	+0.02	12500000000000000000000.0	+0.01	16000000000000000000000.0	+0.01	20000000000000000000000.0	+0.01	25000000000000000000000.0	+0.01	32000000000000000000000.0	+0.01	40000000000000000000000.0	+0.01	50000000000000000000000.0	+0.01	63000000000000000000000.0	+0.01	80000000000000000000000.0	+0.01	100000000000000000000000.0	+0.01	125000000000000000000000.0	+0.01	160000000000000000000000.0	+0.01	200000000000000000000000.0	+0.01	250000000000000000000000.0	+0.01	320000000000000000000000.0	+0.01	400000000000000000000000.0	+0.01	500000000000000000000000.0	+0.01	630000000000000000000000.0	+0.01	800000000000000000000000.0	+0.01	1000000000000000000000000.0	+0.01	1250000000000000000000000.0	+0.01	1600000000000000000000000.0	+0.01	2000000000000000000000000.0	+0.01	2500000000000000000000000.0	+0.01	3200000000000000000000000.0	+0.01	4000000000000000000000000.0	+0.01	5000000000000000000000000.0	+0.01	6300000000000000000000000.0	+0.01	8000000000000000000000000.0	+0.01	10000000000000000000000000.0	+0.01	12500000000000000000000000.0	+0.01	16000000000000000000000000.0	+0.01	20000000000000000000000000.0	+0.01	25000000000000000000000000.0	+0.01	32000000000000000000000000.0	+0.01	40000000000000000000000000.0	+0.01	50000000000000000000000000.0	+0.01	63000000000000000000000000.0	+0.01	80000000000000000000000000.0	+0.01	100000000000000000000000000.0	+0.01	125000000000000000000000000.0	+0.01	160000000000000000000000000.0	+0.01	200000000000000000000000000.0	+0.01	250000000000000000000000000.0	+0.01	320000000000000000000000000.0	+0.01	400000000000000000000000000.0	+0.01	500000000000000000000000000.0	+0.01	630000000000000000000000000.0	+0.01	800000000000000000000000000.0	+0.01	1000000000000000000000000000.0	+0.01	1250000000000000000000000000.0	+0.01	1600000000000000000000000000.0	+0.01	2000000000000000000000000000.0	+0.01	2500000000000000000000000000.0	+0.01	3200000000000000000000000000.0	+0.01	4000000000000000000000000000.0	+0.01	5000000000000000000000000000.0	+0.01	6300000000000000000000000000.0	+0.01	8000000000000000000000000000.0	+0.01	10000000000000000000000000000.0	+0.01	12500000000000000000000000000.0	+0.01	16000000000000000000000000000.0	+0.01	20000000000000000000000000000.0	+0.01	25000000000000000000000000000.0	+0.01	32000000000000000000000000000.0	+0.01	40000000000000000000000000000.0	+0.01	50000000000000000000000000000.0	+0.01	63000000000000000000000000000.0	+0.01	80000000000000000000000000000.0	+0.01	100000000000000000000000000000.0	+0.01	125000000000000000000000000000.0	+0.01	160000000000000000000000000000.0	+0.01	200000000000000000000000000000.0	+0.01	250000000000000000000000000000.0	+0.01	320000000000000000000000000000.0	+0.01	4000000

削得到精基准进行后续加工；(2) 工序繁琐，生产效率低，加工过程中过程毛坯需要多次周转，长、宽、高各方向均要通过划线→铣平面→磨平面三个工序确定创建零件加工基准，并且加工时须找正划线；(3) 多次装夹找正会造成加工质量的不稳定。通过分析可知，优化模锻件毛坯的装夹方式、减少零件在加工工序中的周转路线是消除零件加工效率、质量瓶颈的有效手段。^[1]

3 完善毛坯装夹——随形夹具设计

由于模锻件毛坯结构的特殊性，毛坯状态在装夹定位上有很大的局限性，常规的定位（虎钳、组夹）很难实现快速创建精基准。通过观察分析毛坯的外形，发现毛坯虽然尺寸公差较大，但是毛坯的状态比较一致。设想如果可以根据零件外形将毛坯固定，那么后续的毛坯按照此方法固定，可以保证状态基本一致。以我厂加工

的两种典型零件为例：
 (1) 某挂钩（图1），该挂钩外形尺寸较小，最大包容体尺寸为 $30 \times 40 \times 55$ ，模锻件毛坯各处面都比较小，没有理想的定位面，在加工时，首先需要加工出某个面作为定位基准，按传统的方法，我们需要在零件表面划线，再按线加工，加工效率较低。利用一块硬铝合金板料，根据挂钩毛坯的外形尺寸，我们铣一处下陷，制作夹具底座，保证零件可以较好的契合进去，再利用另一块长宽尺寸一致的硬铝合金板料做成夹具盖板，如图2所示。将毛坯放入夹具底座内（需要加工的特征留在夹具外面），合上夹具盖板，利用虎钳夹紧，保证毛坯装夹状态稳定。通过长期实践，证明此随形夹具可以有效的装夹毛坯，满足加工需求。

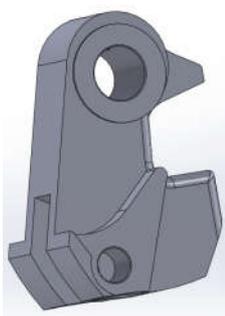


图1

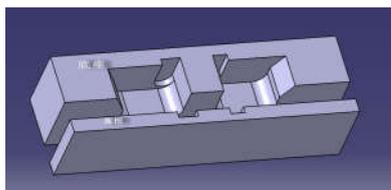


图2

(2) 某转接摇臂（图3），该零件最大包容体尺寸为

$50 \times 50 \times 55$ ，模锻件毛坯没有良好的定位基准。该摇臂加工难点在于需要保证两轴的同轴度 0.02 ，以及两轴端的对称度 0.1 ，传统的加工方法是划线铣一端轴，再利用已加工轴面定位铣削另一端轴，该工艺方法不仅加工效率低，同时图纸要求的同轴度以及对称度难以保证。通过观察分析该摇臂模锻件毛坯，发现模锻件毛坯两端的拔模斜度基本相同，且毛坯的状态稳定一致，因此考虑改变传统的定位装夹方式（例如以孔、轴、大面等特征作为基准定位），设计一套夹具，该夹具采用类似V型定位的定位方式，将压板与模锻件毛坯轴接触的地方做成V型结构，压板与夹具底座通过螺栓连接压紧，将整套夹具装夹到A轴或者旋转夹具上（图4）可以有效的提高零件的加工效率以及加工质量。

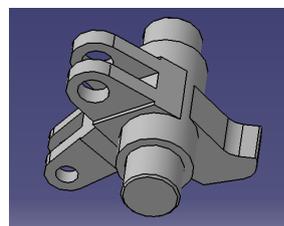


图3

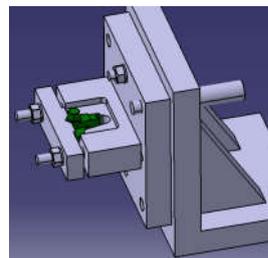


图4

4 减少工序间周转——多工位铣床夹具设计

小型复杂模锻件毛坯虽然尺寸较小，但是需要加工的特征比较多，整个加工过程包含了多个加工工序。每一个工序走刀时间都比较短，所以需要经常的停机等待、拆卸、装夹零件，零件加工效率低、工人的劳动强度大、数控设备的性能发挥不出来。在符合机床行程要求的前提下，通过制作多工位铣床夹具，保证一次装夹后，机床可以完成多个工位的加工，做到少停机、少换活^[5]。多工位铣床夹具的另一个优点在于，可以提前发现加工过程中质量问题，传统的加工过程是，前一道工序全部零件完成加工后才转入后一道工序，如果之前工序有加工质量问题无法及时发现，而多工位同时加工可以有效的避免此类问题的发生。以现场加工的两个零件为例：

(1) 某挂钩，正常的工艺过程是：钻铰孔——粗铣外形——铣下陷、铣外形——铣槽——铣面，按照此工艺流程，零件加工需要5套不同的铣床夹具，效率很低。通

过分析研究,制作了一套多工位铣床夹具(图5),该夹具将原有的5套铣床夹具的功能进行集成整合,一次装夹可以完成5个工序的加工内容,零件加工效率显著提高。^[2]

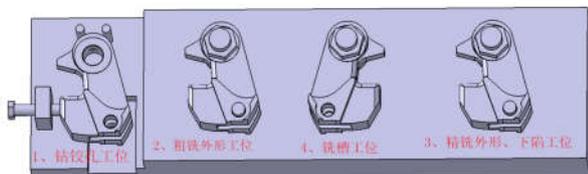


图5

(2)某转接摇臂,正常的工艺过程是:铣外形(中间倒压板)——钳工去毛刺——铣槽和扁——去毛刺——铣另一处槽和扁——去毛刺——磨扁——去毛刺——磨槽——去毛刺——磨另一处扁——去毛刺——磨另一处槽——去毛刺。加工内容多达10几道工序,涉及多个铣工设备、刀磨及外磨设备,用到较多的装夹工装,零件周转和加工周期较长、效率较低。通过设计如图6所示的多工位铣床夹具,允许这些加工内容集成到一个工装上,只需要在机床上设置多个工件坐标系,即用一个集成装夹工装一次加工之前10多道工序才能加工完的工作量,整个加工周期缩短80%,并且可以有效减少了加工设备使用数量,提高了单件数控机床的使用效率。此类集成夹具为各种涉及加工内容较多的生产线零件,各加工工序的时间配备起到一个有效的调节作用,为摇臂类零件加工开拓了一种稳定、可靠、高效率的加工方法。^[3]

此工装夹具的设计、制造与应用,减少了零件的多次装夹,确保了产品质量和一致性,大大提高了数控机床的效率。同时利用旋转夹具还解决了同组加工的通用性和不同零件的快速换装等问题。该夹具通过简单的换装后还可加工多种摇臂和其它需要回转加工的各类零件,并且已在挂钩类,燃烧类等零件上进行了推广应用。^[4]

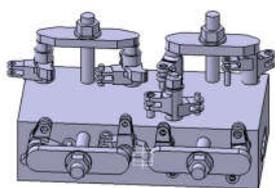


图6



图7

5 结语

模锻件毛坯在机械加工行业有着越来越广泛的应用,目前我厂多种需要大批量生产的零件使用模锻件毛坯。模锻件毛坯在加工时材料去除率低,有利于节省刀具成本,但是存在装夹定位不好、找正困难,加工工序相对繁琐的缺点。通过分析模锻件毛坯的特点,可以发现制作随行夹具对模锻件零件进行装夹定位是行之有效的方式,有效避免了毛坯需要反复划线找正、效率低下的问题。合理设计多工位铣床夹具可以有效解决零件在加工时频繁停机装、卸零件,效率低下的问题。

参考文献:

- [1]《金属切削原理》陈日曜 北京 机械工业出版社
- [2]《材料力学》刘鸿文 北京 青年教育出版社
- [3]《机械制造工艺学》王信义等 北京:理工大学出版社
- [4]《中国有色金属丛书》赵永庆北京 中南大学出版社
- [5]《实用机械加工工艺手册》第3版 陈宏钧 北京 机械工业出版社