交叉孔系薄壁异形缸筒内孔加工技术

山西航天清华装备有限责任公司 （山西长治 046012） 艾 敏 王 威 魏 武 李 刚 文国军

摘要：通过分析通用加工技术的不足，采取契合装夹高速分层切削滚压成形、复合刀具分步加工成形及自制刀具清根的复合加工等技术，实现交叉孔系薄壁异形缸筒机械构件内孔的有效加工。

关键词：薄壁异形缸筒；内孔；交叉孔系；切削

典型交叉孔系薄壁异形缸筒结构如图1所示，此零件很难加工成形，在加工时存在如下几个问题。

（1）异形薄壁主孔加工易变形　首先，由于缸筒形状为异形，因此不易装夹。采用非契合缸筒形状的夹具（如压板、链条等）夹紧后，主孔会产生装夹变形。其次，缸筒成品壁薄（7.5～9.5mm），主孔加工完成后会由于加工、装夹等应力而产生变形。

（2）台阶兼交叉孔加工几何公差难保证　大旁孔中内孔为台阶孔，统一钻削底孔后，分别进行镗削或铰削而成，这样必然会产生重复定位、装夹及加工误差，从而导致很难保证台阶孔的同轴度。此外，大旁孔主孔底部与水平小孔呈90°交叉，在大旁孔中各台阶孔进行底孔钻削时，会受到水平小孔影响，导致切削力不均而使钻头产生漂移，从而使大旁孔中各台阶孔的垂直度难以保证。

（3）台阶半盲孔加工难清根　小旁孔中内孔为台阶孔，由于台阶孔相接处无退刀及排屑结构，所以难以对小旁孔中大孔的底部清根。

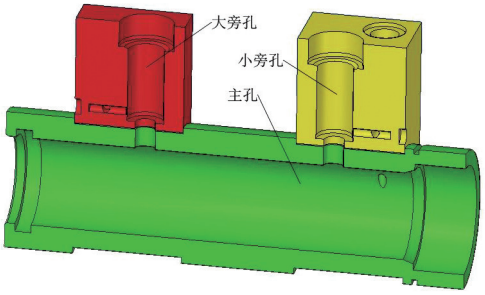


图1　典型交叉孔系薄壁异形缸筒结构

1. 技术分析

典型交叉孔系薄壁异形缸筒主孔及大旁孔结构如图2所示，小旁孔结构如图3所示。缸筒结构参

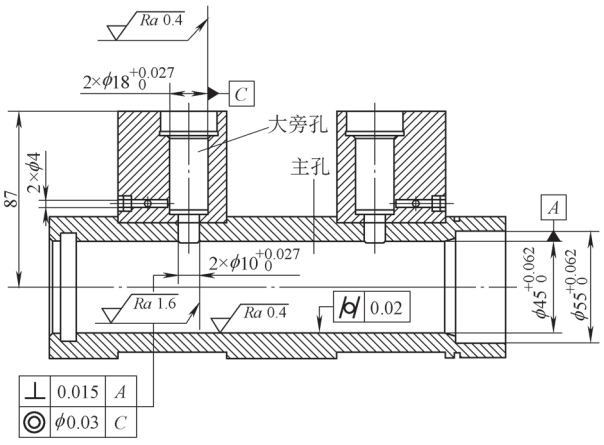


图2　主孔及大旁孔结构

数见表1。

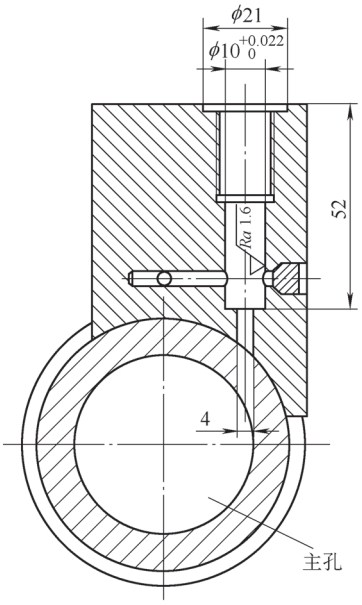


图3 小旁孔结构

由表1可知，每组加工要素的要求均很高，需要进行精加工。根据以上图、表分析，该结构的加工难点主要有3个方面。

1）主孔中内孔 $\phi 45^{+0.062}_{0}$ mm、$\phi 55^{+0.046}_{0}$ mm尺寸及几何公差易变形，难以保证。

2）大旁孔中内孔 $\phi 10^{+0.022}_{0}$ mm与 $\phi 18^{+0.027}_{0}$ mm的同轴度 ϕ0.03mm，$\phi 10^{+0.022}_{0}$ mm与 $\phi 45^{+0.062}_{0}$ mm的垂直度0.015mm，没有合适的刀具进行加工，尺寸精度难以保证。

3）小旁孔中内孔 $\phi 10^{+0.022}_{0}$ mm与 ϕ4mm相接处为半盲孔，无退刀及排屑结构，难以对 $\phi 10^{+0.022}_{0}$ mm孔底清根。

表1 缸筒结构参数

项目	参数	指标要求
交叉孔系数量/组	9	多
孔径范围/mm	4～55	大
尺寸公差/mm	0.022～0.062	小
几何公差/mm	同轴度 ϕ0.03	小
	垂直度0.015	
	圆柱度0.02	
表面粗糙度值/μm	0.4～1.6	小
缸筒壁厚/mm	7.5～9.5	薄
缸筒形状	异形	难装夹
材质	35-GB/T699-1999	易加工

2. 实施方案

针对通用加工技术的缺陷，采取契合装夹高速分层切削滚压成形、复合刀具分步加工成形及自制刀具清根的复合加工等技术，实现对薄壁异形缸筒交叉孔系内孔进行有效加工的目的。基于以上技术分析及思路，设计加工工艺流程，如图4所示。各工序具体内容如下。

（1）专用工装夹紧缸筒　根据交叉孔系薄壁异形缸筒外部结构，设计采用专用工艺装备夹紧缸筒外形。

因缸筒为不规则的异形，为了在夹紧时与缸筒外形更好地契合，从而将装夹力减到最小，以使装夹变形减到最小，采用了专用工装水平压紧缸筒的装夹方法。典型交叉孔系薄壁异形缸筒外形夹紧专用工装结构如图5所示。

（2）主孔数控分层高速切削　粗镗主孔内壁时，利用数控编程分层切削，进刀为高速、大径向切削深度及小轴向进给的方式。粗镗过程分多次，每次切削

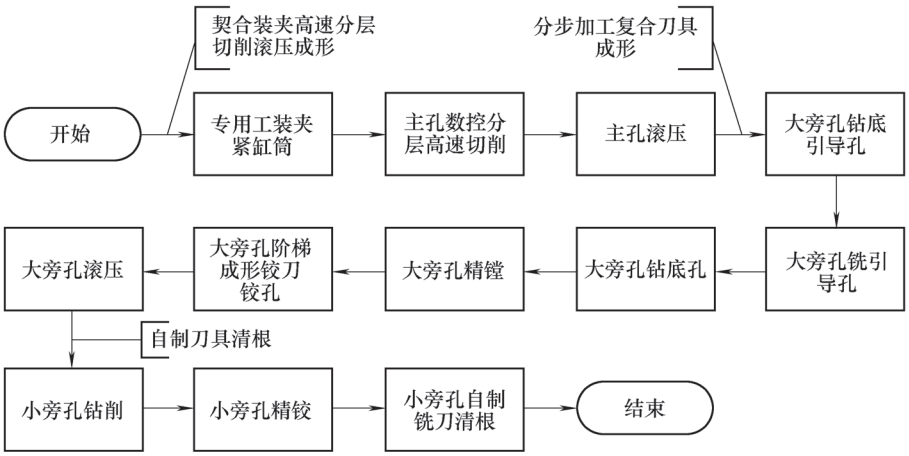


图4 交叉孔系薄壁异形缸筒内孔系加工流程

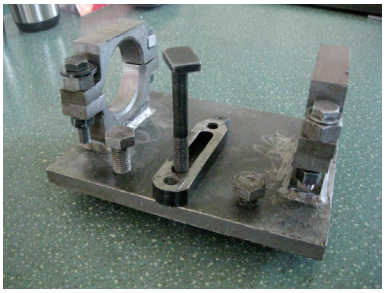


图5 专用工装设备

深度一般为1mm左右。

加工过程中保持工件稳定性很重要。机加时，随着工件壁厚的减少，其刚性也会降低。机加应力累计增大并持续释放，会导致工件变形增大。以上两个因素均会导致切削振颤，从而使得工件加工精度降低，因此需分别采取有效措施，克服这两个加工弊端。

对于工件刚度降低的问题，采用以工件还未加工的部分支撑正在加工的部分，从而提高工件刚度的方法克服。

对于机加应力增大导致工件变形的问题，采用数控分层高速切削的方法，最大限度减小切削应力。即粗镗内壁时，利用数控编程分层切削，进刀为高速、大径向切削深度及小轴向进给的方式。

（3）主孔滚压 ①微松夹紧压板。为释放粗加工应力、减小夹紧力对缸筒产生的变形，在精加工前，先将缸筒两端的夹紧压板紧固螺钉稍微松开。②精镗主孔。用防振镗刀加工主内孔，一般切削速度170～200m/min，进给量0.1mm/r左右，使内孔加工到最终尺寸的下偏差。③滚压主孔。滚压时一般切削速度35～70m/min，进给量0.5～1.5mm/r。第一次滚压时，过盈量适量加大，达到0.02mm，之后再分多次滚压，过盈量不超过0.005mm，直到达到要求公差和表面粗糙度值为止。

（4）大旁孔钻底引导孔 用钻头钻出底引导孔。

（5）大旁孔铣引导孔 铣刀制出引导孔，为后续钻孔工步进行定位。

（6）大旁孔钻底孔 用钻头钻出底孔。

（7）大旁孔精镗 精镗大旁孔至其尺寸的下偏差。

（8）大旁孔阶梯成形铰刀铰孔 加工中心主轴装夹阶梯成形铰刀，以精镗成的大旁孔定位，铰削成大旁孔下的小孔。典型阶梯成形铰刀结构如图6所示。



图6 典型阶梯成形铰刀

（9）大旁孔滚压 滚压成大旁孔，方法同滚压主孔。

（10）小旁孔钻削 用钻头钻出底孔。由于内孔为细长台阶孔，在加工时注意保持排屑顺畅，以免划伤孔壁，导致铰孔时无法保证表面粗糙度。

（11）小旁孔精铰 用铰刀精铰细长孔，切削速度6～9m/min，进给量0.25mm/r，这样能够较好地保证细长孔的公差和表面粗糙度。

（12）小旁孔自制铣刀清根 由于铰刀前面有导向部分，从而使细长孔底部处有3～5mm无法铰到，需自制铣刀清孔的根部。自制铣刀时，选用硬质合金铣刀，先测量刀具外径实际尺寸，再磨削刃部，只留5mm左右，之后将铣刀中间部分磨去一些，这样自制完成的铣刀有利于切削液流入，进行润滑、降温和切屑排出，从而有效防止了孔壁划伤，保证了零件的尺寸精度。典型自制铣刀结构如图7所示。

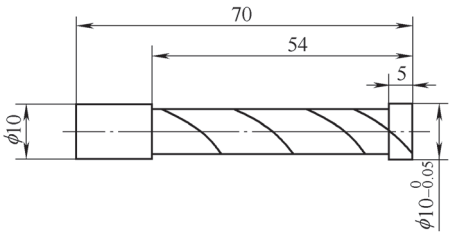


图7 典型自制铣刀

在加工过程中注意以下两点：一是钻削底孔时，钻头两边切削刃磨削长度须平齐，以保证钻出的孔同轴；二是对于精细长孔，在加工时应注意排屑以及保证表面粗糙度等问题。

3. 实施效果

（1）加工结果对比 典型交叉孔系薄壁异形缸筒加工结果见表2。

（2）效果统计 经采用交叉孔系薄壁异形缸筒内孔加工方法取得了以下效果：①叉孔系薄壁异形缸筒内孔系的同轴度≤0.03mm，垂直度≤0.015mm，圆柱度≤0.02mm。②交叉孔系薄壁异形缸筒内孔系的表面粗糙度值 Ra≤0.4μm。

表2 典型交叉孔系薄壁异形缸筒加工结果

项目	通用加工技术	本技术
尺寸公差	有超差	合格
几何公差	有超差	合格
表面粗糙度	有超差	合格
生产效率（%）	86	93
交验合格率（%）	98	100
质量满意度	基本满意	非常满意

4. 结语

通过对交叉孔系薄壁异形缸筒内孔加工技术的探讨，分析了通用加工技术的不足，解决了该类结构件难加工的问题，可得出以下结论。

1）契合装夹高速分层切削滚压成形工艺，可实现缸筒主孔的无变形稳态加工，解决异形薄壁主孔加工易变形问题。

2）复合刀具分步加工成形工艺，可实现同一定位、一次装夹及一次加工条件下的台阶孔加工，解决了台阶兼交叉孔加工几何公差难保证的问题。

3）自制刀具清根工艺，可实现台阶孔相接处无退刀及排屑结构条件下的加工，解决台阶半盲孔加工难清根问题。

在以上措施的综合作用下，实现了交叉孔系薄壁异形机械构件内孔的有效加工。

参考文献：

[1] 孟晓华，等．深孔加工孔轴线偏斜的分析与研究[J]．机械设计与制造，2014（1）：140-143.

[2] 成大先．机械设计手册[M]．北京：化学工业出版社，2002.

[3] 徐灏．机械设计手册[M]．北京：机械工业出版社，1991.

[4] 李义军，等．金属材料手册[M]．北京：中国运载火箭技术研究院，2000.

MW（收稿日期：20200928）

2020年前三季度装备制造业带动增强，高技术制造业较快增长

装备制造业增长加快，带动作用进一步增强。2020年三季度，装备制造业增加值同比增长11.8%，较二季度加快2.3个百分点，高于2019年同期6.7个百分点，对工业生产增长的带动作用凸显。9月份，装备制造业增长11.6%，较8月份继续加快0.8个百分点，拉动工业生产增长3.8个百分点。其中，汽车行业延续快速增长态势，9月份增速为16.4%，较8月份加快1.6个百分点；新能源汽车生产和消费从年初低点逐步加速恢复，产量增速大幅升至51.1%；载货汽车增长36.2%，仍保持在高位；交叉型乘用车、SUV增速升至20%以上。金属制品通用设备、电气机械行业生产继续加快，增速均在12%以上。电子、专用设备行业保持8%的较快增长。

高技术制造业保持较快增长，新兴产品增长强劲。三季度，高技术制造业增加值同比增长8.4%，高于2019年同期水平。9月份，高技术制造业增长7.8%，较8月份有所回升，其中医疗仪器电子通信设备连续6个月保持8%以上较快增长。新兴产品增长动力强劲，9月份，3D打印设备、平衡车、服务机器人及智能手表等新兴智能产品继续保持70%以上的高速增长，城市轨道车辆、充电桩等新基建产品增速均在20%以上。

（来源：中国机械工业联合会）