精密薄壁鼓轮零件加工工艺优化

谢阳阳
许昌烟草机械有限责任公司　河南许昌　461000

摘要：针对鼓轮零件的结构特征和加工难点，从加工余量控制、工件装夹和热表处理等方面进行逐一分析，通过优化工艺方案，选择合理的装夹方式，合理安排热处理工序和局部表面处理，避免了加工过程中出现的质量问题。

关键词：鼓轮零件；装夹方式；热表处理；变形；控制

1　序言

鼓轮是滤棒成型机组滤棒输出系统关键零件，它通过与内部装配的阀体、阀座等零件配合，利用负压将滤棒减速、校准，并向下游传输，承担着重要的交通枢纽作用。

2　零件结构及技术要求

鼓轮零件为铝合金薄壁长筒结构（见图1），关键尺寸如图2所示，其中尺寸带*要求无表面处

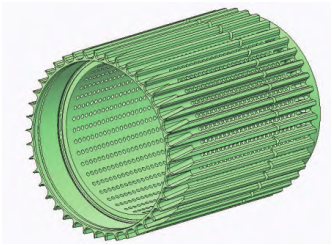

图1　鼓轮零件示意

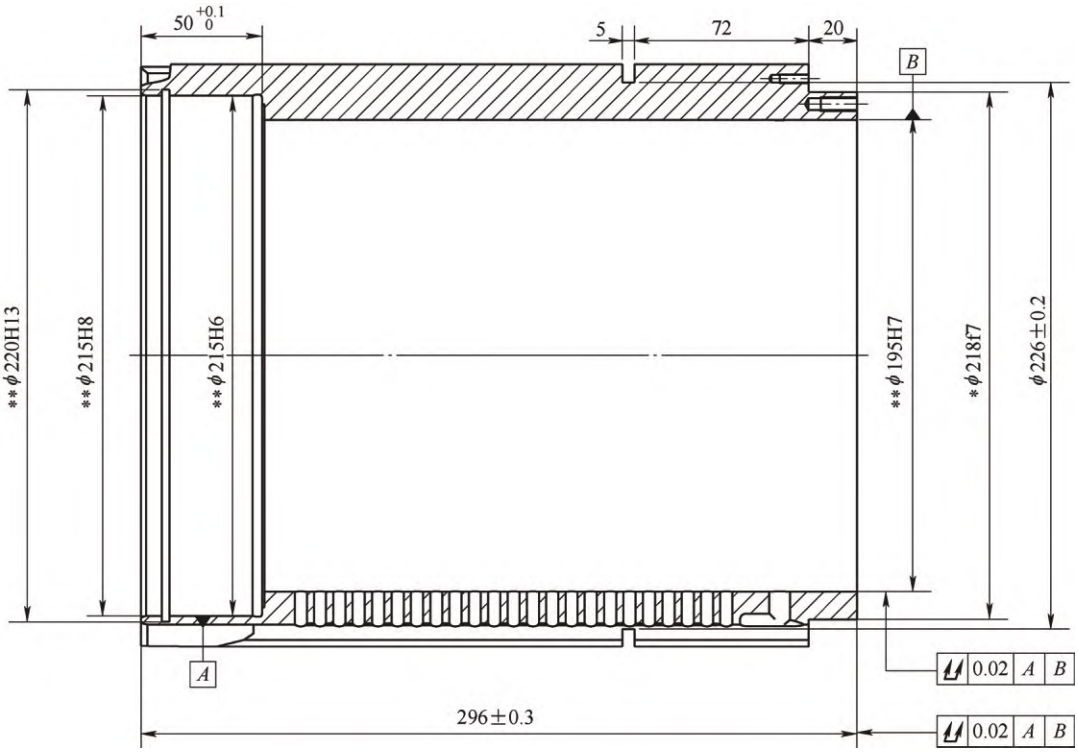

图2　鼓轮零件关键尺寸

理，尺寸带**为表面处理后最终尺寸。零件四周均布42处异形长槽、966处ϕ5mm孔，加工过程中金属去除率达82.5%，零件刚性差。因零件四周长槽为滤棒通道，故为提高表面耐磨性，零件表面要求局部硬质阳极氧化处理（Al/Et.A50hd）[1]和局部喷涂LW-1N10，涂层厚度（0.06±0.02）mm。前期试制攻关时，发现零件关键尺寸ϕ195H7孔、ϕ215H6孔和ϕ218f7外圆在加工过程中极易变形，试制合格率为0%。

3　加工中存在的问题

试制加工期间共投产11件，工艺流程为：粗车外圆内孔及端面→去应力→半精车外圆及内孔→粗铣长槽及钻孔→精镗孔及端面→精车外圆→精铣槽→阳极氧化→喷涂。

试制加工一次交验合格率为0%，质量问题主要为ϕ195H7孔、ϕ215H6孔和ϕ218f7外圆超差。查看鼓轮全过程加工方案得知，精镗孔装夹方式为专用工装环抱式径向压紧，如图3所示，该夹紧方式对于薄壁类零件精镗孔不适宜，夹紧时会引起孔轻微变形，镗孔后松开夹具，零件回弹导致孔圆度超差。经检测发现，精镗后ϕ215H6孔圆度为0.04mm，已经超差，同时，喷涂涂料以约160℃温度喷射到零件表面，引起零件内应力释放，经检测发现，喷涂过程孔圆度变化为0.02mm。

图3　改进前卧式镗孔装夹方式

4　工艺方案优化

针对试制工艺方案的缺陷，为避免零件精镗孔装夹变形，将装夹方式由工装环抱式径向压紧更改为立式装夹轴向压紧[2]。将3个等高块固定在通用夹具基础板上，零件以ϕ218f7外圆端面定位，用台阶压板放置到零件圆周宽为5mm的槽内压紧。压紧过程通过千分表测量内孔变化和外圆侧母线位移情况，通过调整各压板压紧力保证装夹前后零件变形位移≤0.01mm，如图4所示。验证立式装夹方式变形量可控后，在牧野V77L立式加工中心上进行精镗孔试加工，对孔变形量进行全过程监控，具体数据见表1。经检测，孔加工后圆度≤0.015mm，满足要求。

图4　监测立式装夹方式零件变形

表1　立式装夹方式ϕ215H6变形量（单位：mm）

测量方位	自由状态	压紧后	镗孔后（压紧）	镗孔后（自由）	镗孔后放置24h
0°	−0.18	−0.18/−0.17	+0.02	+0.015	+0.015
45°	−0.19	−0.19/−0.18	+0.02	+0.025	+0.025
90°	−0.20	−0.20	+0.02	+0.020	+0.020
135°	−0.19	−0.20/−0.19	+0.02	+0.020	+0.025

由于毛坯去除量大，零件壁薄且多孔多沟槽，导致加工过程中零件因内部应力变化而产生变形，如前期不去除加工应力，则在阳极氧化和喷涂过程中会导致应力释放，从而加大零件变形量，因此消除加工应力引起的变形对提高鼓轮零件加工精度非常重要。

为了降低阳极氧化和喷涂过程对零件变形的影响，最大程度上降低零件内应力，在原工艺1次稳定化处理的基础上又增加了2次稳定化处理，即进行

3次稳定化处理。其中精加工部分由之前的精镗孔→精车外圆→精铣槽→阳极氧化→喷涂，更改为卧式粗镗孔去除余量→稳定化处理→立式半精镗孔留余量至$\phi194.5^{+0.03}_{0}$mm、$\phi214.5^{+0.03}_{0}$mm→精车外圆→精铣槽→立式精镗孔→阳极氧化→喷涂[3]。具体工艺方案见表2。

表2　鼓轮加工优化后工艺方案

工序		工作中心	加工内容
10	车削	HT690	粗车外圆至ϕ245mm、总长至320mm，粗镗孔至ϕ190mm，孔口倒角60°
20	热处理	QYL	去应力处理
30	车削	HT690	用工装C两顶尖装夹，通车外圆至$\phi244^{0}_{-0.05}$mm
40	铣削	A82	用工装T1以外圆定位，铣削右端面留1mm余量，镗削ϕ195H7孔至ϕ192H7（定位部分距右端约30mm，其余自由公差），孔口倒角；钻铰右端面上2个M8及3个M6螺纹底孔，攻螺纹，钻铰ϕ6H7销孔，*X*、*Y*向与大孔中心距均为（72.8±0.01）mm；铣削左端面留1mm余量，总长铣削至（298±0.1）mm，镗削左端台阶孔至ϕ212H7，右面留2mm余量
50	车削	HT690	用工装C1以两端孔及右端面定位，通车外圆至$\phi242^{0}_{-0.05}$mm
60	铣削	V77L	用工装X1以两端孔及销孔定位，粗铣42个圆弧槽（直径留1mm余量），铣削槽内长孔、长槽，钻966个孔
70	热处理	WD	稳定化处理
80	铣削	A82	①用工装T1以外圆定位，校正，铣削右端面，镗削ϕ195H7孔至ϕ（194±0.05）mm，倒角。②“翻身”，校正，铣削左端面保证（296±0.3）mm至$296^{0}_{-0.1}$mm，镗削ϕ215H6孔、ϕ215H8孔至ϕ（214±0.04）mm，镗削退刀槽，镗削ϕ208mm孔至ϕ208.1mm
90	热处理	WD	稳定化处理
100	铣削	V77L	镗削ϕ195H7孔至$\phi194.5^{+0.03}_{0}$mm，ϕ215H6孔至$\phi214.5^{+0.03}_{0}$mm
110	车削	HT690	用工装C2以两端$\phi194.5^{+0.03}_{0}$mm孔和$\phi214.5^{+0.03}_{0}$mm孔定位，校正，车削各外圆、台阶面及宽为5mm的槽，倒角。工艺要求大外圆加工至$\phi241^{-0.15}_{-0.22}$mm，ϕ218f7台阶外圆加工至$\phi218.5^{0}_{-0.03}$mm，且与72mm右面垂直度＜0.015mm
120	铣削	V77L	①用工装X2以两端孔及销孔、右端面定位，精铣42个圆弧槽至$\phi8.7^{+0.15}_{+0.05}$mm（表面粗糙度值*Ra*=1.6μm）及左端斜槽、斜面；控制$\phi222.3^{0}_{-0.1}$mm尺寸至$\phi222.3^{-0.15}_{-0.25}$mm；校正M8螺纹孔，钻右端面及台阶面上其余各孔及螺纹底孔，孔口倒角，攻螺纹，铣削3处刀具保证要求的圆弧槽，M4暂不攻螺纹。②以$\phi218.5^{0}_{-0.03}$mm外圆靠72mm右台阶面，校正，压板压在宽为5mm的槽位置，均布3处，精镗ϕ195H7孔至$\phi195^{+0.1}_{+0.06}$mm、ϕ215H6孔至$\phi215^{+0.07}_{+0.05}$mm
130	钳工	QG	攻M4螺纹，去毛刺，修整10处宽为5mm的槽两侧棱边至光滑过渡
140	表面处理	YJYH	Al/Et.A50hd.cl（BK）硬质阳极氧化处理（注意螺孔保护，控制孔、台阶外圆尺寸精度），表面积约20dm^2
150	喷涂	PD	用工装ZY，按技术要求委外喷涂（ϕ218mm外圆及孔保护），防止磕碰划伤、变形
160	车削	HT690	用工装C3以两端ϕ195H7孔和ϕ215H6孔为基准轴向压紧，精车ϕ218f7外圆，倒角
170	钳工	QG	抛光槽

5 工艺方案验证

确定可行方案后，按照新工艺方案进行批量加工验证，对关键过程数据进行监控记录，入库前尺寸检测如图5所示，部分尺寸检测结果见表3。

图5 入库前尺寸检测

表3 入库前部分尺寸检测结果（单位：mm）

试件编号	设计要求	硬质阳极氧化		喷涂后入库检测（温度22℃）
		氧化前	氧化后	
1号试件	$\phi215^{+0.029}_{0}$	+0.05	+0.005	+0.01
		+0.06	+0.015	+0.025
	$\phi195^{+0.046}_{0}$	+0.06	+0.02	+0.03
		+0.07	+0.04	+0.045
2号试件	$\phi215^{+0.029}_{0}$	+0.05	+0.01	+0.02
		+0.05	+0.015	+0.02
	$\phi195^{+0.046}_{0}$	+0.08	+0.03	+0.03
		+0.07	+0.03	+0.04

零件入库检测圆度≤0.02mm，完全满足设计要求，合格入库。随后试件被安装至公司产品ZL29纤维滤棒成型机组，经测试运行效果良好。截至目前，已顺利完成多批次鼓轮零件加工，均合格入库。

6 结束语

鼓轮零件设计精度要求高，材料去除量大，加工变形不易控制。工艺设计过程中，通过改进装夹方式、优化加工余量控制、增加热处理去除应力和预留表面处理工艺尺寸等措施，避免了加工过程中零件变形，很好地保证了零件加工质量。该工艺方案已推广应用到其他规格零件的加工中，取得了很好的成效。

参考文献：

[1] 樊东黎，徐跃明，佟晓辉. 热处理工程师手册[M]. 2版. 北京：机械工业出版社，2005.
[2] 薛源顺. 机床夹具设计[M]. 北京：机械工业出版社，2011.
[3] 陈宏钧. 实用机械加工工艺手册[M]. 4版. 北京：机械工业出版社，2016.

MW 20241010

专家点评

鼓轮零件为铝合金薄壁长筒结构，四周均布异形长槽和网状圆孔，材料去除量大，加工变形不易控制，质量问题主要集中在变形造成的内孔和外圆超差上。作者通过优化工艺方案，改进装夹方式，合理安排热处理和局部表面处理，保证了鼓轮加工质量。

文章的亮点是薄壁长筒零件的装夹方式与变形控制，工艺方案和工序内容都比较详细。通过工艺优化，精镗孔工序由工装环抱式径向压紧更改为立式装夹轴向压紧。压紧过程通过千分表测量内孔变化和外圆侧母线位移情况，全过程监控变形量。通过控制加工余量、去除加工应力和预留表面处理工艺尺寸等措施，解决了加工过程中的零件变形难题，具有很好的实用性。