

■ 神龙汽车有限公司技术中心/刘裕安 熊富员

铝缸盖生产线工艺设计

追求质量与产出效益是企业永恒的主题。在生产线的工艺设计方案中，如何在保证零件加工质量的前提下，缩短无效工作时间，降低制造成本，提高产出效率是工艺设计的核心内容，也是精益生产思想的体现。

神龙公司前三期的工业化建设中，TU系列发动机缸盖有三种类型的生产线（见下表）。

生产线概览

建设 期	生产 线	产能 /万件	加工设备	上料方式	设备平面布 置形式特点
一期	缸盖 L1	20	专机	自动： 滚道	U形布局 一序一机
二期	缸盖 L2	22	日本牧野J4M 高速加工中心	自动： 机械手+滚道	岛式布局 一序多机
三期	缸盖 L3	20	法国柯玛 高速加工中心	手工+自动： 手工+简易机 械手+滚道	U形布局 一序一机

上述生产线都各具特点。一期投资时，产品品种单一，选择了专机生产线。近年来，随着产品品种不断更新，企业生产模式也逐渐柔性化，二、三期生产线设备由专机型过渡到数控加工中心型。在设备转型的过程中，生产线的产出效率备受工厂的关注。本文结合实践中的体会，围绕生产过程中出现的几个难点问题，从质量保证手段、缩短无效工作时间，提高生产线产出效率的角度进行分析、总结，探索新铝缸盖生产的工艺设计思路。

合理采用高速、柔性化切削设备

随着汽车产销量的不断增长，市场竞争加剧，品

种的换型改造节奏相对较快。缸盖是发动机品种结构变化最多的零件，同时，发动机缸盖逐渐由铝合金代替了铸铁材料，所以生产线尽量考虑柔性程度大、生产效率高的设备。

随着驱动、控制、材料、刀具、测试及安全等技术的进步，高速加工中心设备的应用越来越广泛，其性能稳定，对大批量铝质发动机缸盖的生产是个非常好的选择，我公司缸盖L2、L3生产线就选用了高速加工中心。

高速加工主要体现出以下几方面优点：

1) 铝质缸盖加工适合采用高速切削，提高加工效率，缩短工序节拍，特别是缸盖上的24个 $\phi 3\text{mm}$ 小润滑油孔的加工。

2) 高速切削加工，有利于减少工件在加工过程中的发热变形，特别在铣削加工中。因发热量降低，所以工件升温小，加工尺寸稳定，对刀具和设备造成的损害也小，缸盖是典型的薄壁箱体类零件，在缸盖燃烧室面的加工中得到显现。

3) 高速切削加工，零件表面粗糙度质量和精度容易保证，如液压挺杆孔、凸轮轴承孔等其表面质量要求都非常高。

4) 便于生产线实现多品种生产，便于品种的换型改造，降低品种换型成本（缸盖L2线目前可用于四个品种的混流生产，L3线可完成两个品种的生产）。

5) 便于切削参数的调整，有利于优化加工质量和提高刀具使用寿命。

6) 高速加工中心“集中加工”的特点，能够显

著缩短换刀、零件上下料、定位、装夹等诸多方面辅助时间,提高产出效率。但是,高速并非一定就是高效,这需要进行综合评价。一方面高速加工中心与普通加工中心价格相差较大;另一方面,刀具和被加工材料(如缸盖的阀座圈和导管材料是粉末冶金材料)是否适应高速切削,需要根据目前刀具的实际水平,以及被加工材料和工序内容的差异,合理选择相应速度的加工中心,这样可以减少投入费用,提高产出与投入的比例。经验显示,铝缸盖线的加工中心主轴转速16 000~24 000r/min较为理想。

生产线平面布置

1. 充分发挥加工中心设备的固有优势

随着高速数控加工中心设备的大量应用,在工艺平面设计时,如何充分发挥设备的性能,笔者认为工序集中是加工中心设备的一大显著优势。

工序集中便于采取“一序多机”的方案,将更多的加工内容集中在一道工序完成,为保证生产线节拍,采用多台数控加工中心完成本工序内容。其平面布置常常采用“并联式(岛式)”结构。我公司缸盖L2线和L3线都采用了高速加工中心,缸盖L2线是“一序多机”的并联式平面布置,缸盖L3线是“一序单机”串联式的U形布置。

生产实践经验证明,缸盖L2线在产出效率、降低生产成本方面有较多的优势,主要表现在:

1) 可缩短设备故障损失时间,提高设备综合利用率。如果一台设备出现故障,其余设备还可以正常工作,无效时间损失只有 $1/n$ (n 是本工序加工设备数)。

2) 有利于问题分析,相同工序内容的加工有可比性,可以缩短分析问题的时间。

3) 可减少刀具备用数量,降低刀具库存成本。“一序一机”的设备,每把刀具应具备用三套;“一序多机”布置的设备,由于加工内容相同,每把刀具只需备用 $2n+2$ 套(n 是相同设备数)。

4) 由于工序内容集中,减少定位、装夹环节误差,利于保证加工精度,提高零件质量。

5) 在同型号设备条件下,“一序多机”与“一序单机”布置的生产线,“一序多机”线设备总数量可以更少或相同。

6) 可缩短生产线长度,节约占地面积(产能、设

备相同的情况下比较)。

7) 在不停产的情况下,方便进行设备调整,做到生产、调试两不误。

8) 有利于减少操作人员。

2. “一序多机”合理选择上料方式

“一序多机”的工艺平面布置,上料方式通常有机械手上料方式、人工+助力气动吊具上料方式和人工+助力翻板上料方式,每种方式各有优缺点。

机械手上料方式(如缸盖L2线)优点是单台机械手可以完成一台或多台设备的上料;便于抓取较重的零件、随行托盘等,易实现多品种混流生产;自动化作业,劳动强度低,节省人工,便于控制工序节拍。缺点是生产线建设投资成本高(缸盖L2线用了10台大跨距双臂机械手);对机械手运行的可靠性要求高,一旦故障时将导致停线,影响产出率;由于手臂长,刚性差,位置易漂移,容易对零件定位部位造成磕碰伤;自动化程度高,维护技术难度大。

人工+助力气动吊具上料方式(简易机械手,如缸盖L3线)优点是单台份吊具制造成本较低,便于抓取较重的零件、随行托盘等,易实现多品种混流生产;单台气动吊具可以完成一台或多台设备的上料。缺点是需要人工介入,劳动强度较大;如果要多台设备共用一个吊具,平面布局较为困难;如果一机一吊具,整线配置数量较多,成本上升,总故障次数上升(如缸盖L3线)。

人工+助力翻板上料方式(见图1)优点是结构简单,制造成本低;便于平面布局;方便操作工对加工完的零件进行目测检查。缺点是零件与翻转板接触,容易造成铝缸盖接触面划伤,精加工工序慎用;需要人工介入,劳动强度较大,不适用较重的零件。

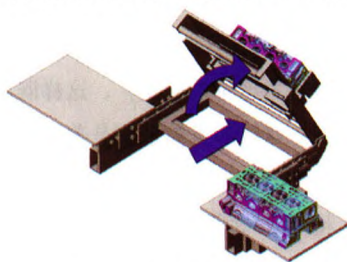


图1 人工+助力翻板上料方式

3. 线边检具的布置要尽量缩短无效产出时间

生产过程中,零件需要首件检查和中间检查。过去通常把零件搬运放到专用检查台上检查,这样较为

费时、费力。是否可以从生产线的平面布局角度来优化呢？对于人工上、下料的生产线，笔者认为尽量不用专用检查台，将检具优化到上下料位置旁边的滚道上（见图2），就近检查。其优点是可以缩短零件的转运时间，减少转运劳动强度；减少零件转运检查的磕碰概率；特别是对缸盖上一些倾斜角度位置（如：导管、阀座、液压挺杆孔）的检查更加方便。

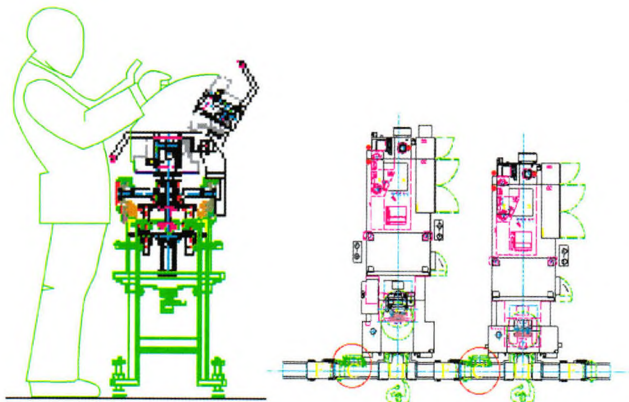


图2 检具布置在操作位置旁边的滚道上

选用性价比高的刀具充分发挥设备潜能

目前大部分高速加工中心的主轴转速每分钟1.6万~2.6万转，实际生产过程中远未得到充分发挥，潜力巨大。我们通过长期的生产摸索，一些切削性能好、工作寿命长、稳定性好、性价比高的刀具已大量在缸盖生产线上应用，有效地提高了生产效率和加工质量、降低了制造成本。

(1) 挤压丝锥的应用 在发动机缸盖上有许多相同公称直径的通孔和不通孔螺纹，由于排屑状况不同，通常采用通孔丝锥和不通孔丝锥两把刀具（见图3）加工。经过多次试验，成功地应用了挤压丝锥，这样仅用一把丝锥就可以完成通孔和不通孔的加工（挤压丝锥不用考虑排屑问题），这样既减少了换刀时间，同时挤压丝锥的进给速度是普通切削丝锥的两倍。其寿命可达23 000件/支（每件缸盖12个孔），单件成本由原来的1.24元降到了0.073元。

(2) 轻质、密齿刀具 缸盖属于典型的薄壁箱体类零件，包括燃烧室面，凸轮轴罩盖面，进、排气面，离合面和正时面。其中，燃烧室面技术要求严格，切削时容易产生变形，加工面积大，切削时间长。如果能够提高铣刀的切削速度，将会使零件变形

和加工节拍有较大改善。

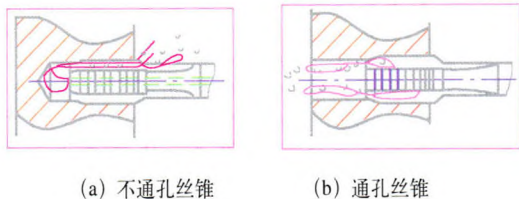


图3

针对该问题，我们采用了铝合金轻质密齿铣刀（见图4）。该刀有以下几个优点：铝合金轻质刀体可以减小离心力，降低回转扭矩，增加转速，提高设备利用率；主轴伸出长度大时，轻质刀体振动小，易保证加工质量；密齿铣刀可以在单齿切削量不变的情况下提高切削效率。实践证明，缸盖六大面的铣削时间缩短了18s/件，刀耗减少0.87元/件。



图4

(3) 组合刀具（复合刀具） 利用设备的柔性特征，加工工艺尽量采用减少或合并加工工序的方式，大量使用组合式刀具和复合刀具，可减少刀具数量、减少换刀时间和降低加工节拍时间。如火花塞台孔、液压挺杆孔和导管孔、液压挺杆和弹簧座面等复合刀具的使用，大大提高了加工效率。

(4) 选择性价比合适的新材料刀具 可以远远超越传统的切削“禁区”，充分发挥设备的高速切削性能，单位功率的金属切除率和刀具使用寿命都大大得到提高。如我公司缸盖线大量采用了PCD刀具和涂层刀具，由于其具有极高的硬度，在加工铝缸盖时使用寿命都在几千件工件，减少了换刀次数，提高了设备切削利用率和加工质量。

合理选择切削液系统的模式

切削液系统的模式主要有：单机、集中和小集中三种模式。这几种模式各有优缺点，单机配套系统需要较多的辅助空间，不利于设备密集的工艺布置，维护难度较大。笔者认为，单机（或自带切削液系统）更适合于单件、小批量生产的模式，年产量15万左右的生产线可以考虑小集中模式，年产20万辆份以上的生产线采用集中过滤更有优势。

集中过滤的优点主要表现在:

- 1) 集中过滤, 便于维护。
- 2) 便于机床与物流的合理布置, 设备占地面积相对较小。
- 3) 切削液添加集中在一个地方, 有利于改善生产环境、实现车间环保。
- 4) 有利于切削液品质管理, 从而稳定加工质量、延长刀具和机床的寿命。切削液品质管理包括: 温度监视与控制, 浓度监测与调节, 自动配液补液, 油水分离与除油灭菌等。
- 5) 有利于切削液净化再生、循环使用, 减少废液排放、降低运行成本。
- 6) 有利于切屑的处理利用、失效切削液的环保处理。
- 7) 有利于回液系统管道架空布置, 提高环境质量。

质量难题及预防措施

发动机铝缸盖生产线使用初期, 常常会遇到以下几个常见的质量难题, 这些往往不是加工的精度问题, 而是一些设计细节或边缘工艺中出现的, 但对产品质量影响大, 影响生产线的正常运行。

1. 零件表面划伤、压痕、磕碰

由于铝质材料的缸盖硬度低, 在输送、夹持和定位夹紧环节中非常容易造成缸盖接触部位划伤、磕碰和压痕现象, 因此, 在整个生产线的设计过程中尽量做到输送料道的侧导向部位尽量使用零件的非重要工作表面。输送导轨(面)连接处要保持平整, 导向件表面不能存在刃口结构或沉孔, 以免积屑造成零件表面划伤; 输送零件时, 尽量采用滚动输送方式, 因滑动方式已造成造成划伤; 在输送、定位加紧时, 保持与零件接触面之间干净, 无切屑; 使用燃烧室面定位时, 定位面尽量避开缸盖垫密封带位置, 以免产生压痕造成零件报废。

2. 清洁度

发动机缸盖清洁度要求严格, 缸盖形状复杂, 铝屑清理非常困难, 该问题也是同行业遇到的共同难题。工艺设计时, 不仅要重视清洗工艺, 它是一个从毛坯经切削加工然后清洗的全过程的系统性问题。

我们经过长期的实践探索, 总结了一套比较完善

的工艺方法, 主要包括以下内容:

- 1) 控制好毛坯清洁度, 特别是型腔内不允许存在块状型砂。
- 2) 刀具断屑问题是改善清洗效果的一个重点环节。
- 3) 进入最终清洗工序前, 应解决好零件表面的飞边、毛刺问题。
- 4) 清洗工艺要完善, 特别要处理好“单向”清洗造成的铝屑卡死问题。
- 5) 清洗设备要增加喷嘴堵塞状况低压检查装置, 便于定期维护。

3. 刀柄夹屑导致的质量问题

加工一些精度要求高的孔时, 常常会遇到加工偏大的现象, 其主要原因是刀柄夹屑所致, 尽管各类设备都有相应的冲屑、检测装置, 但效果不佳, 为了提高加工质量的可靠性, 笔者认为在取刀位置和刀库内配置可靠的刀柄清洁装置, 如图5所示的刀柄多角度清洗方式, 同时提高主轴气流清洁和夹屑报警效果。对关键孔径, 工艺应考虑防范监控措施, 如导管、阀座底孔, 堵盖孔及定位销孔等, 根据具体情况通过增加人工抽查或后序的位移、压力监控等手段加以防范。

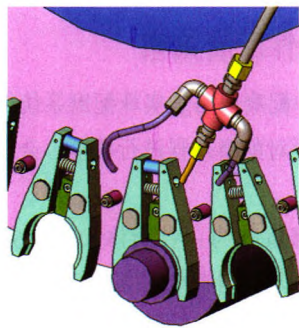


图5 刀柄冲屑机构

结语

以上是我公司在生产过程中的一些实践体会。制造工艺不仅要考虑加工出合格的零件, 同时要顺应市场设备、材料、检测手段等变化, 充分发挥好先进设备、刀具的潜能, 从各个环节缩短无效工作时间, 提高设备的利用率, 从而达到提高缸盖的产出率, 降低制造成本目的。

关键词:

铝缸盖 生产线 工艺设计

(收稿日期20131009)