

发动机气门图样设计时的工艺性考虑

■ 湖南天雁机械有限责任公司 (衡阳 421005) 江文广

摘要: 本文主要介绍在进行发动机气门图样设计时需要考虑的各类工艺性问题, 分别从气门毛坯制造、机械加工、热处理及表面处理等方面进行了详细的分析, 对产品结构和技术要求做了优化和改进。

气门是发动机工作过程中密封进排气口的关键基础零件, 用于封锁气流通道的、控制发动机的气体交换。其工作条件很恶劣, 不仅处在高温的氧化腐蚀性气氛中, 承受着反复的冲击负荷, 还受热应力及燃烧时气体压力等的共同作用, 这就要求气门具有合理的外形尺寸、足够的热强度、良好的耐磨性和使用寿命、良好的抗氧化腐蚀性能、良好的锻造及机加工性能等。气门设计时, 在确定好材料种类、表面处理方式后, 在满足气门强度、刚度及安装条件下, 合理地根据气门加工设备进行全方面的工艺性考虑显得非常重要。本文将对不同类型的气门在图样设计时应考虑的常见工艺性问题进行阐述。

1. 考虑工艺性问题的的重要性

在进行气门图样设计时, 考虑气门加工工艺性不但对气门生产厂家非常重要, 而且对发动机客户也很重要。对于气门生产厂家来说, 气门良好的加工工艺性有利于提高生产效率、降低生产成本, 是气门产品加工过程控制的重要保证; 对于发动机客户来

说, 气门良好的加工工艺性有利于提高产品加工质量及产品的一致性, 可提高产品的可靠性及在气门产品定价时的发言权, 且有利于降低发动机的生产成本。

2. 气门毛坯制造工艺性考虑

(1) 抛丸气门颈部平台设计。随着发动机市场竞争的日趋激烈, 越来越多的中小排量、高性价比发动机气门采用了气门盘部不加工的方案进行设计。气门盘部不加工方案即气门毛坯锻压或热挤压后进行抛丸处理, 后续将不再对气门颈部进行切削加工。

图1所示为某气门颈部不加工方案示意图, 图中双点划线表示

该气门对应的毛坯示意图。这种气门盘部的总厚度 ($L_1 \pm 0.2$) mm 尺寸是间接通过严格控制锥面加工余量保证的, 因此该尺寸过程控制的工艺性较差。

根据气门行业生产厂家的加工经验, 一般对这种颈部不加工的气门, 在气门颈部作增加平台结构设计, 如图2所示, 图中双点划线表示该气门对应的毛坯示意图, 由图中B的局部放大图可以清晰地看到, 气门颈部与气门锥面过渡区为0.5mm的平台。对于不同盘部大小的气门, 可根据实际情况合理设计平台大小, 不过为了减少该平台对进排气道的影响, 一般该平台高度为几百微

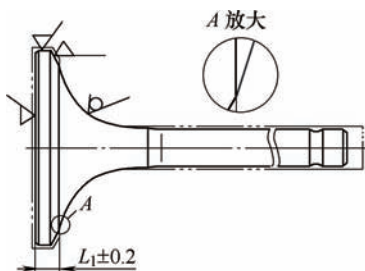


图 1

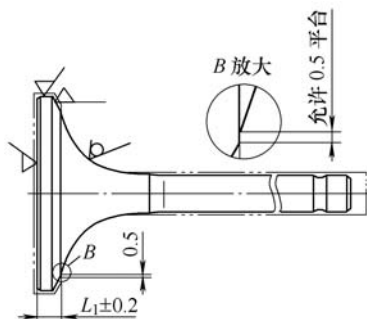


图 2

米到1mm。对比图1所示的气门产品，由图2所示的气门毛坯示意图可以看出，同样是通过控制锥面加工，不同的是图2所示气门成品允许颈部与锥面过渡部分存在0.5mm的平台，在实际加工中，对气门盘部总厚度 ($L_1 \pm 0.2$) mm尺寸较容易控制。

(2) 杆部与颈部过渡部分设计成锥度结构。如图3、图4所示，分别为两种气门产品及对应的毛坯示意图，双点划线表示该气门的毛坯轮廓。图3所示气门颈部需要机械加工，图4所示气门颈部不需要机械加工。虽然这两种气门杆部与颈部过渡台阶外圆没有锥度要求，但由于气门毛坯在锻压时必须要有有一定的拔模斜度（图3中气门毛坯杆部与颈部过渡台阶的拔模斜度为 3° ），所以这两种气门在此处的工艺性较差。

如图5、图6所示，分别是考虑了毛坯锻压时拔模斜度的工艺性而设计的气门图样，图中双点

划线表示该气门对应的毛坯示意图。相比上述图3、图4所示的气门产品，图5、图6所示气门产品有如下优点：在相同尺寸的情况下，过渡部分设计成锥度结构，可提高气门使用寿命及可靠性，减少气流在此区域内的冲击，还弥补了杆径增加而带来的成本增加的不足，解决了气门毛坯锻压时颈部拔模斜度与产品图样冲突的问题。

(3) 盘端面底窝设计。图7~图10所示为气门盘端面不同的底窝结构。在气门盘端面设计底窝的主要目的有：进排气门或相似气门的区别标志、减轻气门自身质量以及改变燃烧室。

多数气门采用底窝是为了作为进排气门或相似气门的区别标志，在这种情况下，考虑到加工工艺性因素，建议采用SR4mm、直径最大5mm的底窝结构，如图7所示。

有些气门厂家加工气门时，

需要以盘端面中心孔定位，此时在进行气门盘端面设计时，应允许盘端面有工艺中心孔结构，如图8所示。

对于摩擦焊双金属气门的盘端面，一般不建议采用底窝设计，因为在对摩擦焊焊接部位进行超声波探伤时，气门盘端面底窝会对超声波探伤造成一定的干扰。某些情况下，可对摩擦焊双金属气门的盘端面采用小凹坑平台设计，如图9所示，该盘端面的小凹坑平台设计可基本避免在进行超声波探伤时造成的干扰。

对于汽油机进气门，越来越多地采用盘端面大底窝设计，一种是将图9所示的小凹坑平台结构更改为大凹坑平台结构，另一种是采用如图10所示的大球窝结构。这种大底窝盘端面进气门在满足自身强度的情况下，可有效降低气门质量，减少气门落座惯性力。

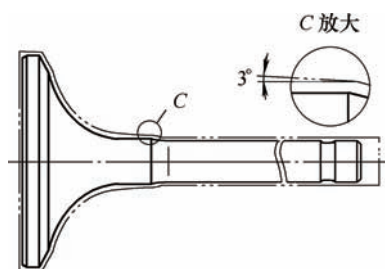


图 3

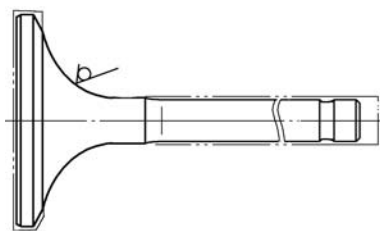


图 4

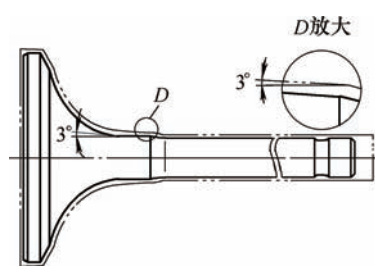


图 5

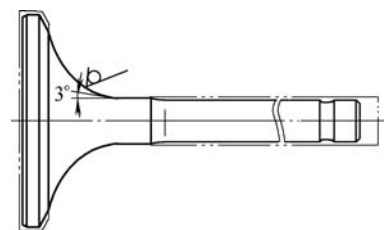


图 6

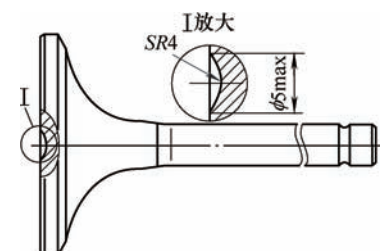


图 7

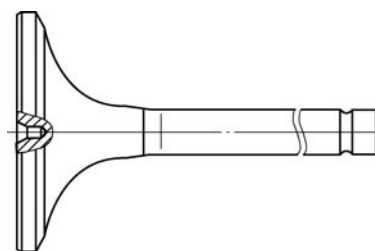


图 8

3. 气门机械加工工艺性考虑

(1) 锥面角度与颈部背角的角度差。如图11所示， α 为锥面角度， β 为颈部背角，在对该两角度进行设计时，考虑到加工因素，要求锥面角度 α 与颈部背角 β 至少存在 5° 的角度差。一般情况下，该角度差越大，加工工艺性越好，有利于提高产品质量及降低加工成本。

如图12所示， α 与 β 的角度差越大，磨削气门锥面的砂轮利用率越高，而当角度差过小或无角度差时，磨削气门锥面的砂轮利用率将会很低，会大幅影响气门锥面加工效率，因此 α 与 β 的角度差应 $\geq 5^\circ$ 。

(2) 杆端外圆尺寸的合理设计。图13、图14所示为某发动

机气门配气机构示意图，根据该装配图可知，气门杆端外圆处无配合要求，考虑到气门加工杆端外圆的工艺性，对于镀铬气门，该气门杆端外圆即为镀铬前气门杆部尺寸；而对于氮化气门，该气门杆端外圆即为气门工作杆部尺寸，因此在产品图设计该尺寸时，应考虑这些因素进行合理设计，一些有经验的发动机厂家一般对该尺寸进行不标注尺寸处理，即默认该尺寸为镀铬前杆部尺寸或氮化气门的杆部尺寸。

图15所示为某发动机气门配气机构示意图，根据该装配图可知，气门杆端外圆与气门桥一端为间隙配合，根据气门设计经验，对于杆径 $\leq 12\text{mm}$ 的气门，气门杆端外圆取 $(\phi D \pm 0.02)\text{mm}$ 。

图16所示为采用导向型气门

桥结构的配气机构图，气门杆端外圆与气门桥并无配合要求，考虑到加工工艺性，此尺寸设计要求同图13、图14一样。

(3) 杆部磨削长度的合理设计。在对气门杆部磨削长度进行设计时，应考虑现有设备的砂轮宽度规格，在满足气门性能的前提下，合理的杆部磨削长度设计有利于降低加工成本，提高产品性价比。

图17所示为某气门的两种杆部磨削长度设计方案，方案一的杆部磨削长度为152mm，方案二的杆部磨削长度为147mm，目前国内通用的无心磨床M1080等磨床的标准砂轮宽度为150mm，因此方案一的杆部磨削152mm超出标准砂轮宽度加工范围，在不影响其他气门设计指标的情况下，

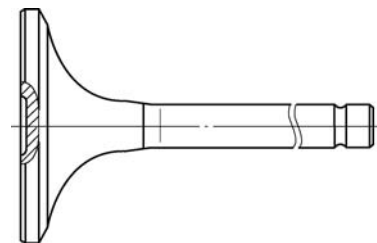


图 9

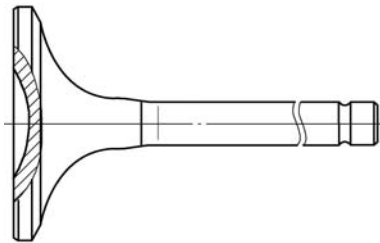


图 10

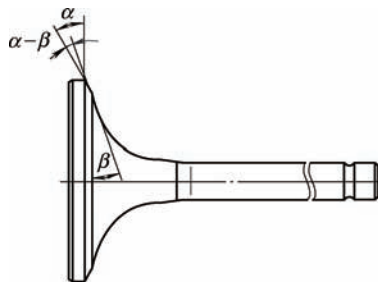


图 11

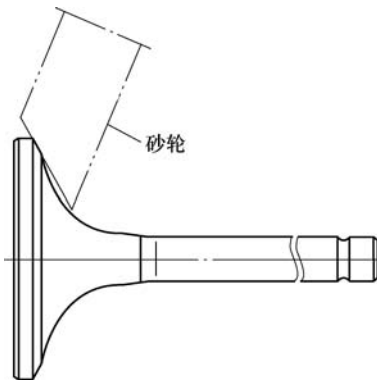


图 12

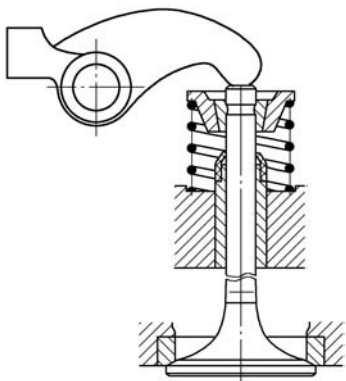


图 13

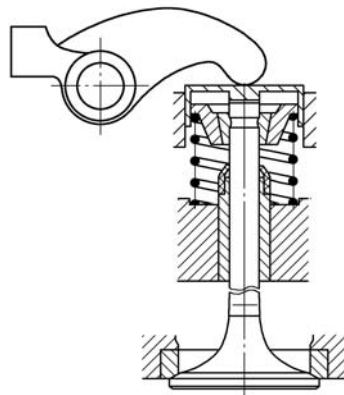


图 14

可以按方案二进行设计。

(4) 盘端面、杆端面倒角设计。气门的盘端面、杆端面都要进行倒角,图18、图19所示分别为盘端面、杆端面倒角两种不同的形式。盘端面倒角主要是起去除毛刺、减少应力集中的作用,一般采用车床加工,因此建议优先采用 45° 倒角形式,该形式加工简单可靠;杆端面倒角主要是起去除毛刺、减少应力集中或装配导向的作用,一般采用磨床、车床加工。在采用磨床加工杆端面倒角时,是和气门卡槽一起在磨床上利用成形精钢滚轮磨削完成,因此采用 45° 倒角及倒圆角 R 都可以,不过现场生产中更多是采用 45° 倒角形式;在采用车床加工杆端倒角时,优先采用 45° 倒角或其他角度倒角形式,

此时应尽量避免采用倒圆角 R 的形式。

4.气门热处理及表面处理工艺性考虑

(1) 氮化气门尺寸、形位公差设计。随着氮化气门越来越多地被使用,氮化处理后气门的技术要求较镀铬气门不同的特点正在被更多气门及发动机厂家所接受。由于镀铬气门镀铬后还可进行精加工,而氮化气门一般是在精加工完成后进行氮化处理,并且氮化过程是一个 $500\sim 560^\circ\text{C}$ 高温处理过程,相对而言,氮化气门精度较镀铬气门难于控制。

对于摩擦焊氮化气门,在图样技术要求中,应该明确说明氮化层深是指气门杆部还是盘部层深。由于摩擦焊两种不同的材料

在氮化过程中的变形不一样,因此气门杆部尺寸及形位公差应该适当相对镀铬气门放宽或在技术要求中特别说明。

(2) 气门杆端淬火要求的合理设计。气门杆端与摇臂、气门桥或挺柱直接接触,承受着操纵元件的高应力负荷,不允许其很快磨损,且要求其具备足够的抗冲击能力。因此要求在材料许可的条件下对其进行淬火处理。可以是表面感应淬火,也可以是透淬,透淬方式一般只应用在杆径 $\leq 6\text{mm}$ 的气门上,绝大多数气门杆端采用的是表面感应淬火处理。

随着气门杆端淬火技术的越来越成熟,更多的气门厂家在对气门进行杆端淬火时采用杆端仿形淬火。杆端仿形淬火又称U形淬火,即对气门杆端面及卡槽外圆处同时进行淬火,如图20所示。因此,对于马氏体气门杆部杆端面和卡槽在可以的情况下,对应进行表面淬火处理,以提高其耐磨性及使用寿命。

对于摩擦焊氮化气门,盘部为奥氏体材料,杆部为马氏体材料,杆端需要进行表面淬火处理。气门生产过程中,一般是先进行杆端淬火及精加工后,再进行整体氮化处理,由于氮化温度

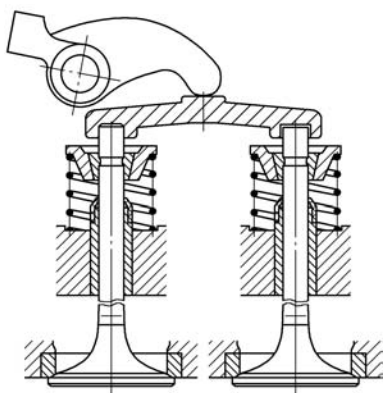


图 15

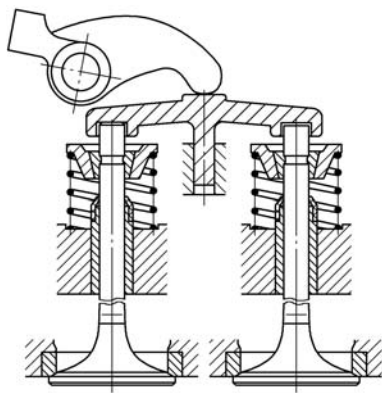


图 16

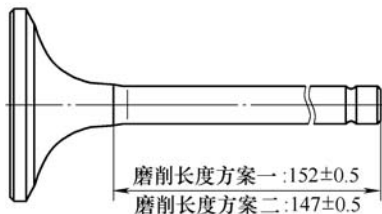


图 17

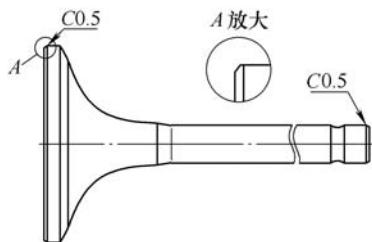


图 18

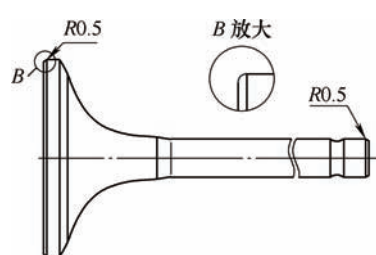


图 19

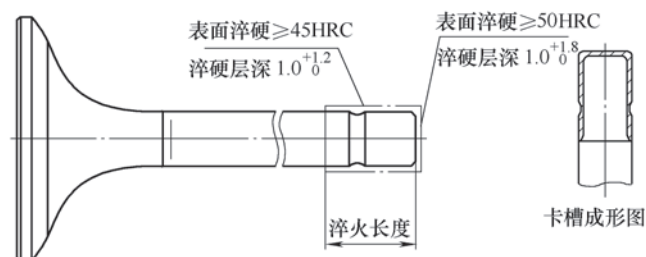


图 20

高达500~560℃，这样高的温度将使杆端淬火面临回火的风险，因此对于摩擦焊氮化气门杆端淬火，最低硬度不宜太高，一般设计为杆端淬火硬度 $\geq 50\text{HRC}$ （一般镀铬气门杆端淬火硬度要求 $\geq 56\text{HRC}$ ）。在适当降低最低杆端淬火硬度的同时，建议气门经氮化处理后，杆端面不磨削，这样有利于提高杆端面的耐磨性及使用寿命。对于杆端淬火的氮化气门，另外一种处理方法为氮化后再进行杆端淬火，然后加工锁夹槽、杆端倒角和杆端面。

(3) 杆部镀铬区域的合理设计。气门杆部镀铬能从根本上改善杆部耐磨、耐腐蚀性，目前市场上使用的镀铬气门铬层厚度一般在3~15 μm ，还有很少种类的高厚铬层气门铬层厚20~40 μm 。

通常气门镀铬区域的设计遵循的原则有：已装配的气门上，镀铬部分不允许出现在排气通道中；保证在任何情况下气门油封都在镀铬层上运动；镀铬边缘和杆端淬火界线不能重合；防止镀铬边缘和气门标记交叉。

对于杆部缩颈排气门，镀铬区域遵循的重要原则是得到台阶边缘的尖锐边角，以限制导管排气门侧端部的油积碳。对于先进

行杆部缩颈、精加工后再进行镀铬的气门，镀铬区域不应超过台阶边缘，以得到尖锐边角；对于先进行杆部镀铬、再进行杆部缩颈精加工的气门，镀铬区域应事先超过台阶边缘，再进行缩颈精加工即可得到尖锐边角。该方法适用于3~15 μm 厚铬层的气门，对于高厚铬层气门，在进行杆部缩颈精加工时，铬层易崩落。

5. 结语

在气门图样设计时，综合考虑工艺性是重要工作之一，特别是随着气门专用加工设备的逐渐普及，对于不同的气门加工工艺方法，在设计时所考虑的工艺性问题会有很大的不同，因此作为气门图样设计者一定要有相当的现场加工经验，这对提高气门及发动机设计水平很重要。

参考文献：

- [1] 王先逵. 机械制造工艺学[M]. 北京：机械工业出版社，2006.
- [2] 杨叔子. 机械加工工艺师手册[M]. 北京：机械工业出版社，2001.
- [3] 蔡春源，汪恺，等. 机械设计手册[M]. 北京：机械工业出版社，2000.
- [4] 孙丽媛. 机械制造工艺[M]. 北京：冶金工业出版社，2007.

[5] 李益民. 机械制造工艺设计简明手册[M]. 北京：机械工业出版社，1994.

MW (收稿日期：20160301)

专家点评



图样设计是产品制造的源头，既要满足使用要求，又要做到经济适用。作者在发动机气门图样设计时，充分考虑到制造过程中存在的各类工艺性问题，针对毛坯成形、机械加工、热处理及表面处理等加工环节进行综合分析，对产品结构和技术要求都做了一些优化和改进，合理设计贯穿整个工艺流程。文章很全面，符合当前的制造工艺性和加工条件，从图样设计中总结出机械加工的技巧与精髓，很值得我们学习。