

活塞的加工质量分析与控制

□ 山东滨州渤海活塞股份有限公司/赵庆阳

依据目前活塞的机械加工现状，从机床使用及加工方法等方面分析影响活塞加工质量的主要因素，并探讨适合的解决办法。



活塞是汽车发动机的关键件，承受交变的机械负荷和热负荷，是发动机中工作条件最恶劣的零部件之一。随着汽车整车对发动机的动力性、经济性、环保性及可靠性的要求越来越严格，活塞已发展成为集轻质高强度新材料、异型外圆复

合型面、异型销孔等多项新技术于一体的高技术含量的产品。目前活塞的机械加工制造已发展为以数控加工机床为主，从多台单机、人工操作的多工序加工，逐步向组合式加工机床、以机器人实现上下料的自动化加工。

关键工序分析

在活塞的使用过程中，影响发动机使用效果的主要特征为活塞的环槽质量、销孔质量及外圆质量等。因此在工艺流程上，将加工精车环槽、精镗销孔工序及精车外圆工序的设备设为关键设备，并将此

三道工序设为关键工序。现以此三道工序为重点,分析影响活塞加工质量的主要因素及适合的解决措施。

1. 活塞环槽的加工

随着对活塞“低耗、高效、耐用”要求的不断提高,在高增压和高负荷柴油机活塞上,其第一环槽或一、二环槽上铸出高镍奥氏体铸铁环如图1所示,分别为活塞本体和铸铁环,此项铸铁环技术的运用越来越普遍。



图1 铸铁环槽活塞结构

当前对环槽侧面的加工精度要求越来越高,尤其是其侧面粗糙度的要求,典型产品由原来的粗糙度值要求 $R_a 1.25 \mu m$ 提高到 $R_a 0.8 \mu m$,高性能产品要求达到了 $R_a 0.4 \mu m$ 。影响铁环槽表面粗糙度的主要因素除加工设备外,加工使用的刀具及加工方法是目前急需解决的问题。而目前存在的主要问题在于,加工铁环槽时刀具磨损速度快,刀具寿命相对较低,尤其是加工的铁环槽为斜槽时,由于刀具的磨损速度快,磨损规律具有一定的不确定性,影响了活塞加工的质量和生产效率。

加工铸铁环槽通常由粗精加工两工步完成。粗加工刀具使用硬质合金刀具中的YD15材料,精加工采用立方氮化硼(PCBN)刀具。精加工时进给方式采用轨迹法,一把PCBN刀具可加工活塞700只。PCBN刀具与传统的硬质合金刀具相比,其使用寿命明显提高(一把

YD15硬质合金刀具金加工活塞仅100余只)。但使用PCBN刀具在加工过程中,还存在着刀具微量磨损快的问题,特别是在加工斜铁环槽时,每加工70余只活塞,就需要进行程序调整来补偿进刀量,否则环槽宽度将变窄。但由于刀具在磨损过程的不确定性,目前只能通过加大检验频次的手段,对环槽宽度进行监测,以便调整进刀量,此加工现状不利于加工效率的提高。

为进一步提高环槽表面粗糙度质量,做相关试验发现,当使用PCBN刀具精加工铁环槽时,加工90件后,在扫描电镜下进行观察刀具表面形貌如图2所示,刀具的刀尖部分粘有切屑,检测环槽表面粗糙度由加工初期的 $R_a 0.4 \mu m$ 变化为 $R_a 1.0 \mu m$ 。可见用PCBN刀具加工耐磨铸铁时,由于PCBN刀具本身具有高稳定性的特点,刀具的基体组织基本上不产生氧化反应。但由于加工耐磨铸铁过程产生大量切削热,会使切削区的切削温度较高,铸铁材料产生扩散磨损,在刀具表面产生一定的积屑瘤,积屑瘤的存在影响了铁环槽侧面的表面质量。



图2 PCBN刀具

在汽油机活塞上,为提高发动机的使用性能,活塞的环槽一般要求加工成如图3所示的碟形结构,目前常用的加工方式有两种,一种为通过刀具的倾斜,来实现碟形槽的加工,此种加工方式受刀具刚性

等的影响(汽油机活塞环槽宽度较窄,一般在1.5mm左右),加工过程中环槽的碟形角度变化较大,同时刀具的磨损较快,不能满足批量化生产的需要。而比较成熟的加工方式是设计机床的中托板能实现一定的角度倾斜功能,使加工刀具与中拖板实现同时倾斜,减少加工过程中的振动,从而较好的保证了环槽碟形槽加工质量的稳定性。

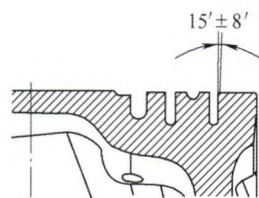


图3 汽油机活塞结构

2. 活塞销孔的加工

随着发动机燃油耗的降低及输出功率和排放功能的不断提高,活塞所承受的燃气压力和惯性力也越来越高,因而作为支撑部位的活塞销孔所承受的循环载荷就越高。受此影响,活塞的销孔加工质量也有了更高的要求,其中较难解决的是销孔表面粗糙度的要求和活塞销孔异形结构的加工。

(1) 销孔表面粗糙度的提高。活塞销孔表面粗糙度要求进一步提高,从 $R_a 0.8 \mu m$ 进一步提高到 $R_a 0.4 \mu m$ 。传统的工艺过程当销孔表面粗糙度质量要求较高时,可在销孔进行精镗销加工后,进一步使用压光芯轴对销孔表面进行滚压,来实现表面粗糙度质量的提高,但采用此种方式容易造成销孔表面几何公差(如圆柱度)要求达不到精度要求,反而使活塞的使用性能降低。在机床不变的情况下,对加工刀具和加工参数进行试验研究,结

果表明：精加工时设置切削深度为0.08mm，机床转速为2 800r/min，进给为0.05mm/r时，销孔表面粗糙度可达到 $R_a0.4\mu\text{m}$ 左右的加工水平。实践表明，镗活塞销孔用的镗杆抗振性、镗孔刀具的材质对销孔表面加工质量的影响也极为关键，在加工时需重点关注。

(2) 销孔异形结构的加工。
为避免活塞销座在发动机内工作时产生应力集中现象，避免因应力集中而在销孔部位产生开裂，活塞销孔的内边缘会设计成如图4所示的锥形形状或双曲面形状。理论研究表明异形销孔结构可有效降低应力集中30%左右，同时可减少活塞销孔的磨损，有效提高活塞的使用寿命。

活塞异形销孔的加工，机床的精度是关键。目前国内高精度的活塞专用异形销孔活塞加工机床，采用了数控系统与机电放大微进给控制系统相结合的方式，利用机电控制达到最佳匹配的微进给控制系统，使每个脉冲当量的进给精度能达到 $0.03\mu\text{m}$ 。此加工精度有效满足了活塞销孔异型的加工要求。

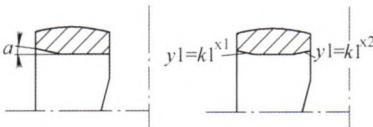


图4 异形销孔结构

3. 活塞外圆加工

根据活塞在发动机中所受的交变机械负荷及热负荷的恶劣工作条件和变形规律，现代高性能活塞的外圆设计为异形外圆复合型面。以图5为例，加工这种复杂的异形外圆复合型面是高性能活塞加工技术领域的重大课题。同时随着配缸间

隙的要求越来越高，活塞的外圆尺寸加工精度进一步提高，例如以适配 $\phi 100\text{mm}$ 缸径的活塞为例，尺寸公差已由 ± 0.03 ，分三组装配，减少为 ± 0.01 ，不分组装配使用。

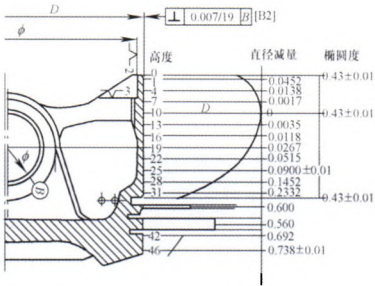


图5 活塞外圆型面

活塞精度的提高对机床使用性能有了更高的要求。目前国内部分厂家仍采用立体靠模仿形技术进行加工，此加工方法特点在于仿形车床的设备结构简单，成本较低，加工时操作与调整方便，但对仿形用靠模的制造精度要求高，靠模的制造周期长，制造费用高，不适合目前普遍存在的多品种小批量化活塞生产的需求。

同时用靠模仿行加工时，受加工原理影响，机床转速不能太高，仿行加工用外圆机床转速一般控制在500~650r/min，为保证外圆形状精度，刀具进给速度控制在150~200mm/min，加工效率较低。

最新开发使用的数控外圆活塞加工机床采用数控高频直线刀架床，通过数控编程系统控制活塞曲面形状的加工，其优点在于：加工精度高，响应速度快，生产效率高，机床转速达到1 200r/min，刀具进给速度350~450mm/min，比立体靠模仿形技术加工，效率得到了有效提高，同时有效保证了尺寸精度的要求。加工后的活塞如图6所示。



图 6

结语

随着市场竞争的激烈，企业要在全球市场有效地竞争并保持盈利，必须不断提高加工水平并努力降低加工成本。随着数控技术的发展，使机械加工效率越来越高，但高速切削、高稳定性加工、等有别于传统切削的切削方式，对数控刀具、过程质量控制等提出了更高的要求。还需进一步研究刀具的切削性能，统计过程控制技术的应用等，以期实现生产效率和加工质量的进一步提高。 **AUTO1950**



赵庆阳
高级工程师
山东滨州渤海活塞股份有限公司质量部
从事活塞的机械加工过程质量的研究