

发动机缸孔平台网纹珩磨技术

随着汽车发动机向着高功率、高寿命、小尺寸、低排放的方向发展,对发动机缸孔的设计精度和加工质量提出了更高的要求,平台网纹珩加工技术就是能够保证上述要求的有效手段之一。

平台网纹珩

珩磨是利用安装于珩磨头圆周上的一条或多条油石,由涨开机构将油石沿径向涨开,使其压向工件孔壁,以便产生一定的面接触。同时使珩磨头旋转和往复运动,零件不动;或者珩磨头只作旋转运动,工件往复运动,从而实现对孔的精加工。平台网纹珩就是在普通珩磨的基础上再增加一道精加工——用油石将缸孔表面网纹的尖峰磨掉,形成微小的平台。它的优点是提高了活塞环对缸孔内壁的气密性能,降低了排气量,提高了功率;加大了缸孔的支撑度,减少了初期磨损,缩短了缸孔的磨合时间;形成的油膜改善了活塞环在缸孔内作往复运动时的润滑条件;减小了机油的流失,进而降低了机油消耗。

平台网纹珩的评价项目

1. 缸孔表面质量评价

按照ISO13565 (DIN4776) 标准对缸孔表面质量进行评价,具体项目如下:

(1) R_k (核心粗糙度深度) 是指粗糙度核心轮廓的深度。粗糙度核心轮廓是指去除突峰和低谷表面粗糙度轮廓。

(2) R_{pk} (去除的峰值高度) 是指高于粗糙度核心轮廓突峰的平均高度。

(3) R_{vk} (去除的谷值深度) 是指低于粗糙度核心轮廓的低谷的平均深度。

(4) M_{r1} (支撑率) 是由粗糙度核心轮廓与突峰相交线确定的水平线所对应的百分数。

(5) M_{r2} (支撑率) 是由粗糙度核心轮廓与低谷相交线确定的水平线所对应的百分数。

(6) 圆度 是指一个垂直截面的最大尺寸与最小尺寸的差值。

(7) 圆柱度 是指若干个垂直截面(缸孔取三个垂直截面)的最大尺寸与最小尺寸的差值。

2. 评价参数与支撑率曲线之间的关系

上述参数之间的关系如图1所示。

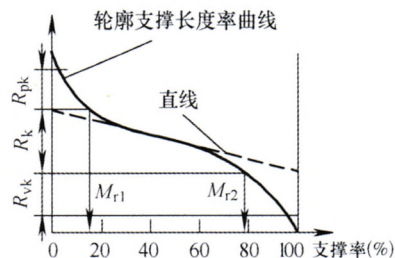


图1 支撑率曲线 (Abbott曲线)

3. 缸孔表面质量的评价项目与发动机性能之间的关系

缸孔表面质量的评价项目与发动机性能之间的关系见附表。

评定项目与发动机性能的关系

发动机性能	目标	缸孔加工质量	评价项目	效果
低燃油耗	减少摩擦阻力	提高形状精度	圆度、圆柱度	降低活塞环弹力
		改善粗糙度(表面)	R_{pk} 、 M_{rl}	削减惯性运动
低排放	减少机油油耗	改善粗糙度(深部)	R_{vk} 、 M_{r2}	削减贮油量
抗咬合性	提高润滑稳定性	改善粗糙度(深部)	R_{vk} 、 M_{r2}	维持贮油量
		减少塑性流动层	表面、断面照片	维持石墨润滑性能

4.平台网纹珩的工艺要求

我公司的发动机缸孔为无缸套结构，材料为灰口铸铁（HT250）。平台网纹珩的工艺要求是：缸孔直径为 $750\pm0.015\text{mm}$ ，圆柱度 $\leq 8\mu\text{m}$ ，圆度 $\leq 6\mu\text{m}$ ，垂直度 $\leq 0.05\text{mm}$ ， R_k 为 $0.2\sim 0.8\mu\text{m}$ ， $R_{pk}\leq 0.3\mu\text{m}$ ， R_{vk} 为 $0.5\sim 1.5\mu\text{m}$ ， $M_{rl}\leq 8\%$ ， M_{r2} 为 $65\%\sim 85\%$ ，网纹交叉角为 $(45\pm 5)^\circ$ 。

平台网纹珩的加工设备

我公司使用的设备是NAGEL珩磨机，共有六个工位，可以加工多种型号的缸体，工件通过一个由伺服电动机控制的步进式输送系统进行输送。

(1) 一工位（型号识别） 工位上装有缸体型号的识别装置，产品换型时机床根据位置传感器发出的识别信号自动切换加工程序。

(2) 二工位（粗珩1~4缸孔） 采用具有主动测量功能的单进给珩磨头进行加工：珩磨条由步进电动机控制进行定量进给（机械涨缩），旋转速度为 400r/min ，往返速度为 35m/min ，加工余量为 $40\sim 45\mu\text{m}$ ，每次往复的珩磨量为 $3\mu\text{m}$ ，往复次数取决于主动测量的结果。

(3) 三工位（精珩、平台珩1、3缸孔） 采用具有主动测量功能的双进给珩磨头进行加工。精珩：珩磨条由步进电动机控制进行定量进给（机械涨缩），旋转速度为 255r/min ，往返速度为 25m/min ，加工余量为 $30\sim 35\mu\text{m}$ ，每次往复的珩磨量为 $2\mu\text{m}$ ，往复次数取决于主动测量的结果；平台珩：珩磨条由液压控制进行定压进给（液压涨缩），旋转速度为 255r/min ，往返速度为 25m/min ，加工余量为 $2\sim 3\mu\text{m}$ ，往复次数设

定为七次。

(4) 四工位（精珩、平台珩2、4缸孔） 加工方法同三工位。

(5) 五工位（缸孔检测） 自动检测缸孔直径，并把测量数据反馈给三、四工位进行尺寸补偿。

(6) 六工位（缸体翻转） 通过自动翻转装置把缸体翻转 270° ，倾倒残留的珩磨液。

珩磨的进给量、进给压力、往复速度、旋转速度、工作冲程和超越量都是由NC控制，可以通过修改程序优化工艺参数；机床还具有主动测量、自动补偿、修正误差的功能；精珩和平台珩在同一工位上完成，避免了重复定位的误差。

珩磨头的涨缩系统

珩磨头油石的涨缩主要有机械涨缩和液压涨缩及两者的组合，如图2所示。

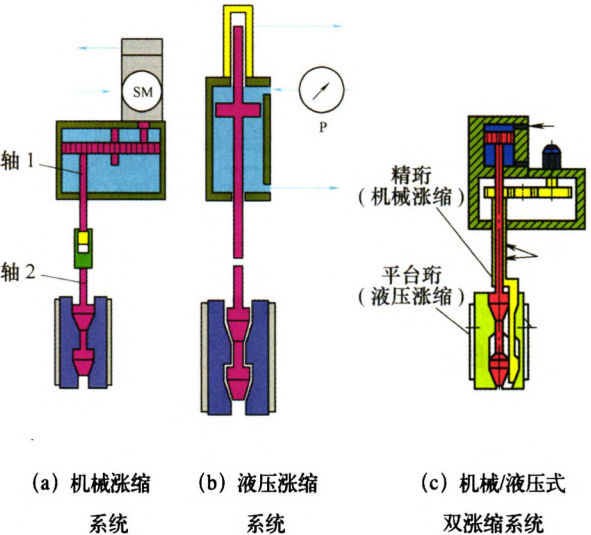


图 2

1.机械涨缩

机械涨缩的工作原理：步进电动机带动三个齿轮旋转，旋转的轴1通过丝杆螺母机构使轴2进行轴向运动。轴2上的锥形涨芯推动珩磨条实现径向进给。步进电动机的脉冲频率和脉冲当量决定珩磨条的径向进给量，其控制过程如图3所示，图中VE、KE分别为油石从起点（GRS）快速涨刀，当碰到缸孔（SOF）时，油石和缸孔之间产生转矩，步进电动机的电流强度骤增，控制系统发出信号，接着油石缩刀到EAH位置，再次涨刀到靠近缸孔的ZSV位置，开始珩磨。

粗珩时，油石始终以一个涨刀速度（ V_1 ）来珩磨；精珩时，油石以两个涨刀速度（ V_1 、 V_2 ）来珩磨，之间有一个缩刀（ZSZ位置）和涨刀（ZSV位置）的过程，用于进行静态检测。接下来进入无涨刀动作的延时光整阶段（AFZ），用于提高缸孔的表面质量。

珩磨结束后，油石从GVH位置快速缩刀到起点位置（GRS）。在珩磨过程中，可通过监控涨刀压力来控制油石的涨刀速度。图6中，VE、KE分别为快速涨刀的涨刀速度和涨刀压力； V_1 、 K_1 分别为珩磨时的涨刀度和涨刀压力； V_2 、 K_2 分别为珩磨时的涨刀速度和涨刀压力；AFZ为珩磨结束前的延时光珩磨时间；UM1、UM2分别为功能转换点1和功能转换点2；GVH为珩磨结束时的缸孔直径尺寸值；MIG、PLG分别为机械涨缩的负极限和正极限；MIK为负向边界距离；KOG、KOR、KOM、KMA分别为各尺寸补偿值。

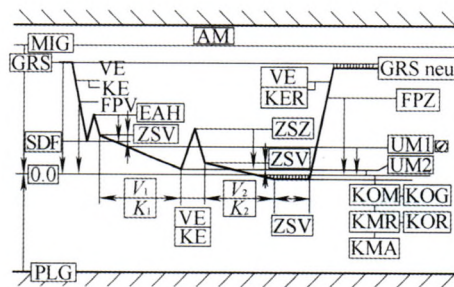


图3 机械涨缩控制图

2. 液压涨缩

液压涨缩的工作原理是：液压缸带动锥形涨芯做轴向运动，锥形涨芯推动珩磨条实现径向进给，通过压力调节阀调节珩磨条的径向进给力，油压恒定时进给力也恒定。其控制过程如图4所示，STC、STK分别为平台珩磨时的涨刀时间和涨刀压力；ZZU、KZU分别为平台珩磨结束返回时的缩刀的时间、缩刀压力； K_{R1} 、 K_{R2} 、 K_{R3} 分别为平台珩磨时的涨刀压力；ABZ、ABK分别为平台珩磨结束前的最终光珩磨的时间和光珩磨压力。图中STC、STK分别为在珩磨头进入孔后，油石开始涨刀，直到碰到缸孔。这时进入珩磨阶段。在第一阶段珩磨中，可以根据需要设置多个涨刀压力（STZ、 K_{R1} 、 K_{R2} 、 K_{R3} ），一直加工到预先设定的尺寸；在第二阶段珩磨中，涨刀压力降低到ABK，珩磨头根据设置的时间（ABZ）进行光整加工。当珩磨完成后，油石以设定的缩刀压力（KZU）快速缩刀，珩

磨头离开缸孔。

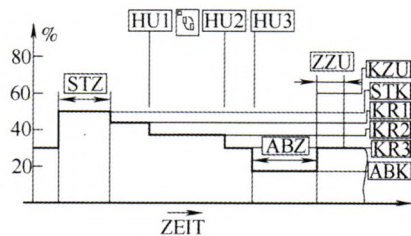


图4 液压涨缩控制

主动测量系统

1. 测量原理

如图5所示，珩磨头上配有气嘴测量装置，在珩磨时可对孔进行无接触气动测量。压缩空气经由一个旋转气流分配器进入珩磨头，并通过珩磨头中部径向两个互为 180° 的气嘴喷射到被加工的孔壁上，在气嘴各个加工表面之间将产生回弹压力，这个压力差将通过气电转换仪转换为电子信号发送到控制系统。再由控制系统控制机床相应的执行机构，完成主动测量的全过程。

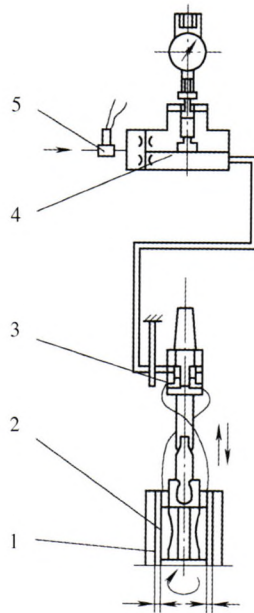


图5 测量原理

1.气源部分 2.压力型气电仪 3.旋转密封装置 4.测量头 5.工件

2. 主动测量系统的控制

珩磨机通过珩磨头上的气动测量装置对孔的三个截面进行在线测量，测量方式有动态和静态测量两种。

(1) 动态测量 珩磨头上的气动测量装置在每个行程均测量一次孔径，一直到加工结束。

(2) 静态测量 当缸孔的加工尺寸比最终尺寸长 $10\mu\text{m}$ 时（动态测量的结果），珩磨头停止精珩，探入缸孔内在静止状态下进行测量，再根据测量结果在后续的珩磨中对形状误差进行自动修复。静态测量比动态测量的测量结果精确度高。

平台网纹珩的工艺参数

1. 珩磨余量

珩磨的加工余量取决于工件材料、夹具的刚性以及珩磨前的内孔质量。余量小，不能充分消除缸孔固有误差，重新建立精度；余量大，珩磨时间长，加工效率低，油石磨损快，加工精度不稳定。我公司缸孔珩磨的加工余量为粗珩 $40\sim 45\mu\text{m}$ ，精珩 $30\sim 35\mu\text{m}$ ，平台珩 $3\mu\text{m}$ 。

2. 珩磨压力

选择珩磨压力取决于油石类型、油石硬度、工件材质、加工余量及表面粗糙度的要求。在粗、精珩阶段（机械涨缩），珩磨压力体现为油石的涨刀速度。涨刀速度过小，则会导致网纹过浅，生产效率慢；涨刀速度过大，则会导致油石消耗大，表面粗糙度变差，缸孔热变形量大，形状误差大，缸孔表面烧伤。NAGEL珩磨机是通过设定珩磨压力的方式来控制油石的涨刀速度。在平台珩阶段（液压涨缩），设定合理的珩磨压力，可以保证有效地磨去波峰，同时保有一定深度的沟槽。我公司平台珩的珩磨压力设定为 $9\times 10^5\text{Pa}$ （平台珩阶段）和 $3.4\times 10^5\text{Pa}$ （光整珩阶段）。

3. 珩磨速度

珩磨速度 V 是由旋转速度 $V_{\text{旋}}$ 和往复速度 $V_{\text{往}}$ 合成的。珩磨条利用这种合成速度在缸孔上切削出交叉网纹，形成网纹交叉角 θ 。 θ 的大小和均匀程度决定了缸孔表面油膜的稳定性和机油油耗的大小，影响着发动机的性能。NAGEL珩磨机通过MS-U4系统全程监控由伺服电动机控制珩磨速度，出现问题自动报警。

4. 工作冲程

珩磨的工作冲程与缸孔的形状误差的关系为，当工作冲程下移时，缸孔底部偏小；当工作冲程缩短时，缸孔的上、下端偏大；当工作冲程加长时，缸孔

的上、下端偏小。NAGEL珩磨机通过Macroform控制方式实现在线三个截面的测量，并根据测量的结果，自动调整工作冲程（调整砂条的越程量或者实施局部的短冲程珩磨），实现形状误差的自动修正（见图6）。

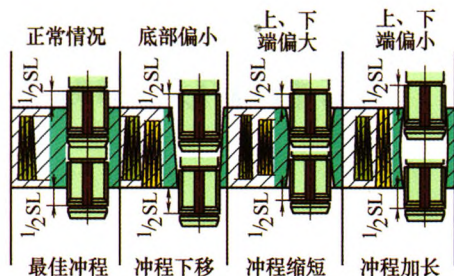


图6 Macroform控制-自动纠正孔的形状

5. 珩磨液

珩磨液具有冲洗、冷却、润滑的功能，大量的珩磨液通过缸孔时带走切削热、脱落的磨料和切屑，保证了加工精度。我公司使用好富顿公司的水基珩磨液（HOCUT F8-56HRT），浓度为 $5\%\sim 8\%$ ，为了最大限度地发挥珩磨液的作用，NAGEL珩磨机通过磁性分离器和纸带过滤器让珩磨液保持干净，并通过温度调节装置将珩磨液的温度始终维持在 $(20\pm 2)^{\circ}\text{C}$ 。

6. 珩磨条

珩磨条相当于切削刀具，用来去除余量并达到一定的精度要求，珩磨条对珩磨质量和效率起着最关键的作用。珩磨条的粒度和硬度是两个重要参数，粒度越大，则珩磨效率越高，但表面粗糙度变差；硬度越高，珩磨条的寿命越长，但切削性能变差。珩磨条材料常用的有金刚石和碳化硅两种，我们采用的是硬度较高的铜基金属结合剂金刚石珩磨条，粗珩、精珩、平台珩的珩磨条粒度分别为D151、D54、D15。使用寿命均达到10 000件以上，珩磨条更换频次少，保证了加工的一致性，同时减少了辅助时间。

关键词：

发动机 缸孔 平台网纹珩磨

(收稿日期20121121)