

铸铁缸体缸孔珩磨工艺及检测技术探究

■ 一汽海马动力有限公司（海南海口 570216） 司圣春

摘要：缸孔作为发动机活塞运动的场所，其加工质量对减小运动副摩擦力、降低机油消耗都有重大意义，因此对缸孔的珩磨工艺提出极高要求。本文就缸孔珩磨工艺、缸孔质量检测技术及缸孔加工质量影响因素等方面进行了分析研究。

珩磨可在缸孔或缸套表面形成一种特殊结构，该结构由具有储油功能的深槽及深槽之间的微小支承平台表面组成，可有效提高缸孔表面耐磨性、油膜储存性，降低机油消耗，缩短发动机磨合时间。珩磨还可以提高缸孔的直径尺寸精度、缸孔形状精度等。

1. 珩磨工艺系统介绍

(1) 珩磨刀具结构介绍。缸孔表面特殊的网纹结构主要在精珩/平台珩工位形成。由于要获得理想的表面平台网纹结构，对精珩和平台珩的同轴度要求很高，因此将两个阶段合并成一次加工更为合理。

通过设计成有双进给装置和

装有精珩、平台珩两种珩磨条的珩磨头，能够实现一次装夹即可完成精珩和平台珩，消除了重复定位误差的影响，可以减轻前工序加工的压力和对机床精度过高的要求。精珩/平台珩珩磨头结构如图1所示。

珩磨头采用双进给机构，可实现精珩、平台珩磨条的进给。

双进给机构一般分为机械/液压式、机械/机械式和液压/液压式等三种类型（见图2）。

在实际使用中，珩磨头一般选用机械/液压式类型。

(2) 气动测量系统。气动测量系统利用测头在加工中进行在线测量，利用珩磨头的旋转及往复运动可以测量缸孔任意截面的

直径，及时反馈缸孔形状变化，以进行珩磨行程、珩磨时间等参数的调整，保证缸孔良好的孔径及圆柱度要求。

(3) 珩磨液冷却过滤系统。珩磨液冷却系统对珩磨质量有重要影响，冷却液能及时带走加工产生的热量，及时冲洗掉珩磨的微粒。

冷却系统也要具有良好的过滤功能，以便去除冷却液中残留的铁素体颗粒、脱落的磨粒及粘结剂等，保证加工质量。

珩磨机冷却液的过滤系统一般采用两级过滤，第一级是磁选过滤，滤掉较大的颗粒和切屑，第二级是过滤纸过滤。经过上述两级过滤，过滤精度可达20~60μm，满足珩磨加工的要求。

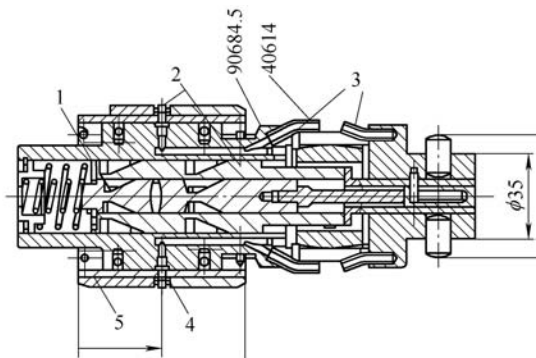


图1 双进给珩磨头结构形式

1.平台珩进给机构 2.精珩进给机构 3.进气软管 4.气嘴 5.导向条

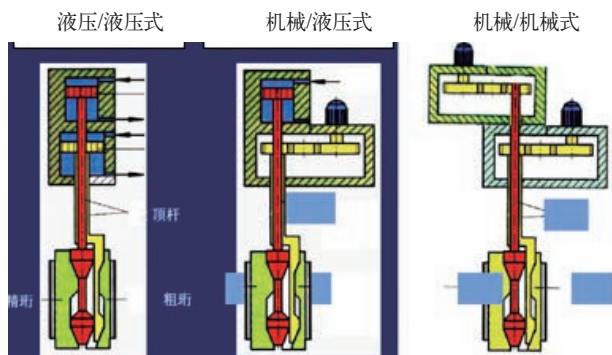


图2 不同的双进给结构形式

2. 珩磨后缸孔质量的测量

珩磨后缸孔测量的主要项目有：直径测量、圆度/圆柱度测量、表面形态、表面粗糙度和珩磨角度等。现就表面形态评价方法、表面粗糙度测量和珩磨角度等检测方式进行说明。

(1) 表面形态评价。常用的表面形态评价方法如下。

贴片方法：贴片方法又称为S.U.M.P方法（一种多用途显微压印方法），它可将被测表面的状态移植到压在被测表面上的软塑料膜上，供显微镜观察。贴片应取在规定位置，如图3所示。

该方法主要评价缸孔表面

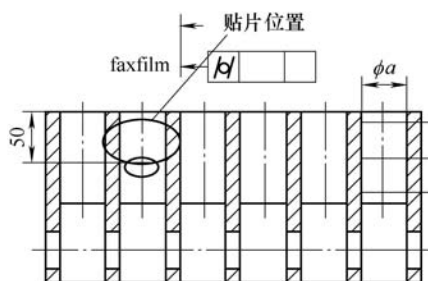


图3 某机型缸体贴片位置

形态，确认表面网纹有无异常状况。采用S.U.M.P方法观测到的缺陷实例如表1所示。

切片分析：通过切片分析可对切削表面的侧剖面进行观察分析，同时亦可对加工表面较深层的区域（尤其是这一区域内的形态结构）进行观察和判定。

光学扫描：采用特定光学设备扫描可直接观测缸孔表面状态，如缸孔表面网纹测量仪设备等（见图4）。该设备内设高分辨率光学测头，光学测头通过支架及手动可以停留在缸孔任意截面，将可以无级调节强度的直射光和衍射光照射在被测表面，并将被测表面的影像显示在计算机屏幕上，从而直观地观察表面状态。

(2) 表面粗糙度测量。表面粗糙度参数主要为 R_z 、 R_k 、 R_{pk} 、 R_{vk} 、 M_{r1} 、 M_{r2} 等参数。现在主流的评价标准为依据德国工业标准DIN4776，利用粗糙度测量仪对

平台表面进行Abbott曲线（材料百分比曲线）评定（见图5、图6）。

(3) 珩磨角度测量。主要内容如下。

贴片：通过上述的薄膜贴片方法可以测量出相应的角度大小。

光学设备直接测量：通过上述光学设备，可以直接输出珩磨角度。

铅笔拓印：在相应设备缺少的情况下，也可以采用铅笔拓印的方法来实现珩磨角度的测量。

步骤如下：首先取一张空白纸，将其紧贴缸孔内壁。用铅笔在其上均匀紧密涂划，尽量将孔壁表面形状复制在纸张上。取出



图4 缸孔表面网纹测量仪

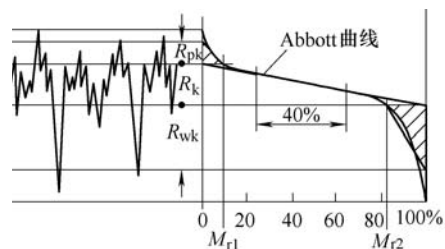


图5 Abbott曲线



图6 表面粗糙度测量仪

表1 典型表面状态缺陷

缺陷名称	示意图片	缺陷描述
覆盖条纹		沟纹被掩盖且不连续 不连续
交叉沟纹消失		交叉沟纹消失或凹陷
蛇形缠绕沟纹		产生蛇形缠绕沟纹
沟纹有毛刺		沟纹带有毛刺

所拓印的纸张，借助量角器，就可以对珩磨角度进行测量（见图7）。

3. 影响缸孔珩磨质量的因素

(1) 珩磨余量。珩磨虽可去除较大加工余量，但余量过大将影响加工经济性。余量过小则需要提高预加工精度。

为去除前工序的表面加工痕迹和形状误差，加工余量应大于前工序的总误差（包括形状误差及表面粗糙度）。一般取前工序总误差的2~2.5倍。

(2) 珩磨条长度。珩磨条长度取决于工件孔的长度。珩磨条长度过短，会降低珩磨效率；珩磨条过长，则容易使孔呈鼓形，影响孔的圆柱度。

具体选择可参考表2。

表2 珩磨长度选用参考

孔长 L	珩磨长度 l
一般孔	$l = (1/3 \sim 1/4) L$
短孔 ($L/D < 1$)	$l = (1 \sim 1.2) L$
等径间断长孔	$L \geq 3$ 个孔的跨距

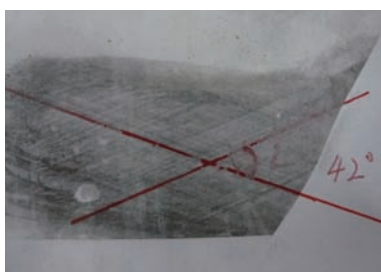


图7 铅笔拓印测量珩磨角度

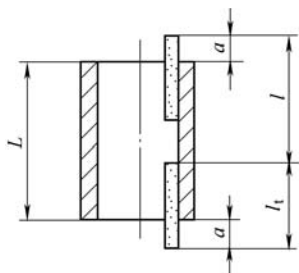


图8 珩磨行程、越程量、加工孔长关系

(3) 珩磨行程和越程量。为加工出直径一致、圆柱度好的孔，应合理选定砂条长度、珩磨行程及越程量（两端）。其关系如图8所示。

珩磨行程 l (mm) 即砂条的工作行程长度，可以按下式计算

$$l = L + 2a - t$$

式中， L 为被加工孔长。

部分珩磨设备利用在线气动测量系统，可对缸孔形状进行监控并自动调整珩磨行程及越程量，以保证缸孔的圆柱度要求。如纳格尔公司的Macroform系统在工件出现异常情况如底部偏小、上下端偏大、上下端偏小的情况下，可通过调节珩磨行程（冲）程对孔的形状进行纠正，其调整示意如图9所示。

(4) 珩磨压力\时间\次数。该系列因素主要影响缸孔的表面粗糙度参数。一般情况珩磨压力越高，加工效率越高，但同时也会导致珩磨表面质量变差。在实际生产中，通常保持精珩珩磨压力不变，来调整精珩的次数及时间，以保证表面具有良好的平台结构。

(5) 主轴的转速和往复速度。该因素主要影响珩磨角度，该两种速度的比值就确定了珩磨角度的大小。另外往复速度的加速度要足够大，以避免换向时网纹交角处出现圆弧形状。

(6) 砂条型号及粒度。珩磨工艺对砂条要求更为严格，其主要技术要求为：切削能力应较强，并有良好的自锐性、形状保持性。一般情况下，粗珩、精珩珩磨条一般选用金刚石材质的；平台珩磨条选用碳化硅材质，也可选用金刚石材质的。

(7) 珩磨头的修磨规圆。珩磨条安装到珩磨头上后，要在磨床上进行规圆，规圆后珩磨条的圆柱度最大不能超过0.01mm。

4. 结语

珩磨工艺能加工出特定平台的缸孔表面，具有较高的经济及技术优势。合理选定珩磨刀具、珩磨参数（压力、行程及时间等）、冷却系统、气电系统的特性，可以加工出高质量的产品。采用直径测量设备、网纹测量设备等手段，可对珩磨质量进行有效控制。

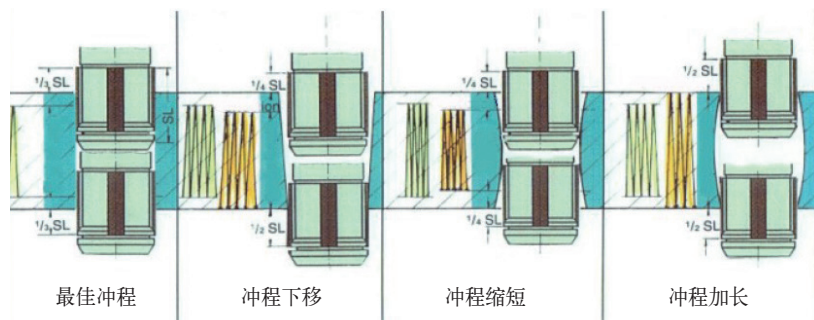


图9 利用冲程调整缸孔形状

参考文献：

[1] 杨叔子. 机械加工工艺师手册[M].北京：机械工业出版社出版，2006.

MW (收稿日期：20160821)