

磨削

关于薄环状零件磨削精度的分析

薄环状零件越来越多的应用于发动机密封装置，本研究针对薄环状不锈钢密封件的平面磨削工艺进行了实验研究。基于本研究实验条件，薄环工件磨削表面质量可达 Ra115 nm，加工后基本厚度尺寸一致性误差可控制在 1.5 μm，锥度平均值为 0.23 μm。实验研究表明工件直径和厚度对薄环状工件磨削后厚度尺寸一致性影响较小，磨削后表面产生的凹坑是造成工件厚度尺寸一致性精度下降的主要原因。吸附用电永磁工作台表面生成的微划痕、工件基准面生成的微毛刺及电永磁吸盘磁极分布可能是导致凹坑产生的主要因素。

文 | 中国第一汽车股份有限公司研发总院 王勋 时敬龙 赵亮 徐婉竹 刘瑶



随着新型高效汽车发动机技术的研发和应用，在国内汽车产业自主新产品开发中发挥了重要作用。为了实现高温高压工作状态下发动机缸体的有效防漏（油、气）和工作时间延长，越来越多的将具有优异的机械加工性能和稳定的热化学耐腐蚀性的不锈钢环形薄型零件应用于新型发动机密封装置。然而传统的车削加工方法由于积屑瘤的产生以及刀具进给痕迹残留于已加工表面，很难得到高质量的加工表面。与此同时，环形薄型零件具有低刚度特性，传统的车削加工不易装夹并会造成车削过程中工件切削深度方向的加工精度降低。磨削加工方法在加工效率和加工精度方面较车削加工具有明显优势，并且精密磨削方法越来越多的应用于高精度半导体电子产业和光学制造领域，本研究采用精密磨削方法，对薄环状工件的加工精度进行基础实验研究。

实验装置及检测方法

实验用薄环状工件的毛坯料为经过热处理工艺的 301 不锈钢料，进行精密

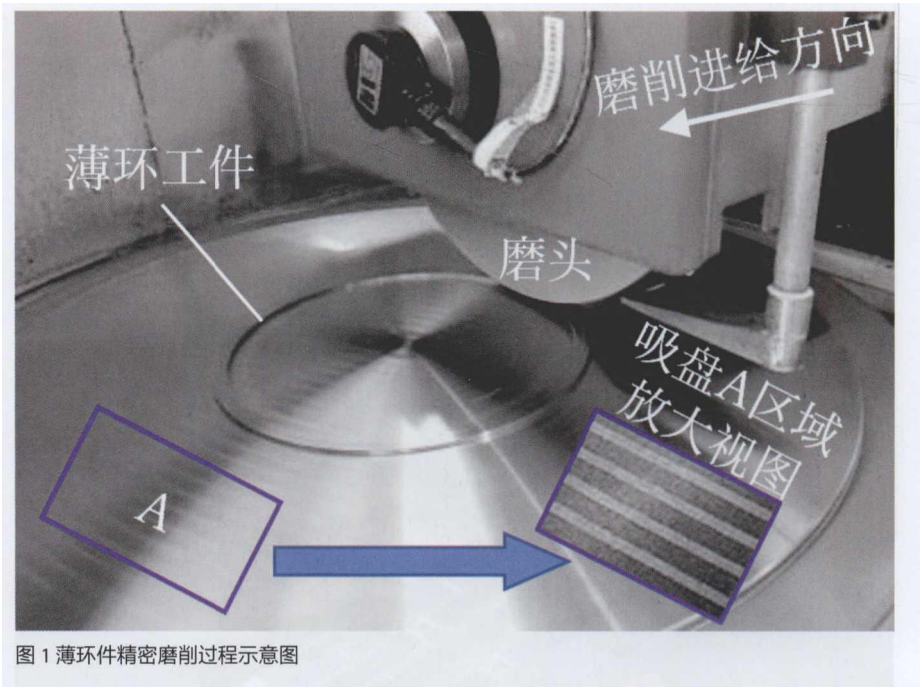


图 1 薄环件精密磨削过程示意图

磨削前，需用普通磨削方式制备精密磨削工艺用装夹基准面。最终精磨过程的实验装置如图 1 所示，工作台沿切深方向运动，随后磨削主轴沿进给方向运动实现工件材料的去除。为降低磨削过程中工作台热量的产生导致工件热变形，工作台采用条状电永磁吸盘作为与工件的

吸附面。电永磁吸盘不仅可以提高工件的装夹速度和装夹精度，而且具有强劲、实用且高效等特点。

实验结束后，对工件厚度值进行测量，测量位置如图 2 所示。其中第一组检测位置位于同轴分布的工件内环与外环中间位置，该组检测数据主要用于分

析工件加工后基本厚度尺寸加工精度。随后,选取第一组检测位置中沿同轴均匀分布的4个数据位置,沿工件径向位置在工件外环和内环边缘分别增加第二组数据检测位置,该组检测数据,主要用于评价工件加工后的锥度值大小。

实验结果分析

薄环件沿径向方向的环面宽度设计为固定值6 mm。不同厚度和不同直径(外径)的薄环样件用于本次实验研究。在图1所示的薄环件精密磨削过程中,磨床主轴转速为2000 r/min,每次磨削深度为1 μm,磨削主轴沿平面进给方向的进给量为

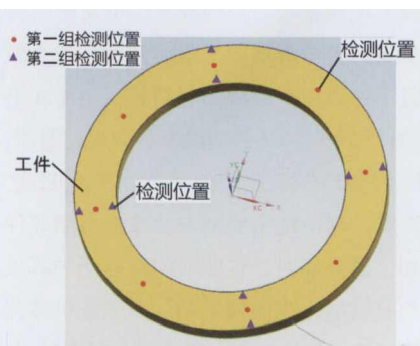


图2 薄环件厚度检测位置分布示意图

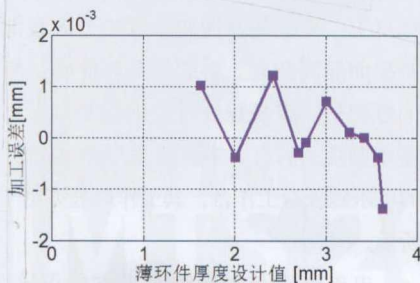


图3 薄环件厚度设计值与加工值对比及厚度值加工误差分布

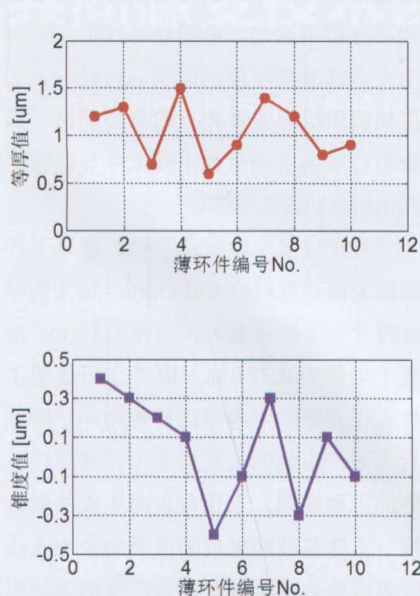


图4 薄环件等厚值与锥度值的变化趋势

60 mm/min, 工作台为恒定转速30 r/min。磨削乳化液用以磨削区域的冷却,精密磨削过程结束后,薄环件磨削表面经超声清洗后用无水酒精擦拭清理,用以后续表面加工质量和厚度值的检测。

首先针对薄环件在精密磨削中基本尺寸的控制问题进行了研究。图3所示为薄环件厚度设计值与加工值的加工误差分布。在精密磨削过程中,磨粒尺度在微纳米级,并且在磨削过程中磨粒颗粒不断的从砂轮基体脱落。随着砂轮基体结合剂的变形和去除,新的磨粒重新分布于砂轮工作表面参与磨削过程。由于薄环工件经过多次对刀步骤,对刀过程造成的

超越金属加工领域的全面解决方案



金属加工网
mw.vogel.com.cn



网站快速通道

以推动整个行业发展为目标,向从事金属加工行业的人士,提供国内外先进制造技术及解决方案,搭建网上互动平台。



现代制造

联系我们:

电话 (Tel): +86-10-63326090-98

传真 (Fax): +86-10-63326099

E-mail: mm@vogel.com.cn



VOGEL 弗戈工业传媒

MM 创刊于1894年

广告

砂轮磨粒脱落、磨粒结合剂的去除变形及磨削过程的多因素不确定化均有可能影响砂轮外圆几何尺寸，造成磨削高度方向的加工尺寸误差。再有，在微小尺度进给时，机床的运动稳定性受自身机械传动系统影响较为敏感，容易引入机床运动控制方面的微小误差，最终体现在磨削加工后薄环件的高度尺寸误差的增加。另外，在磨削过程中液压悬浮主轴与液压油高速摩擦发热，温度的改变会导致磨床主轴悬臂位置沿磨削深度方向发生变化，导致加工精度降低。上述几种情况均可能导致薄环件加工厚度尺寸精度的降低，为了更精确的控制薄环件磨削厚度尺寸，应采用具有较小尺寸磨料颗粒的砂轮，降低磨床主轴液压油粘度，有效抑制主轴工作时的摩擦生热。

精密磨削加工过后，对本次实验所有薄环件所能达到的磨削厚度一致性（等厚值）以及锥度值进行了总结。图4所示为薄环件等厚值和锥度值的变化趋势。

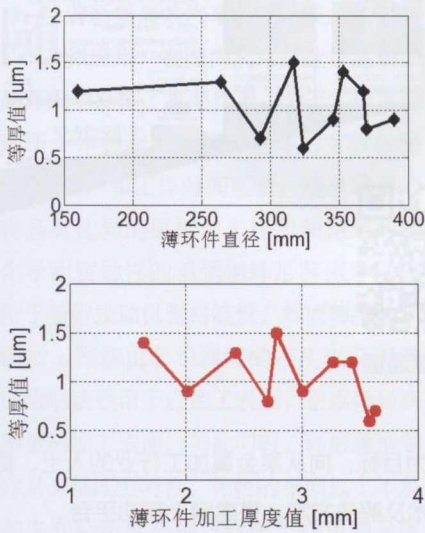


图5 薄环件等厚值随工件直径、厚度改变的变化趋势

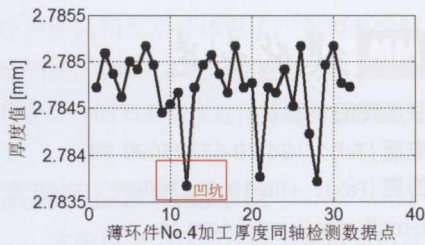


图6 等厚性较差的薄环件厚度检测值

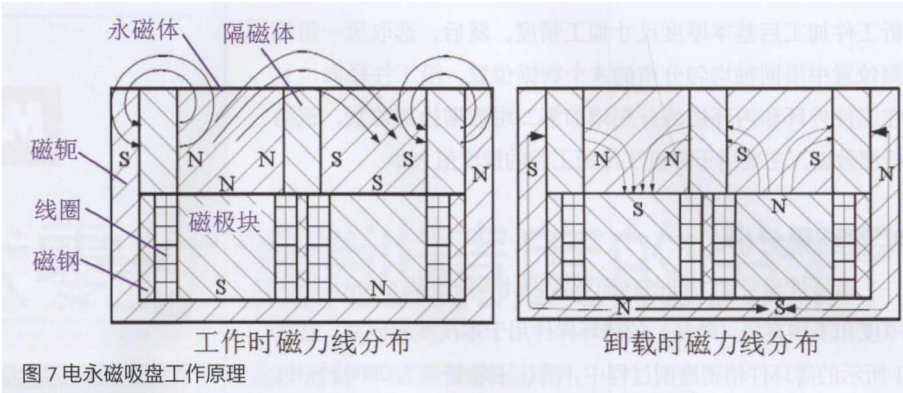


图7 电永磁吸盘工作原理

基于目前具备的实验加工条件，薄环件等厚值可达到 $1.5\ \mu\text{m}$ ，锥度绝对值平均量为 $0.23\ \mu\text{m}$ 。锥度产生可能由机床沿水平进给方向的运动误差、工作台平面度误差及砂轮磨削过程的磨损而造成。工件的等厚值是影响薄环件精密密封装置使用的主要因素。

因此，为了更详细的探究薄环件等厚值改变的影响因素，本研究对精密磨削实验中薄环件等厚值随工件直径（外径）和工件厚度值改变的变化趋势也进行了分析，如图5所示。基于图5所示的实验结果，在精密磨削过程中薄环件等厚值基本在 $0.6\sim 1.5\ \mu\text{m}$ 内均匀分布，与工件直径及厚度的改变没有明显的变化趋势。在本次实验当中，所有薄环工件均被强力电永磁吸盘吸附于磨床回转工作台表面。由于工件厚度值较小，使得工件抗变形能力降低，在强磁力作用下薄环件基准表面被紧密吸附于磨床工作台磁盘表面，实现薄环件磨削前的精密定位。在相同的磨削工艺下，工件等厚值的改变主要取决于磨床工作台吸附表面的高低差，受工件自身几何尺寸的影响较小。在研究当中，针对等厚性较差的薄环件沿轴向进行厚度值检测分析，其中检测位置位于同轴分布的工件内环与外环中间位置，检测结果如图6所示。

在加工过程中，薄环件表面产生的凹坑是造成工件等厚性下降的主要原因，同样也是降低其加工精度的主要因素。聚集于薄环件下表面内外径边缘的磨削液颗粒、砂轮脱落颗粒以及磨削产生的切削颗粒可能进入薄环件下表面与吸盘

工作面之间。此时吸盘工作面极易发生被上述颗粒微刻划的现象，电永磁吸盘金属材料微观堆积于划痕两侧，造成吸盘工作表面生成微凸起结构，从而在磨削过程中对薄环件的单个点造成过磨削，降低薄环件在此点的厚度，形成凹坑。再者，利用精密磨削方法在准备薄环件加工基准面时，在此磨削基准面内环堆积有磨削生成的微毛刺。微毛刺机械强度较低，韧性较高，弹性恢复能力较强，当砂轮经过磨削表面后，再无磨削压力作用下，微毛刺弹性变形可能造成磨削基准面局部凸起。再磨削薄环件相反面的过程中，容易导致过磨削现象，生成磨削凹坑。另外，本实验采用条状磁极的电永磁吸盘工作台，其工作原理如图7所示。

电磁吸力与磁通密度平方成正比，而条状电磁吸盘隔磁体中心磁通密度低，两边密度高，导致吸盘磁吸力沿薄环件圆周分布不均匀，可能导工件加工过程中会出现磨削厚度的波动。对此，可采用相邻磁极间磁性相反的多组网格状磁极组合成电永磁吸盘，使工件与磁极之间由密集的磁束捆绑在一起。

基于目前实验研究条件，薄环工件磨削表面质量可达 $Ra115\text{nm}$ ，加工后厚度尺寸一致性误差可控制在 $1.5\ \mu\text{m}$ ，锥度平均值为 $0.23\ \mu\text{m}$ 。研究分析表明工件直径和厚度对等厚性影响较小，磨削后表面产生的凹坑是造成工件等厚性下降的主要原因。工作台表面生成的微划痕、工件基准面生成的微毛刺及电永磁吸盘磁极分布是导致凹坑产生的可能因素。[11]