

豪克能表面加工技术对零部件表面微观结构的影响

■ 中车株洲电机有限公司 (湖南 412001) 杨学军 肖连新 石 江 袁雄辉 胡婧宇

摘要: 本文以豪克能表面加工技术对零部件表面的微观影响作为试验、分析对象,从豪克能应用遇到的问题出发,对于豪克能技术在提高表面质量上的应用,特别是提升表面粗糙度可能引起的缺陷进行分析研究,特别关注在提升表面粗糙度过程中引起的疲劳强度、表面形貌以及尺寸变化等,以初步确认豪克能表面加工对配件特性的影响,为豪克能技术的推广应用做好基础准备。

1. 豪克能技术理论

(1) 豪克能技术简介。豪克能是在传统的车、铣、刨、磨及钻等机械加工工艺上,又添加的一种全新的叫“豪”的机械加工新工艺,这是机械加工领域的一次革命性颠覆式创新,其用一个非传统的机械加工理论实现了优于传统的机械加工效果,且一次加工即可达到零件表面镜面效果并实现表面改性。豪克能技术是涉及金属物理、振动、超声波、机械加工及应力等多学科的边缘科学,对零件具有冷、热加工的双重作用,其冲击频率为几万次/s(一般为2万次/s~4万次/s)。其主要技术特点是镜面加工和表面改性加工,可以实现:①直接加工出镜面效果,表面粗糙度值 $R_a < 0.05 \mu m$ 。②零件疲劳寿命提高几十倍。③零件表面形成可控高值的压应力。④零件表面显微硬度提高20%以上。⑤零件的耐

腐蚀性提高40%以上。⑥零件的耐磨性提高20%以上。⑦金属表层晶粒更加细化。

(2) 豪克能技术机理。豪克能的加工过程:先用普通刀具将工件尺寸加工到位,再用豪克能刀具代替原普通刀具加工一道,便可得到改性的表面加工效果。其机理是:①豪克能工具头以每秒上万次的频率冲击零件表面。②工件的金属材料在豪克能的作用下塑性提高。③豪克能刀具走机械加工轨迹,在双重能量(激活能和冲击能)作用下,金属从高点向低点产生流动,使金属零件表面达到更理想的表面粗糙度

要求,也可以形象地说是利用能量将零件的表面熨平(见图1);同时在零件表面产生压应力,提高零件表面的显微硬度、耐磨性及耐腐蚀性,延长疲劳寿命。

2. 豪克能的影响因素

豪克能作为一种表面改性加工新方法,其主要影响因素有零件材料、结构、预加工及豪克能参数选择等。①材料:豪克能在提升工件表面粗糙度质量的过程中,必然经历表层金属的塑性变形过程,不同的材料具有不同的机械性能,加之其成形和热处理工艺不同,材料在豪克能处理中具有不同的特性。②结构:零件

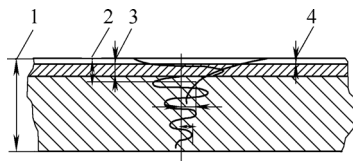


图1 豪克能加工形成的工件表层结构

1.豪克能影响层(10~16mm) 2.冲击作用层(3~6mm)
3.塑性变形层(1~2.5mm) 4.压缩层(0.002~0.05mm)

结构直接影响到豪克能对表面的处理效果，特别是收尾处的应力分布，包括是否有退刀槽、越程槽或减载槽结构等。③预加工：如图1所示，豪克能使零件表层发生变化的压缩层厚度较小，一般在0.002~0.05mm，因此豪克能处理前的工艺方法、表面粗糙度、形位公差及尺寸精度将较大程度地影响豪克能处理的最终结果。④参数：豪克能加工参数包括工具头的直径（曲率半径）、横向移动速度、纵向移动速度、加载载荷以及冲击头频率等，合理选择设备参数和配置参数，是豪克能对产品内在性能影响的关键。

3. 工艺试验条件

(1) 试验对象。标准试棒材料选用球墨铸铁GJS-400-18-LT，按照GB/T 4337-2008进行试棒加工，具体标准试棒零件图与实物图如图2a、图2b所示：

(2) 试验装备。采用山东华云豪克能金属表面加工设备HK30GHW，配合沈阳卧式车床CA6150完成试验样件的加工，宏观测试采用白光共焦显微镜，微观测试采用扫描电子显微镜，加工刀具采用豪克能超声加工刀具。

(3) 试验参数。根据试棒材料特点及相关影响因素，试验选用豪克能加工参数如下：机床转速71r/min；刀具球头直径14mm；进给量0.1mm/r；预加载荷0.2MPa（液压加载）；超声工具头频率27kHz。

4. 宏观试验结果

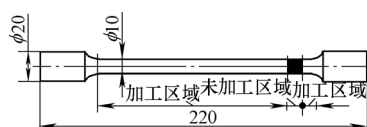
(1) 试棒尺寸与外观测试。

如图3所示，豪克能加工后的直径尺寸为9.992mm，未加工区的直径尺寸为10.008mm，有-0.016mm的径向尺寸变化；豪克能加工后的加工面与未加工面有明显区别，加工后的表面粗糙度有明显提高。

(2) 试棒10mm过渡段测试：通过扫描10mm（长度）

×1mm（宽度）过渡区域，即加工与未加工的过渡区域（见图4），通过观察其二维及三维形貌图以及截面轮廓图（见图5），可见加工区与未加工区有高度差，交界处有明显的凸起，凸起高度约28 μm。

(3) 试棒60mm测试区域测试：通过扫描60mm（长度）



(a)



(b)

图2 标准试棒

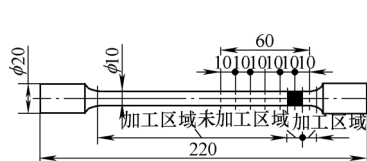


图3 标准试棒测试示意图

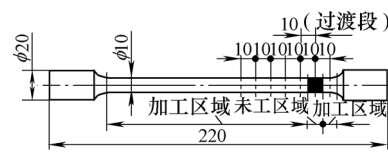
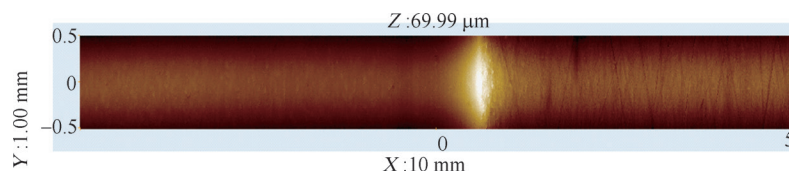
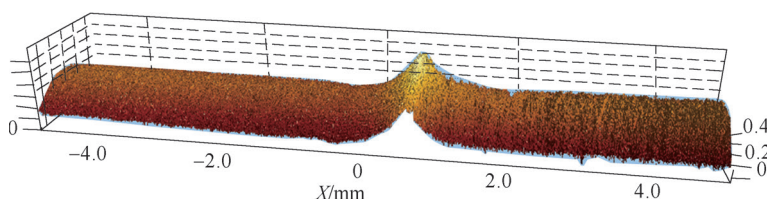


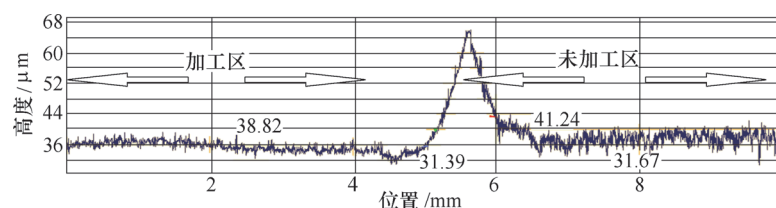
图4 10mm测试区域过渡段示意图



(a) 10mm测试区域过渡段二维形貌



(b) 10mm测试区域过渡段三维形貌



(c) 10mm测试区域过渡段轮廓曲线

图5 10mm测试区域过渡段测试结果

×1mm (宽度) 测试区域 (见图6), 通过观察其二维、三维形貌图以及截面轮廓图 (见图7), 可见在60mm测量范围内, 存在着轴线弯曲变形, 单边最大变形约为80 μm。

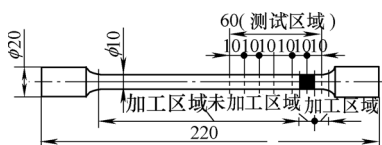
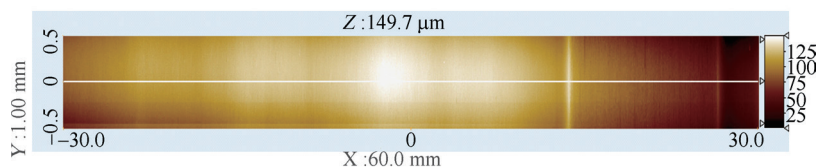
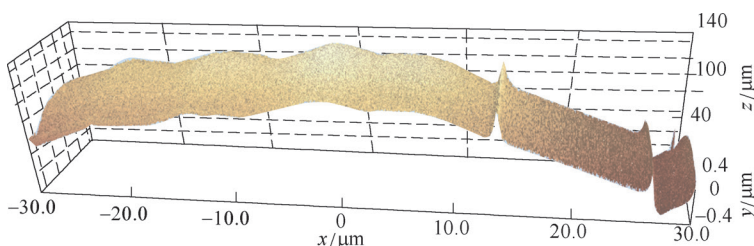


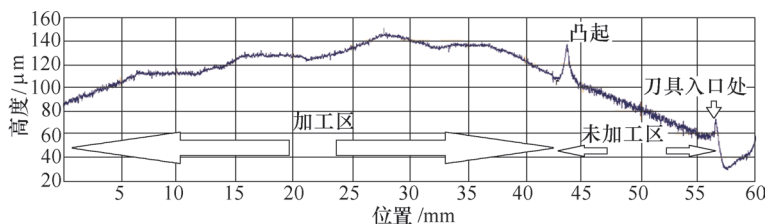
图6 60mm测试区域示意图



(a) 60mm测试区域二维形貌

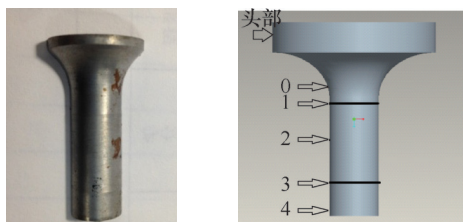


(b) 60mm测试区域三维形貌



(c) 60mm测试区域轮廓曲线

图7 60mm测试区域测试结果



(a) 球铁加工样件 (b) SEM测量表面示意图

图8 微观试验检查取样示意图

5. 微观试验结果

首先用线切割将试棒沿中心线切开，再按图8所示切出一段。用扫描电子显微镜 (SEM) 分析表面微观形貌，在光学显微镜下观察金相。

微观试验表面测试结果 (见图9)：1区为未加工面与加工面的分界区 (椭圆区域)，上方未豪克能加工区域有明显的机械加工划痕，黑色石墨较下方颗粒更

大，数量更多，下方经豪克能加工后的表面明显较为光整。

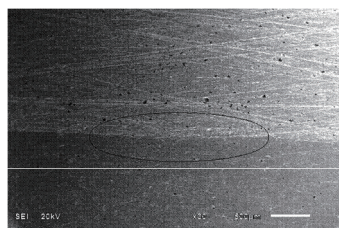
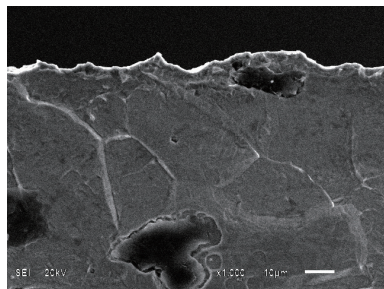
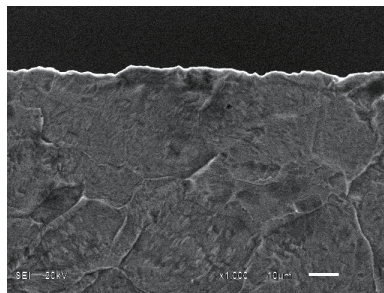


图9 1区未加工面与加工面的分界区

微观试验截面测试结果 (见图10)：①豪克能加工后，表层晶格扭曲、畸变，晶粒产生剪切、滑移，晶粒拉长，加工影响区深度约70 μm。②金相组织为铁素体，有一些石墨球周围包围一层铁素体，呈“牛眼”状，石墨大部分呈球状和团状，其余为团絮状，有极少量蠕虫状。



(a) 1区1000× SEM图



(b) 2区1000× SEM图

图10 微观试验截面测试结果

6. 结语

通过豪克能加工初步确定豪克能加工对球墨铸铁的表面质量影响情况如下：

(1) 豪克能加工可以改善球墨铸铁材料的表面粗糙度质量，

深孔梯形内螺纹刀具设计及车削工艺改进

■ 河北太行机械工业有限公司（石家庄 050000） 靳小海

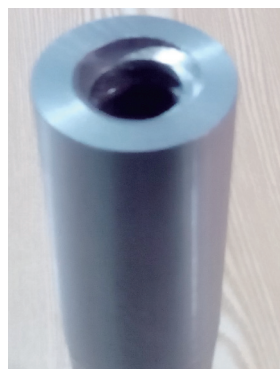
摘要：车床车削加工是中小批量梯形内螺纹加工的通用工艺方案。当加工螺距较大的梯形内螺纹时，普通刀杆由于刚性因素限制，通常只能加工悬伸比小于4倍径深度的螺纹。本文重点介绍一种刀具设计方法，通过最大限度地增加刀杆横截面积增强刀杆强度，同时配合数控宏程序，完成相当于普通刀具悬伸比达1:9的深孔螺纹加工。

1. 问题描述

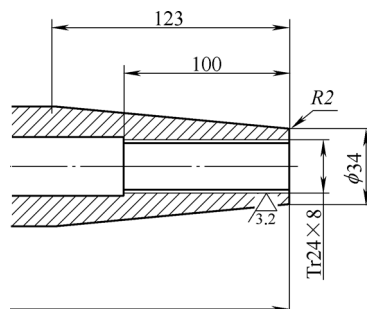
图1所示为某军品关键零件，其加工要素为Tr24×8梯形内螺纹，螺纹深度为90mm，螺纹小径为16.5mm，采用普通圆刀杆加工，刀具悬伸比超过1:9，大大超出钢质刀具1:4的悬伸比，加工难度极大。在前期工艺试制过程中，该螺纹加工成为工艺难题。经过对其进行工艺分析，发现应着重从增加刀具刚性和减小切削抗力两方面进行改进，创新

加工工艺。

增加刀具刚性最有效的办法是改变刀具材质，如硬质合金刀杆，但



(a)



(b)

图 1

从试验情况看，表面处理其粗糙度值可提升2个等级以上，其值可以较为容易的达到 $R_a=1.0\mu m$ ，可以超出磨削达到的表面粗糙度值。

(2) 豪克能加工改变原有零部件的尺寸，可以小幅改善原有车削工件的圆度值。

(3) 加工区域与未加工区域之间存在约 $28\mu m$ 的凸起，是豪克能豪克能加工冲击产生的塑性

变形而引起的材料的堆积，这种区域会导致应力集中。

(4) 豪克能能够消除机加工划痕，表面较为光整。

(5) 豪克能处理后表层晶格扭曲、畸变，晶粒产生剪切、滑移，晶粒拉长。

豪克能技术是一门全新的应用技术，要全面应用推广，还需进一步深入研究其表层的物理、力学性能变化。

参考文献：

- [1] 陆剑中，孙家宁. 金属切削原理与刀具[M]. 北京：机械工业出版社，2011.
- [2] 陈宏钧. 实用机械加工工艺手册[M]. 北京：机械工业出版社，2003.
- [3] 冯冠大. 典型零件机械加工工艺[M]. 北京：机械工业出版社，1986.

MW（收稿日期：20170620）