

通过高频冲击来改善机械零件表面粗糙度和疲劳强度的工艺方法

金光玲 吴广铭

慈溪汇丽机电股份有限公司 浙江 慈溪 315333

摘要：机械加工领域，关于高频冲击金属表面强化工艺及设备的研究，通过一种通过高频率冲击金属表面，使原有序的切削刀痕变得无序的网状冲击痕，让原本略显粗糙的金属表面变得更加致密和光滑，同时还能有效地提升金属表面疲劳强度的工艺方法，以及实现这一工艺方法的设备。本文详细地阐述该工艺方法的技术构思，以及工艺设备的工作原理。

关键词：光洁度提升；高频冲击；手持工具

引言：在家电、汽车配件、五金等零件等自动化生产线上的机器中，一些机构需要反复的做推、顶等高频次的循环工作。而机构中直接做推、顶循环动作的零件在高频次的受力情况下时间一长疲劳强度将会下降很快，从而产生裂纹和折断等设备故障，影响到正常生产。为了防止零件在寿命期内出现上述质量问题，对零件的工作面就有很高技术和质量要求。如：表面粗糙度要求较高、工作面不允许有刀具切削痕纹存在等，否则会造成根部等脆弱部位产生应力集中，在高频次循环力的作用下容易产生裂纹。

研究过程：

1 提出问题

如图 1 家电生产线某机器上的钢制推杆，每分钟要循环工作 100 次以上。其工作部位结构在正向和侧向的断面均呈 R3，这种设计结构能增强工作区的强度。为了保障推杆工作区的疲劳强度，其表面粗糙度要求在 Ra0.8 以下，且表面不允许有刀具切削后留下的线状痕纹（如图 2）。

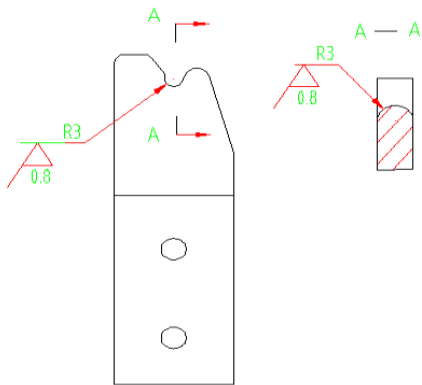


图 1

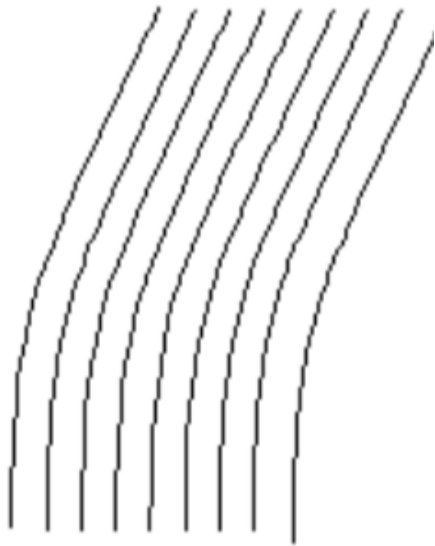


图 2

推杆工作区的结构无法采用磨削加工成形，只能采用铣削 + 手工修锉成形。因此表面留下的刀具切削痕纹较明显，然后还得通过抛光等手段去改善表面质量。

2 解决方法

2.1 工艺创新思路

针对这一普遍存在的表面质量缺陷，提出了一种非去除材料的表面改性工艺思路。该思路的核心是通过高频率的冲击能量反复作用于金属表面，彻底改变原有切削痕纹的几何形态，使原本有序排列的线状刀痕转变为无序分布的网状冲击痕纹。这种转变的本质不是去除痕纹，而是通过塑性变形重塑表面形貌，使原本有害的线状痕纹转化为

对表面光洁度和疲劳强度有利的网状结构。

2.2 工程技术原理

该工艺的工程实现基于以下核心技术原理。

在冲击工具方面，采用韧性和弹性较好的特制冲击针作为冲击介质。这种冲击针能够承受高频反复冲击而不发生断裂或塑性变形，同时具有良好的弹性恢复能力，保证冲击过程中频率的稳定性^[1]。

2.3 工艺效果与应用价值

经过高频率反复冲击处理后的金属零件表面获得多方面的显著改善。在表面光洁度方面，粗糙度值大幅降低，表面呈现均匀的光泽，变得非常光滑圆润。该工艺特别适用于对疲劳寿命有较高要求的零件，如轴类零件、齿轮、弹簧、轴承滚道等。它也适用于已经切削加工但表面质量不足的零件，可作为最终的精整工序。（如图3）。

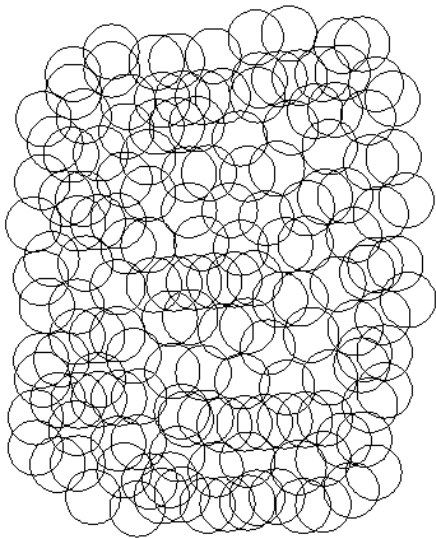


图 3

3 冲击设备的结构简介和工作原理如（图4）、（图5）

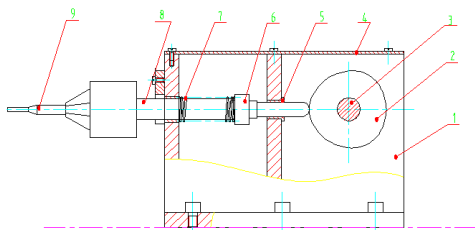


图 4

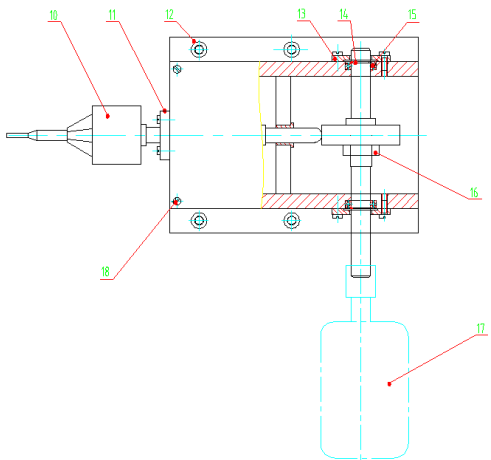


图 5

3.1 冲击机结构简介

（1）机箱，（2）凸轮，（3）凸轮轴，（4）箱盖，（5）衬套，（6）调力用螺母，（7）压缩弹簧，（8）驱动杆，（9）冲击针，（10）机心夹头，（11）定向板，（13）轴承盖，（14）弹性挡圈，（15）轴承，（17）电动机，（16）垫圈，（18）以及（12）标准紧固件。

注：这里要特别说明的是，冲击针的头部构造是随被加工零件形状而定的。本文阐述的冲击针头部的构造如（图6），冲击针采用的材料是具有较好弹性和刃性的Cr12MoV。

凸轮的凸缘个数决定冲击针每转的冲击次数；

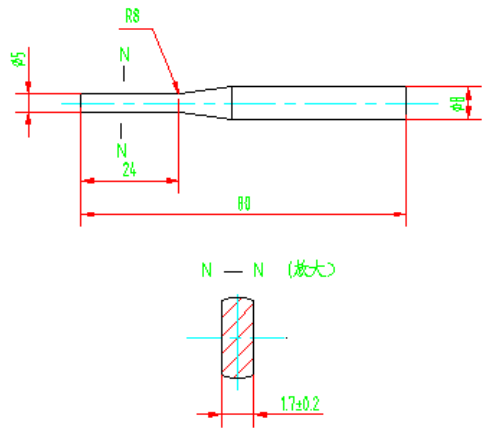


图 6

3.2 冲击机的工作原理：

3.2.1 设备安装与基本配置

冲击机通常安装在钳工的工作台面上。安装时可根据操作工人的身高以及操作习惯来确定机器的具体固定

高度,目的是使操作者在长时间工作中保持舒适的姿势,便于手动控制工件。冲击机的电动机轴与凸轮轴通过联轴器直接连接,电动机输出的旋转运动传递给凸轮轴,凸轮轴带动凸轮旋转,为冲击动作提供动力来源^[2]。

3.2.2 冲击针的安装与定向控制

在冲击机的机心夹头上装入特制的冲击针。该冲击针的头部设计为扁形,并且在安装时使其扁形头部呈竖立状态。这种竖立状态是为了便于操作工在加工过程中灵活操控零件的转动姿态,使得工件能够平稳地与冲击针头部接触并相对运动。

3.2.3 冲击力的调节方式

冲击机上设置有调力螺母,通过旋转该螺母可以压缩或松放内部的弹簧。调力螺母的作用是改变弹簧的预紧程度,进而改变凸轮工作面与驱动杆之间的接触力大小。当调力螺母被旋紧时,弹簧被进一步压缩,凸轮与驱动杆之间的接触力增大,冲击针作用在工件表面上的冲击力也随之增大。反之,当调力螺母被旋松时,弹簧的压缩程度减小,接触力变小,冲击力相应减小。

3.2.4 冲击运动的产生与传动过程

启动电动机后,凸轮轴带动凸轮做连续旋转运动。凸轮上设有三个均布分布的凸缘,即每隔一百二十度角设置一个凸起部位。随着凸轮的转动,这些凸缘依次与驱动杆接触并产生推动作用。

当凸轮上的凸缘转动到与驱动杆接触的位置时,凸缘推动驱动杆向前做直线运动,驱动杆的向前移动距离为二点五毫米。当电动机带动凸轮轴以每分钟五百转的转速旋转时,驱动杆以及安装在驱动杆上的冲击针就会产生每分钟一千五百次的前进运动和每分钟一千五百次的后退运动,每次移动距离均为二点五毫米,并以该频率反复冲击被加工零件的表面。

3.2.5 手工操作与冲击加工过程

在实际操作时,操作者采用双手一前一后的方式握持工件。工件的待加工部位通常具有 R 三毫米圆弧形的工作面,操作者使这一呈 R 三圆弧形的工作面骑在冲击针扁形头部的正面上,即让冲击针的头部正面与工件的圆弧工作面保持接触。

冲击针头部以每分钟一千五百次的高频率反复冲击在零件的工作面上。每一次冲击都在金属表面产生微小的塑性变形,高频率的连续冲击使这些微小变形逐渐累积,最终使整个工件工作面发生均匀的塑性变形。

4 工艺技术效果

4.1 高频冲击对金属表面形貌与光洁度的改善效果

当冲击针以每分钟上千次的频率对金属零件表面进

行反复冲击时,每一次撞击都从不同的角度作用于表面原有的切削痕纹。这种无数次的、多角度的持续冲击作用,使最初由车削或铣削加工留下的有序线状痕纹被逐步打散、碾平和消除。原本连续排列、方向一致的刀痕沟谷在反复的塑性变形中被填平,痕纹的峰顶被压低,谷底被抬升,最终使这些线状痕纹冲击得无踪无影。

随着冲击过程的持续进行,金属表面逐渐呈现出全新的面貌。通过目测观察即能判断其表面质量已经达到非常高的水准。这一粗糙度等级通常相当于精磨或研磨所达到的水平,在获得高质量表面的同时还能保持原有的尺寸精度。

4.2 高频冲击对金属表面疲劳强度的提升机理

金属表面的纹理形态对其疲劳性能有着决定性的影响。在传统的切削加工状态下,金属表面呈现的是有序的线状痕纹结构。这种有序排列的痕纹在微观上形成连续的沟槽,沟槽的谷底部位是应力集中的天然位置。当零件承受交变载荷时,应力会优先在这些线状痕纹的谷底处积聚并反复作用,极易在谷底萌生疲劳微裂纹,进而导致零件在远低于材料极限应力的条件下发生疲劳断裂^[3]。

经过高频冲击处理后,金属表面的纹理形态发生了根本性的改变。原有的有序线状痕纹被彻底破坏,取而代之的是无数微小冲击坑相互重叠、交错形成的无序网状冲击痕纹。在这种网状结构中,原有的连续沟槽被打断,应力无法沿着单一方向连续传递和集中,而是被分散到无数个网状节点和冲击坑之间的过渡区域中。

5 结束语

本文虽然是针对机械零特定的结构来阐述利用高频率冲击工艺方法来改善机械零件工作面的表面粗糙度和疲劳强度,但该项工艺技仍有一定的广泛性,对提高塑性金属材料表面质量均能提供帮助,特别适合于金属零件上的沟、槽结构表面质量的增强处。该项工艺技术的设备结构简单,自行设计制造很容易。冲击的频率,冲击工作行程,冲击针的结构都可随着零件的需求灵活多变。对工环境的硬件要求低,手工操作、机械操作均可实现。

参考文献

- [1] 博世电动工具(中国)有限公司.冲击式工具机:中国, CN112770873B[P].2023.09.22.
- [2] 刘亮,吴云,嵇玮玮.工业机器人自动化打磨方案探析[J].数字技术与应用,2025,43(08):102-104.
- [3] 朱达荣,杨善骥,汪方斌,雷经发,王大桂.疲劳损伤过程金属表面偏振热像纹理特征实验研究[J].激光与光电子学进展,2022,59(04):392-399.