

文章编号 :1007 - 6492(2000)03 - 0060 - 04

环形梳齿状零件变形分析及加工工艺研究

覃寿同¹, 马汝进¹, 孙 建², 张治国¹, 张春华¹

(1. 郑州工业大学机械与电子工程学院, 河南 郑州 450002; 2. 北京红狮涂料公司, 北京 100078)

摘 要 : 对环形梳齿状零件加工后的实际变形进行了分析, 指出不同进刀方式和残余应力是导致零件齿轴线弯曲变形的主要原因, 不同性质的残余应力引起的齿轴线弯曲方向不同; 提出加工这一类零件时, 应采用间隔贯穿铣削加工工艺, 并确定加工工艺中调质热处理应安排在精加工之前, 回火温度以 700 ~ 720 ℃ 较为适宜。

关键词 : 梳齿状零件; 变形; 残余应力; 加工工艺

中图分类号 : TH 162+ . 1 文献标识码 : A

1 问题及加工实例

环形梳齿状零件主要是指在零件的端部开有多个槽形的盘类及盘套类零件。由于形状复杂, 加工后齿的轴线在半径方向上易产生弯曲, 特别是在多层环形时更是这样。如实际需加工图 1 所示零件, 其主要技术要求为 : 最外层直径 $\phi 120$ mm (精度 h 7), 每层的厚度为 5 mm, 相邻层间宽 7 mm, 每层中相邻齿的槽宽 $b = 3$ mm, 槽深 $H = 29$ mm, 要求齿外表层耐磨, 硬度大于 HRC 60 ~ HRC 64。

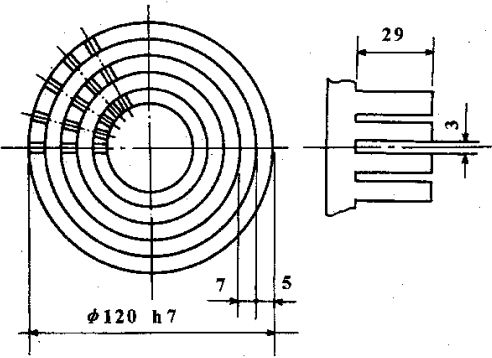


图 1 加工的环形梳齿状零件

实际加工中, 从零件加工尺寸稳定性及齿表面硬度的要求考虑, 选用材料 38CrMoAl, 经表面氮化处理, 加工工艺为 :

(1) 毛坯生产方式(外协加工件) : 下料、加热、墩粗锻打成形、空气冷却。

(2) 机械加工工艺为 : 去应力退火、粗加工、定性退火处理、精加工到所要求的尺寸、开齿、表面渗氮热处理、检验。

加工后检查发现 : 圆环上各齿的轴线发生弯曲变形, 均为直径尺寸缩小并超差, 而且内环的缩量一般比外环大。零件的公差要求为 IT7 级, 第一批零件 20 件中直径最大的收缩量可达 0.37 mm。在第二批零件加工时加强全程尺寸跟踪, 发现零件在开槽前尺寸合格, 但在开槽后每环的直径尺寸有不同程度的向外胀, 最大可达 0.2 mm(已超差), 仍是内环的变化量一般比外环大。经过表面渗氮处理后, 情况又与第一批零件相似, 直径尺寸仍缩小并超差。

2 零件加工时受力情况

加工环形梳齿状零件, 主要的变形形式是齿形轴线发生弯曲。从材料力学中的变形理论得知 : 材料受外力作用产生变形, 当受力形成的应力超过材料的屈服强度时, 则形成塑性变形。上述零件加工中, 零件受力只有 2 种情况 : ①切削时受切削力作用。②受到整个加工过程中各个工序形成的残余应力作用。

2.1 切削力作用

直接作用在零件的切削力主要有车削环形时的车削力和开槽时的铣削力。显然, 车削时由于环形还未开槽形成齿, 车削力对齿的轴线弯曲变形

收稿日期 2000 - 04 - 22, 修订日期 2000 - 06 - 10

基金项目 河南省科技攻关项目(991110353)

作者简介 : 覃寿同(1957 -) 男, 湖北省武汉市人, 郑州工业大学讲师, 主要从事机械设计与制造方面的研究。

没有直接的作用,但在开槽的铣削加工中,铣削力是使齿的轴线弯曲变形的直接作用力,由于齿槽宽度($b = 3 \text{ mm}$)正好符合标准锯片铣刀的宽度,加上槽的内表面的粗糙度要求不高($R_a 6.3$),故通常是用铣床切槽,按文献[1]推荐的铣削用量及铣削方式,周向铣削力的大小可按下面公式求出:

$$F_C = C_F a_p^{x_F} f_Z^{y_F} a_e^{u_F} Z k_{F_C} (\frac{d_0}{d_0} n^{w_F}) ,$$

式中: a_p 为铣削深度, $a_p = b = 3 \text{ mm}$; f_Z 为每齿进给量, $f_Z = 0.01 \text{ mm/Z}$; a_e 为铣削宽度, $a_e = H = 29 \text{ mm}$; Z 铣刀齿数, $Z = 80$; d_0 为铣刀直径, $d_0 = 100 \text{ mm}$; n 为转速, $n = 60 \text{ r/min}$.

按照推荐的系数: $C_F = 650$, $x_F = 1.0$, $y_F = 0.72$, $u_F = 0.86$, $w_F = 0$, $q_F = 0.86$, $k_{F_C} = 1.13$,可求得的最大铣削力为1953.5 N,这个力对每一个齿作用两次,直接使齿的轴线产生弯曲变形.

2.2 整个加工过程中各个工序形成的残余应力的作用

残余应力是指在无外力或温度差等外来因素作用的情况下,存在于金属材料或零件内部并保持平衡的力^[2].它的形成与零件的不均匀塑性变形、材料中的金属组织的相变以及材料存在温度差异(即有温度梯度)有关,不同的加工方法都会使零件表面有不同性质的残余应力分布.

(1)以锻打方式制成的毛坯,通常外表面呈现出残余压应力,中心部呈现出残余拉应力.这些应力的形成分为3个阶段,第一阶段,材料加热后在塑性状态下锻打受力成形,随后在空气中冷却(即正火),由于热胀冷缩的原因,必定要收缩从而带动中心部收缩,而中心冷却较慢故仍为塑性状态.第二阶段,毛坯中心部在外层收缩作用下产生塑性变形,达到了暂时的平衡状态,这时毛坯不显示任何形式的应力.第三阶段,当毛坯的中心冷却收缩时,会受到外层的阻碍,最终结果是常温下外层组织在中心的收缩作用下,形成残余压应力,而中心部组织受到外部组织的阻碍而形成残余拉应力.这种在冷却过程中形成的残余应力,在实际的零件中已得到证实^[2].这时如对毛坯进行切削,当切除的金属不对称时,零件的残余应力将重新分布,这时零件将产生变形.

(2)在机加工时,由于刀刃对工件进行作用,切削力使零件的加工区域发生塑性变形,最终使得被加工表面呈现残余拉应力^[2,3].除此之外,由于切削产生的切削热,使外表层温度升高形成材料膨胀,但受到内部组织的制约引起塑性压缩,当零件冷却时,表层材料的收缩又受到内部材料的

制约,这时就会在表层形成残余拉应力.上面二者的综合,使零件已切削表面呈现出残余拉应力,中心部为残余压应力.文献[2]指出,被加工表面残余拉应力的数值可达600 MPa,文献[3]也指出,车削时零件表面的残余压应力一般在200~800 MPa范围内变化,当使用磨钝的车刀加工时,残余应力可高达1000 MPa.

(3)零件在渗氮后,会在表面形成比较高的残余压应力^[2,4].在进行渗氮过程时,无论是常用的等温渗氮,还是较先进的辉光离子渗氮(离子氮化)方法,结果都是形成活性氮原子(或氮离子)与被渗材料形成氮化物,而氮化物组织的比容远大于被渗工件中心部组织的比容,这种金相组织的比容不同,将产生相应的形变而形成残余应力.在常温下,零件表层呈现出残余压应力,中心部为残余拉应力.渗氮层的深度加大,残余应力的数值也增大^[2,4,5].

(4)加工过程中进行的各种退火,可消除大部分残余应力,但在工件尺寸比较大时,仍会有少量的残余应力存在,如果加热温度不够高或时间不充分,余下的残余应力也会加大.

3 变形产生的原因

3.1 工件的残余应力

存在于工件中的残余应力必须处于静态的平衡状态,当它的数值过大(超过材料的屈服极限)以及不平衡时,会使零件产生变形,趋向自动平衡状态.零件也由于变形使得内部的残余应力达到平衡状态,因此零件的残余应力是零件变形的主要原因.零件残余应力分布平衡时,零件则不发生变形.例如,粗加工后的环形零件由于在圆周方向是连续的,力经过传递后重新分布,在各处达到平衡,故不会产生变形.

对环形进行切槽形成齿时,工件的端部呈现出不连续,除根部仍连在一起外,另一端为自由端,这时残余应力将重新分布.工件形状不对称时,残余应力的分布也将不对称,在其作用下将会产生变形.取某一齿为例,如图2所示,在圆周方向(齿的宽度方向),槽的面积基本相等和对称,残余应力是平衡的,故不会引起圆周方向上的弯曲变形.但在径向方向上,齿的轴线方向尺寸较大,齿的上下表面积不相等(环齿外表面的尺寸面积比里边的大),由于横截面的形状不对称,残余应力的重新分布也将不对称,残余应力的重新分布会引起齿的轴线弯曲变化,零件也因轴线弯曲变

形使得内部的残余应力达到平衡. 这就是工件轴线发生弯曲变化的原因.

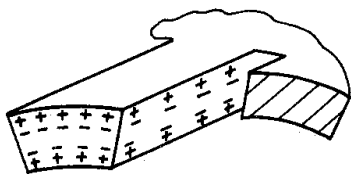


图2 园环铣槽后残余应力分布

此外, 轴线发生弯曲的方向完全取决于残余应力的性质. 由于环齿外边的尺寸面积比齿里边的尺寸面积大, 当表面处于残余拉应力时, 在残余拉应力的作用下, 每一个齿的轴线将向外弯曲. 在零件的内环上, 齿的内外面积差较外环大, 齿的轴线向外弯曲的程度也比外环大. 第二批工件在切槽后直径的变化结果也证明了这一点. 同样道理, 工件在渗氮后, 由于表面形成较大的残余压应力, 这时的作用结果完全与残余拉应力时的作用相反, 齿的轴线将向内(向圆心方向)弯曲, 故直径尺寸向内收缩, 工件的最终加工结果也证明了这一点. 此外, 从测量的数据来看, 渗氮后收缩的数值远远大于渗氮前向外胀的量, 这与工件材料的组织是否稳定以及冷却速度的大小有极大关系.

3.2 工艺编排不合理引起零件的变形

(1) 材料缺乏稳定组织的热处理, 再次加热时易变形. 38CrMoAl 按其含碳量来分, 它常作为调质钢来使用. 经过调质后有稳定的组织和良好的综合机械性能, 但由于含有一定量的铝元素, 铝元素与氮元素有较好的亲合力, 可有较好的渗氮性, 故常又作渗氮钢来用, 氮化后硬度可达 HV800~1000 以上(相当于 HRC63~70)^[5,6]. 但原工艺中只考虑零件表面的耐磨和高硬度的要求, 在加工中只进行了退火处理和一次定性处理, 这些显然是不够的. 首先工件尺寸偏大, 退火虽能有效降低硬度和去除部分的残余应力, 但不足将毛坯的残余应力完全去除掉. 其次是定性处理, 它实际上也是一种退火处理, 而一般的退火温度无法使 38CrMoAl 完全相变, 无法获得稳定的组织和良好的综合机械性能, 氮化时的再次加热会引起组织变化及形状变形.

(2) 切削加工方式对零件产生变形. 由前面分析可知, 铣削力对齿的轴线弯曲有直接作用, 虽然在计算数值上没有达到材料的屈服强度, 若齿的横截面积较小、齿较长且依次铣削时, 影响则不可忽视, 也会引起变形.

4 加工工艺的修定与应用

修定后的工艺充分考虑了零件所用材料的性能、加工方法及最后的要求. 选用 38CrMoAl, 虽然它渗氮后有较高的尺寸稳定性, 但这是在组织均匀稳定的前提下而言的, 只有通过调质处理, 才能获得稳定的组织, 故在精加工前应安排一道调质处理工序. 文献[5,6]中也介绍使用这种材料时, 调质处理是一道非常重要的工序.

在铣槽加工时, 采用铣削力对弯曲影响最小的铣削方式, 可采用间隔贯穿的铣削方法. 即每隔一槽后进行贯穿铣削, 如图3所示. 当工件加工一半后, 剩下另一半齿的加工铣削力方向和前面恰巧相反, 可起到纠正前一道工序中铣削力引起的变形.

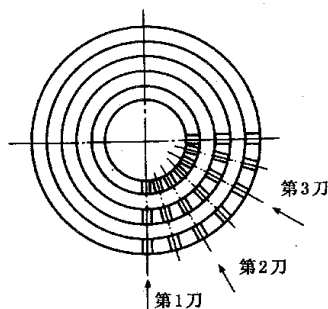


图3 间隔贯穿铣槽顺序示意图

渗氮时, 应首选氮化温度比较低、变形较小的等温度渗氮法. 若采用离子渗氮法时, 渗氮的温度也不能超过调质的回火温度.

修改后加工工艺如下: 退火(主要消除毛坯正火后硬度不均)、粗加工(去除大部分金属量)、调质(930~950℃淬火及700~720℃高温回火)、精加工(除去调质后的氧化层及剩下余量)、定性处理(采用真空炉防止氧化)、铣齿槽(采用间隔贯穿的铣削方法)、渗氮(温度不能超过调质的回火温度)、检验.

按修改后的工艺进行生产, 零件的仅有微小的变形(仍往里收), 但变形量均在公差范围内.

5 结论

环形梳齿状零件加工时轴线产生弯曲与其受力有极大关系. 铣槽时铣削力对轴线弯曲有直接作用, 当齿较短及齿横截面较大时影响不大. 齿轴线发生的弯曲和方向取决于残余应力的性质. 当齿的外表面为残余拉应力时, 轴线将向外弯曲, 当齿的外表面为残余压应力时, 轴线的弯曲方

向将向内(指向圆心).在采用 38CrMoAl 进行渗氮时,为保证渗氮后的尺寸稳定性,一定要进行调质处理,其位置要安排在精加工之前,它的回火温度为 700~720℃(高于其后渗氮温度)较为适宜.

参考文献:

- [1] 艾兴,肖诗钢.切削用量简明手册[M].北京:机械工业出版社,1994.
- [2] 方博武.金属冷热加工的残余应力[M].北京:高等

教育出版社,1991.

- [3] 王先逵.机械制造工艺学[M].北京:机械工业出版社,1995.
- [4] 《钢的热处理裂纹与变形》编写组.钢的热处理裂纹与变形[M].北京:机械工业出版社,1978.
- [5] 彭其凤,丁洪太.热处理工艺与设计[M].上海:上海交通大学出版社,1991.
- [6] 《机械工程材料数据手册》编写组.机械工程材料数据手册[M].北京:机械工业出版社,1995.

Analysis of the Deformation and Manufacturing Process of Annular Piece with Comb Type

QIN Shou-tong¹, MA Ru-jin¹, SUN Jian², ZHANG Zhi-guo¹, ZHANG Chun-hua¹

(College of Mechanical & Electronic Engineering, Zhengzhou University of Technology, Zhengzhou 450002, China; 2. Beijing Red Lion Coatings Corp., Beijing 100078, China)

Abstract: Analysis of the deformation of annular piece with comb type is made. This paper points out that different feed way and residual stresses are main reasons of axis bending which of annular piece with comb type. This paper also introduces alternate intersect milling method and special demand of position, temper temperature of used quenched and tempered steel in pressing technology.

万方数据

Key words: annular piece with comb type; deformation; residual stress; manufacturing technology