

大模数粉末冶金齿轮磨齿工艺

郝建勇, 岳剑龙, 刘勇, 许利利

中国航发西安动力控制科技有限公司 陕西西安 710077

摘要: 针对大模数粉末冶金齿轮的磨齿过程进行工艺研究, 通过线切割齿形局部偏置的方法, 在成形砂轮磨削时避开齿根转接处的内凹敏感部位, 解决了齿面表面粗糙度要求高和齿根烧伤等问题。

关键词: 粉末冶金齿轮; 齿根; 烧伤; 线切割; 齿形; 磨齿

1 序言

粉末冶金是制取金属粉末或用金属粉末(或金属粉末与非金属粉末的混合物)作为原料, 经过成形和烧结, 制造金属材料、复合材料以及各种类型制品的工艺技术。粉末冶金材料是用粉末冶金工艺制得的多孔、半致密或全致密材料(包括制品)。随着对新材料应用的不断探究, 航空发动机齿轮类零件越来越多地采用粉末冶金材料。但是, 由于粉末冶金材料特殊的成形方法及材料本身所具有的特殊性能, 因此使得在磨齿时会出现尺寸不稳定、烧伤等现象。高精度齿轮精度要求在国标4~5级时, 只能用磨齿、珩齿的方法来保证其加工精度。大模数齿轮(模数 $m \geq 5$)磨齿时, 齿根转接处和根径烧伤十分严重。

2 零件及材料性能分析

图1所示齿轮零件加工要求: 模数=6、齿数=11、压力角=28°、齿圈径向圆跳动公差=0.028mm、公法线长度变动量公差=0.02mm、齿距极限偏差=±0.011mm、齿形总偏差=0.01mm、齿

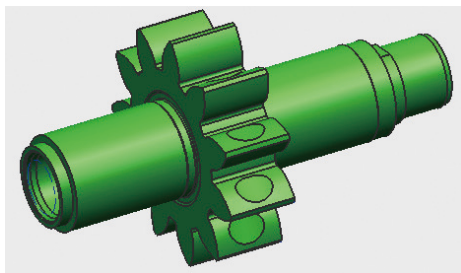


图1 齿轮零件示意

向偏差=0.01mm以及单个齿距偏差=0.008mm, 达到了5级精度, 属于高精度大模数齿轮, 在加工中必须依靠磨齿来保证最终精度。

该零件模数虽较大, 但只有11个齿, 属于根切齿轮。零件的变位系数为0, 没有变位, 这就意味着在零件的齿根转接处会形成很大的转接半径 R 及内凹, 在成形磨齿加工中, 齿根转接处的散热性较差, 容易产生烧伤。另外, 在磨齿过程中由于模数较大, 因而砂轮与齿面的接触面积也较大, 散热受阻, 严重影响了齿轮加工精度。

零件材料为AHP10V粉末冶金高钒工具钢, 材料中碳化物多, 在渗氮处理后, 其硬度高达65~70HRC, 材料耐磨性高, 其多孔性及高硬度直接影响了磨齿精度。

3 磨齿时齿根转接处烧伤分析

经多次实际加工发现, 此种大模数少齿数粉末冶金齿轮磨齿时, 烧伤大多发生在齿根转接处, 分析其原因, 主要有以下几个方面。

1) 粉末冶金材料本身具有难磨削性, 渗氮处理后, 其硬度高达65~70HRC, 高硬度使得材料磨削困难。

2) 由于模数大、齿数少以及没有变位, 因而齿轮本身就会有严重的根切, 在齿根转接处会产生内凹, 这样一来, 磨齿时就会在转接处积累大量的磨削热, 导致散热性不好。

3) 由于在转接处切削液很难进入磨削区域, 所以齿根转接处冷却不充分。

4) 零件经过渗氮处理后, 齿根转接处容易应力集中, 导致此类齿轮在磨齿时, 齿根转接处烧伤以致产生烧伤裂纹。

4 线切割对齿根转接处进行预处理

针对齿根处烧伤的原因, 在加工时可以采用割齿的方法对齿根转接处(见图2)进行预先处理, 提前去除加工余量, 避免磨齿时此处烧伤。根据齿轮的啮合原理, 在不影响齿轮副正常啮合的情况下, 对齿根转接处进行预处理, 由齿轮参数可以计算出转接处位于基圆以下, 按共轭齿轮啮合时的工作圆计算出工作圆半径为

$$R_1 = m(z-2) / (2\cos\delta)$$

式中, m 是模数; z 是齿数; δ 是相啮合齿轮顶圆上的压力角($^\circ$)。

经计算得出齿轮工作圆尺寸, 如图3所示。

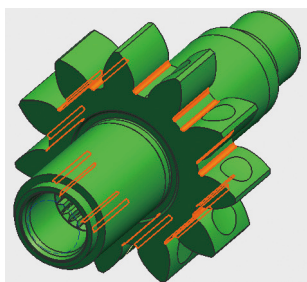


图2 齿根转接处示意

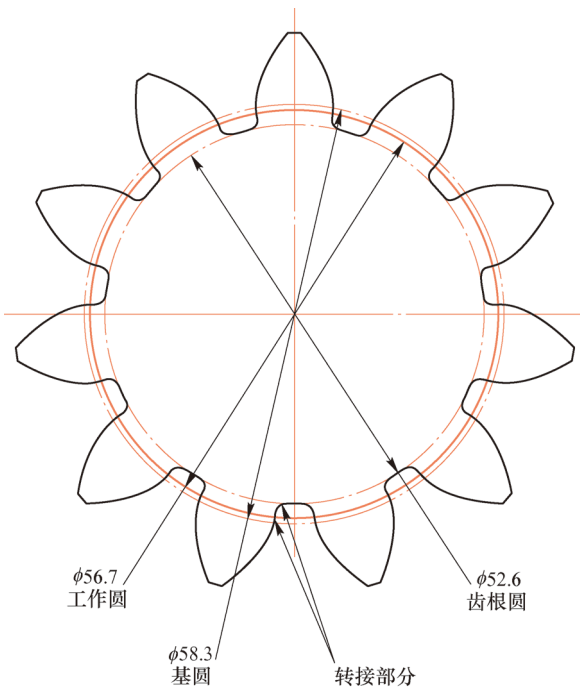
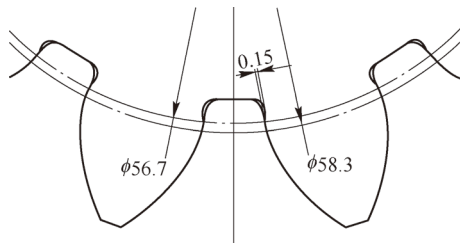
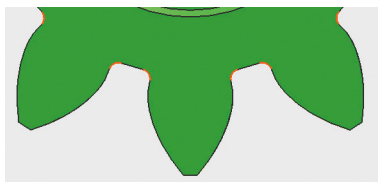


图3 齿轮工作圆尺寸

根据计算结果, 可在齿轮工作圆 $\phi 56.7\text{mm}$ 以下到齿根圆 $\phi 52.6\text{mm}$ 部分进行 0.15mm 的过切偏移。这是因为该部分没有渐开线, 不参与零件的啮合, 对齿轮副的啮合不会产生影响。齿根转接处偏移量如图4所示。进行线切割割齿时, 在此处的偏置容易实现。当最后进行磨齿加工时, 所加工部分仅仅是齿轮的渐开线工作齿廓, 不对齿根转接处进行磨削加工, 既保证了齿轮的加工精度, 又避免了局部烧伤。



a) 尺寸



b) 示意

图4 齿根转接处偏移量

5 磨齿砂轮的选择

对于大模数齿轮, 由于磨齿砂轮和齿面在磨削时接触面较大, 而粉末冶金材料在渗氮后组织会发生显著变化, 材料本身的多孔性会导致砂轮表面出现微观疲劳, 所以当砂轮从孔到固体颗粒往复移动时, 磨料持续受到冲击, 持续的小冲击导致砂轮脱落; 多孔性还会降低零件的导热性, 最后导致砂轮切削刃微崩, 砂轮不锋利, 磨削过程中尺寸不稳定, 致使零件发生烧伤现象。材料的高硬度成了制约磨削精度的主要因素, 在砂轮的选择上应考虑特殊磨料及粒度、材料硬度以及砂轮气孔的变化。

渗氮处理后的粉末冶金材料磨削时容易黏附, 堵塞砂轮, 造成磨削过热, 表面完整性降低。要选择黏附性小、磨损小以及不易堵塞的砂轮。因为成形磨齿机不同于展成磨齿机, 其进给垂直于加工工件, 即径向进给, 成形砂轮的形状等于最终齿形, 所以成形磨齿机砂轮的形状比较复杂, 切削量在各点不尽相同, 它需要更好的保形性能, 因而所选砂

轮应具有较高的硬度，加之磨削容易烧伤，故砂轮需有气孔。

综上所述，经加工试验，得出粉末冶金磨齿砂轮的选择建议如下。

1) 砂轮磨料选择特殊陶瓷刚玉5SG磨料。

2) 由于表面粗糙度值 $Ra=0.4\mu m$ ，所以砂轮粒度通常以100#为宜。

3) 陶瓷结合剂热稳定性与化学稳定性好，防水、耐热、耐腐蚀、磨损小且可长时间保持磨削性能，具有多孔性、不易堵塞以及生产率高的优点，因此粉末冶金齿轮磨削首选陶瓷结合剂砂轮。

4) 在保证齿面表面粗糙度的前提下，尽可能选择较软的砂轮。但是由于磨削原理不同，成形磨齿机的砂轮硬度要稍高于展成磨齿机的砂轮硬度，因此砂轮硬度为G较好。

5) 选用的砂轮型号为5SG100-G15VS3P，规格为300mm×20mm×50.8mm（外径×厚度×孔径）。

6 磨齿加工参数的调整

成形磨齿机为双面磨削，即砂轮对一个齿槽的左右齿面同时进行切削，冲程进给缓慢，不利于散热和切削液的进入，因此成形磨齿机对齿面容易造成表层回火及二次淬火烧伤。磨削过程一般分为粗磨、半精磨和精磨三个阶段。粗磨过程进给速度为3000mm/min，进给量为0.02~0.03mm/r；半精磨过程进给速度为2000mm/min，进给量为0.01~0.015mm/r；精磨过程进给速度为1000mm/min，进给量为0.008mm/r。对加工后的齿轮进行检测，得到齿形公差均值为0.0048mm，齿向公差均值为0.0053mm，公法线变动量为0.01mm，能够满足图样要求。因为零件齿数较少、模数较大，所以砂轮齿形修得较大，在磨削过程中砂轮的保持性较好。但是由于零件材料较硬，导致砂轮的锋利性差，磨削时容易烧伤。经试验得出，在进行完一次磨削之后，需进行一次砂轮的修整，以保持砂轮的锋利性，减少磨削烧伤。

7 结束语

针对大模数粉末冶金齿轮的磨齿工艺进行分析和研究，总结出合适的加工方案，磨齿前对齿根转

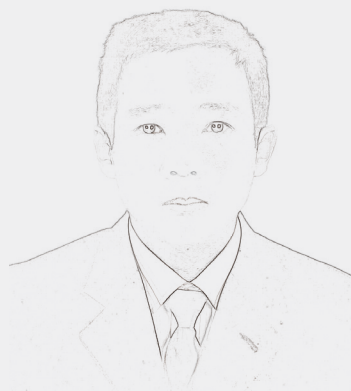
接处进行线切割偏置加工，磨齿时仅加工齿轮的渐开线工作齿廓，通过砂轮和磨削参数的调整，最终解决了该类齿轮的加工难题。

参考文献：

- [1] 黄健求，楼应侯，朱从容. 机械制造技术基础[M]. 北京：机械工业出版社，2005.
- [2] 许洪基. 齿轮手册[M]. 北京：机械工业出版社，1980.
- [3] 张泰昌. 齿轮检测[M]. 北京：中国标准出版社，2007.
- [4] 肖伟敬，汪军，付慰平. 砂轮性能对齿轮磨削效率及磨削烧伤的影响[J]. 机械传动，2013（7）：149-151.
- [5] 汪军，丁英辉，范乃则，等. 齿轮磨齿烧伤的分析与防止[J]. 机械传动，2009（1）：89-92.

MW 20210419

专家点评



本例中的粉末冶金齿轮属于大模数少齿数根切齿轮，在齿根转接处会形成很大的圆弧及内凹，磨齿过程中砂轮接触面积较大，散热受阻，容易造成表面烧伤。作者通过工艺分析，采用线切割与磨齿相结合的加工方案，通过线切割齿形的局部偏置，过切齿根部位至设计要求，磨齿工序仅加工齿轮的渐开线工作齿廓，不再对齿根转接处进行磨削，巧妙地解决了齿根部位的烧伤难题。这种避难就易、独开蹊径的加工方法很值得推广学习。