

高精度粉末冶金齿轮轴的磨削工艺探究

■ 中国航发西安动力控制科技有限公司（陕西 710077） 岳剑龙

摘要：在航空发动机零件中，齿轮使用粉末冶金材料、磨削加工成为保证这一高精度的首要加工方法，但粉末冶金的高精度磨削却很困难。为更好地保证粉末冶金的磨削精度，本文通过对粉末冶金氮化前后磨削工艺安排的分析，在氮化前后实际磨削加工过程中磨削砂轮的选择，机床参数调整的研究，从而选择出了该方式磨削所需的最优砂轮参数和机床加工参数，更好地保证了粉末冶金齿轮的磨削精度。



1. 产品零件及材料性能分析

本文所试验的零件如图1所示，其中涉及磨削的为两处轴颈和两处端面，以两处轴颈为加工基准，本身尺寸要求较高，加之要求了很高的形位公差。端面平面度为0.005mm，要求很高，且规定只需内凹，这又增加了加工难度。在实际加工中采用端面外圆磨床来保证这些加工要求，对半精磨和精磨预留适当的磨削余量，根据氮化前后材料的性能选定不同的砂轮及加工参数。

粉末冶金是采用金属粉末（或金属粉末与非金属粉末的混合物）作原料，经过压制或成型、高温烧结，将其按需要的

比例混合后压制成型的一种特殊材料。试验用粉末冶金材料AHP10V，属于高钒工具钢，材料碳化物多、硬质点多、含钒量大且材料耐磨性高，其多孔性及高硬度直接影响了其磨削精度。

这类粉末冶金材料在经过氮化热处理后，其材料性能也会发生明显的变化。在氮化之前，通过压痕深度测量硬度为18~23HRC，但是分布组织中硬质点的硬度高达65~70HRC，这些硬颗粒会导致严重的砂轮磨损。在氮化热处理后，其硬度高达65~

70HRC，而且热处理变形量也会直接影响后续加工精度。

2. 氮化前后磨削工艺分析

图2所示为试验零件，考虑粉末冶金的难磨削性，在保证足够的加工余量前提下，下道工序所留的余量应越小越好，再考虑到氮化变形问题，所以在氮化之前进行必要的粗磨加工工序。经试验所得：氮化之前的粗磨可留0.1~0.15mm的余量给氮化后的磨削，当然这中间还会涉及到渗层问题的控制；氮化之后零件的硬度要求为HRC≥56，但由于

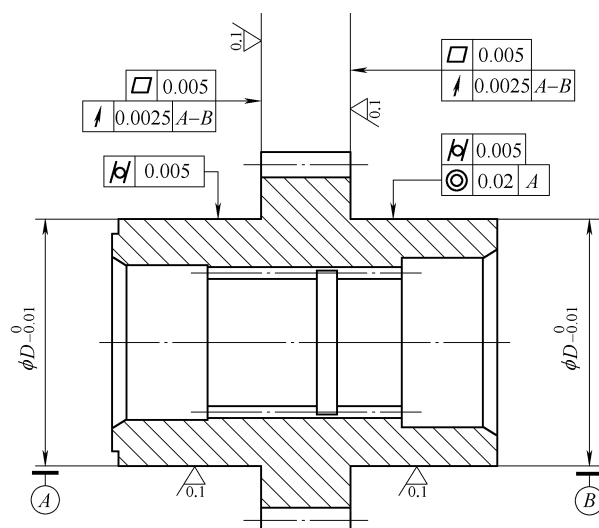


图1 产品零件加工要求

AHP10V材料的特殊性，其硬度会高达65~70HRC，材料的高硬度使得磨削很困难，一次磨削加工达不到理想的精度要求，故可分为半精磨和精磨进行，半精磨留0.03~0.05mm左右的余量给最后的精磨削来保证最终的加工精度。

3. 氮化前后磨削加工研究

(1) 氮化前磨削砂轮的选择和机床加工参数的调整：氮化前的粉末冶金材料通过压痕深度测量硬度较低，从单一的硬度看来，材料属于较软的一类。但在初次磨削试验之后未取得很好效果，分析了其内部组成之后发现，此类材料存不均匀性，其中分布有硬质点如前文所述。此类结构会导致砂轮磨削时容易贴附，堵塞砂轮，造成磨削过热，表面完整性降低，在磨削过程中容易烧伤零件。这就使得在砂轮的选择上要选择粘附小，磨损小，不易堵塞的砂轮。氮化前的磨削属于粗磨削，对表面粗糙度质量要求不是太高。

综上所述，氮化前粉末冶金磨削砂轮参数分析如下：①砂轮磨料选择特单晶刚玉SA磨料，此类磨料颗粒锋利并坚硬，有很好的自锐性。②砂轮粒度在氮化前通常以80#粒度为宜。由于是粗磨削，此时对表面粗糙度质量要求不是太高，此粒度使得磨

削时粘附小。③砂轮结合剂由于陶瓷结合剂颗粒能力强，热稳定性与化学稳定性好，防水耐热，耐腐蚀，磨损小，长时间保持磨削性能，具有多孔性，不易堵塞，生产率高，所以粉末冶金应选陶瓷结合剂砂轮。④一般在保证齿面粗糙度的前提下，尽可能选择较软的砂轮，经试验得出砂轮硬度以J为好。

在外圆端面磨床进行粗磨时，设置工件转速为120r/min，经试验得出采用光磨以减少零件烧伤概率，即零件进给达到0.05mm时，停下进给继续光磨，给零件一个冷却过渡时间；还可在修砂轮的时候把修砂轮的速度调高，使得砂轮更粗。当磨不动零件的时候，砂轮掉粒快，避免把零件磨伤。此时砂轮进给速度为0.3mm/min，磨削深度的推荐值为0.05mm/pass。

(2) 氮化后磨削砂轮的选择和机床加工参数的调整：粉末冶金在氮化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的微观疲劳。当砂轮从孔到固体颗粒往复移动时，磨料持续受到小冲击，导致砂粒的脱落；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。而氮化后的磨削属于精加工，需保证零件的精度要求，此时相比较氮化前的磨削，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号和硬度的变化。

综上，氮化后粉末冶金磨削砂轮参数分析如下：①由于硬度

较高，砂轮磨料选择新型陶瓷烧结刚玉NQ磨料，氮化后的磨削属于精磨削，磨削力小。此类磨料独特的外形能使其在较小磨削力情况下产生较好的自锐性，使得在磨削过程中始终保持砂轮的锋利性。②氮化后为半精磨和精磨加工，表面粗糙度值通常至 $R_a=0.1\sim0.05\mu\text{m}$ 。此时的砂轮粒度号经试验得出，半精磨时粒度号为100#，精磨时粒度号以220#左右为宜，这样便能很好地保证其表面粗糙度质量。③由于硬度较高，表面粗糙度质量要求高，砂轮的#硬度选择H硬度为宜。④在高硬度的情况下磨削，粉末冶金材料很容易产生烧伤，在选择砂轮时需制造有大气孔，以减少磨削时的烧伤。

在外圆端面磨床进行精磨削时，设置工件转速为110r/min，砂轮线速度35m/s进行高速磨削。由于所留余量较小，砂轮进给速度为0.01mm/min，在磨削至余量0.005mm处，改为0.001mm/r进刀，在余量为0.001~0.002mm时进行一次砂轮修整，最后进行一次光磨，保证零件最终尺寸和表面粗糙度。

4. 结语

本文从工艺安排和实际磨削加工中选择砂轮以及加工参数，对粉末冶金这种难加工材料磨削进行了分析和研究，通过实际的实验磨削得出了关于在氮化前后粉末冶金齿轮轴磨削的一些参数，其中包括对砂轮的选择以及机床加工参数都做了相应的探究，从而解决了高精度粉末冶金材料磨削难的问题。MW

(收稿日期：20161015)

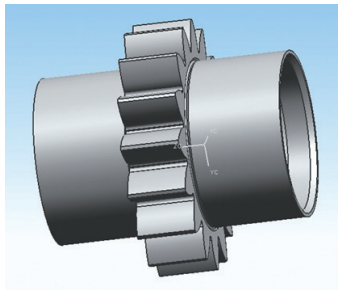


图2 零件示意图