航空齿轮类零件加工工艺研究

西安航空动力控制科技有限公司 （陕西 710077） 王 曦 赵兴龙

航空工业是世界上对技术要求最苛刻的行业之一。航空发动机低成本的制造目标，对发动机研制成本高、周期长提出了严峻的挑战，而切削效率与切削刀具使用成本之间的矛盾，一直影响着航空发动机的研制成本和进度。航空发动机及关键零部件的制造精度直接影响其性能和运行安全性，而航空发动机及关键零部件材料、结构和工艺的复杂性与其高精度制造之间是矛盾的统一体，制造精度不高，造成我国航空发动机及关键零部件的生产过程中产品一致性差、合格率低等问题，已成为制约高性能航空发动机研制的一个瓶颈。

齿轮传动是最常见的一种机械传动，是多种机器动力和运动传递形式中的一种，在机械产品中属于很关键的组成零部件，齿轮传动具有紧凑的结构尺寸，很大范围的运转功率，很高的圆周线速度，精准的传动比、较高的传动效率，是机械传动中不可缺少的组成部分，齿轮的设计思想与加工制造水平直接对机械产品性能和质量产生影响。

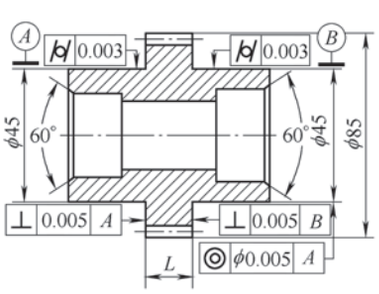
1. 粉末冶金齿轮的齿坯加工

油泵齿轮是发动机重要的热端部件之一，它的工作条件极为苛刻，为了保证航空发动机的可靠性和稳定性，对于此部件的材料，欧美等发达国家多使用粉末高温合金钢，它组织均匀、晶粒细小、无明显偏析，合金化程度高，抗疲劳性能好，是高推比发动机齿轮、涡轮盘等部件的首选材料。AHP10V是采用粉末冶金方法制得的一种高钒（V）含量的工具钢，钢中碳化物的分布及基体状态直接决定了它的力学性能。它将高频感应炉熔炼出的钢液，经高压气体喷射使之雾化，经过制粉、包套、热等静压（HIP）制成致密的粉末冶金钢坯，再经锻造、轧等热变形制成ϕ20～ϕ150mm不等的工具钢型材。粉末冶金工具钢AHP10V组织均匀，碳化物晶粒细小，消除了熔铸钢难以避免的偏析，因而比相同成分的熔铸钢具有更高的韧性和耐磨性，同时还具有热处理变形小等优点。

采用粉末冶金的工艺制造零件产品是粉末冶金工业的初衷，它的目的是消除所有的机加工序，但是这个目标还没有实现，受到粉末冶金零件成形工艺的制约，直接能够成形的产品多为质量约数10g的零件，大多数零件是接近最终形状或直接使用棒料加工的。因而还需要切削加工以获得要求的形状及精度，但是由于粉末冶金材料的多孔性以及微观组织中存在硬质相，导致了在实际生产中存在刀具磨损失效严重、加工效率很低、刀尖钝化严重及加工质量不稳定等现象，严重制约了粉末冶金材料的应用。

零件如附图所示，材料为AHP—10V，零件表面硬度≥65HRC，中心硬度30～45HRC，磨削加工完成后，保证所有外表面粗糙度值R_a=0.1μm，满足图示要求。

（1）齿坯的车削加工。在零件的加工中，工件的尺寸精度和表面粗糙度很大程度上取决于刀具的材料。多孔结构是使粉末冶金零件具有广泛用途的特性之一，但刀具的寿命也会遭到多孔结构的损害。多孔结构能储油且能隔音，但也导致微观上的断续切削。当从孔到固体颗粒往复移动时，刀尖持续地受到冲击，导致很小的疲劳破裂变形和沿切削刃的细小崩刃。



加工零件图样

鉴于粉末冶金零件的上述特性，加工用的刀具材料应满足以下要求：刀片加工稳定性好，抗氧化、耐高温，抗冲击能力强；刀片硬度和耐磨性好；有足够强的抗弯强度和抗冲击韧性；刀片耐热性好，在高温下能保持一定的强度和韧性以及抗黏结、扩散的性能。

通过分析切削试验结果，得到如下结论：①材质IC5010的硬质涂层刀片CNMG120408—GN适合AHP10V粉末冶金工具钢的加工。②加工AHP10V粉末冶金工具钢的刀片，主偏角选择为40°～50°，副偏角选择0.5°～3°，刃倾角选择－10°～－20°，不容易出现积屑瘤，能保证零件表面质量。③切削速度优选80～120m/min，进给量优选0.08～0.1mm/r，零件转速应在800～1 000r/min，保证表面粗糙度值R_a＞1.6μm。

（2）齿坯的磨削加工。AHP10V这种高钒粉末冶金合金钢在磨削加工时，零件的表面粗糙度与磨削端面产生的裂纹一直是现场加工的难题之一。在零件的磨削时，使用常见的白刚玉砂轮、铬刚玉砂轮、单晶刚玉砂轮及绿碳化硅砂轮，都无法解决零件两齿端面的齿根部由于切削拉力的影响而产生的严重发散式磨削裂纹。

通过分析切削试验结果，认为立方氮化硼砂轮，经由树脂结合剂凝结，浓度V240，当砂轮转速为2 500r/min、切削进给0.02mm时，可满足图样零件的加工要求。由树脂结合剂将磨粒凝结，磨粒的保持力较低，因而磨粒的出刃效果十分突出，且不易引起磨粒的负荷，减小了产生在零件端面的切削拉应力，避免了磨削裂纹的产生。

2. 高精度齿轮的加工

如附图所示的带轴齿轮，其最大的特点就是采用轴两端的顶尖孔作为机械加工全过程的共同基准，以便达到图样要求的几何公差和各项技术指标，所以这种高精度齿轮零件加工，除对加工设备的精度有较高要求外，零件上的中心孔本身也要有明确的几何公差要求，须在高精度中心孔磨床上对中心孔进行修磨并研磨，保证中心孔的表面粗糙度和几何精度符合要求，以确保滚齿工序和磨齿工序加工基准一致，不会出现偏磨现象，保证齿轮氮化层质量，并在零件粗加工后增加稳定化去应力工序，消除机械加工中产生的应力。

通常轴齿轮的加工工艺路线如下：粗加工→去应力→研磨中心孔→精加工制齿基准→制齿→中间检验→氮化→磁力探伤→修研中心孔→精加工磨齿基准→磨齿→检查氮化深度→检查硬度→磁力探伤→终检。

常见的齿轮失效形式有齿根的弯曲疲劳、齿面的接触疲劳等，而这些多源自齿形面或齿根的表面，因此齿轮表面的完整性也是齿轮制造的重要环节，它包括齿轮表面粗糙度、表面硬度及表面残余应力等。齿轮齿坯、制齿加工是形状制造，是表面完整性的前一工序。为了提高齿轮加工的生产效率和确保齿轮的表面完整性，通常将齿轮的机械加工分为粗加工、半精加工和精加工。粗加工和半精加工时进给较大，主要完成成形前的大致轮廓，对表面完整性要求不高，主要控制在成形加工最终尺寸要求内的表面层不引起组织缺陷和过大的残余拉应力，但在精加工时进给量和磨削速度都很小，要确保表层的残余应力处于很小数值的范围内或残余压应力状态。

常见的机械加工齿轮表面缺陷有因热量过高导致的表面脱碳和氧化、表面烧伤或软点、表面微观裂纹等形式。表面脱碳或氧化、表面烧伤都可能导致齿面硬度降低或局部出现软点，严重时出现断齿或齿面掉块等失效现象。当表面磨削加工工艺参数不当或冷却润滑不好时，齿面会出现烧伤现象；当烧伤不严重时，零件表面可能出现较大的残余拉应力；当烧伤严重时，零件表面形成微观裂纹。因此，在齿轮工艺的编排过程中，在半精加工和精加工之前要进行磁力探伤或荧光检查、硬度测试和冶金分析等检测。

齿轮的最终加工如光整加工、抛光等，都是为了保证零件表面质量而进行的精细加工，对齿轮的表面完整性影响很大。我国的齿轮加工缺少表面完整性制造技术体系，很多表面改性技术在实际工程上也因存在问题较多而应用效果不够理想，但是在齿轮的表面完整性制造与抗疲劳制造中积累了大量的工艺参数，使齿轮零件具有寿命长、抗疲劳及可靠性高的特性。我国航空齿轮生产行业正在从中低端产品生产迈向高端产品制造。**MW**

（收稿日期：20150820）