

浅谈压气机轴的选材原则

六〇八所 曹敦柏

摘 要

本人以压气机轴为例论述了选材原则：一、满足机件的使用性能；二、易加工性；三、经济性。

众所周知，产品零件的设计不单是结构设计，还应包括材料与工艺的设计。把选材看成一种简单而不太重要的工作是不妥当的。碰到零件的选材问题时，可参考相同零件或类似零件的用材方案，选择一种传统上使用的材料；别的发动机类似零件用什么材料就是什么材料的简单处理方法是不科学的，往往是发生许多重大质量事故的根源。所以，选材正在逐渐变成一种严格地建立在试验与分析基础上的科学方法。下面以压气机轴的选材为例谈谈选材原则。

我们知道，轴是各种机器中最基本的零件，往往也是非常关键的零件，它直接影响机器的精度和寿命。航空发动机的压气机轴，同样是发动机的关键零件，它带动压气机叶片或叶轮高速旋转，把抽吸的冷、热、潮湿、干燥、海雾等空气进行压缩，使其压力和温度升高到一定程度，同时还通过齿轮传递一些附件。因此，它受的载荷是弯曲、扭转、冲击、拉伸和压缩等复杂载荷。此外，压缩机轴两端（有时甚至在中间）需要用轴承来支持。如用滑动轴承时则轴颈处应有较高的硬度。因此，对压气机轴的性能要求有三：1)优良的综合性能，要有高的强度和高的韧性，以防断裂；2)高的疲劳抗力，以防疲劳断裂；3)良好的耐磨性（尤其是轴颈处）及一定的抗大气腐蚀性能等。

在分析了压气机轴的受载情况和性能要求后，就可以考虑压气机轴的选材了。在此之前还要简单地分析一下轴类零件的选材情况。

轴类零件传统的选材方法是按照强度计算进行的，同时考虑到材料的冲击韧性和表面的耐磨性等。轴类零件根据受力情况的不同，可分别用45、40Cr、35CrMo、40CrNiMoA、

12Cr2Ni4A、18Cr2Ni4WA和38CrMoAlA等钢种。

45号钢是一种价格低廉、生产、加工较方便的材料。经调质处理后，得到的强韧性与合金调质钢相差不多。但由于它的淬透性差，对直径大于25mm的零件，即使用水淬也不可能淬透。而压气机轴一般都在50mm以上，显然是淬不透的。因此也就不可能获得高的强韧性能。加之45号钢回火稳定性差，调质处理后，不容易获得优异的综合机械性能。所以45号钢不能做航空发动机压气机轴材料。

40Cr钢，经调质处理后，其强度和韧性等方面与35CrMo、38CrMoAlA、40CrNiMoA钢几乎一样。但由于它含合金元素较低，故其淬透性也较低，只能用于较小尺寸的轴。

12Cr2Ni4A和18Cr2Ni4WA钢是高淬透性合金渗碳钢，经表面渗碳后，再进行淬火加低温回火，可用于表面硬度高而心部韧性好的受冲击载荷较大的齿轮和齿轮轴零件。18Cr2Ni4WA钢经调质处理后又是一种综合力学性能优良的轴类用钢，已用于制造航空发动机涡轮和压气机轴。

38CrMoAlA钢是一种氮化钢，由于氮化时间长，成本高，故一般用于受力不太大、精度要求高、热处理变形小、工作过程中磨损轻等轴类零件。

40CrNiMoA钢是一种具有综合机械性能好的中碳合金调质钢。由于它含合金元素较多，不但含有Cr、Ni元素，使其淬透性显著提高，而且还含有Mo元素，使其消除回火脆性，此外，价格较低、加工容易，主要用于制造大截面、重载荷的重要零件，当然也就适用于高强度的压气机轴。从统计国外部分发动机压气机

国外部分发动机压气机轴用材统计表

苏	联	其它国家压气机轴用材
发 动 机	材料牌号	
ПД-10机前后轴 ПД-20机轴 ПД-9Б机前后轴 ПД-3М机前轴 АИ-20及АИ-24机轴	40XHMA (40CrNiMoA)	美国: J100-CA-100机轴及JT3D-3B机的高压轴颈: 17-22A(45CrMoV) 加拿大: PT6T-6机前轴: Ti-6Al-4V, 后轴: 4340 (40CrNiMoA) 法国: 阿赫耶-IC机, 轴流压气机转子轴: Z12CNDV12 (1Cr11Ni2W2MoV) 英国: 达特-525F机, 内轴: S/CV(50CrVA) 叶轮轴: HYKR(25Cr3Mo) S/ZA V(18Cr2Ni4WA) 斯贝MK-202机低压前轴: S/SJV(1Cr12Ni3Mo2V) 低压后轴, 高压前轴: S/HHH(25Cr3Mo) 中介轴, 高压后轴: S/CMV(35Cr3MoV)
BK-1及BK-1Φ机 的前后轴	18XHBA (18Cr2Ni4WA)	
ПД-3М机中轴	OXH3M (35CrNi3Mo)	
P-11Φ-300机压气 机轴	12X2H4A(渗碳) (12Cr2Ni4A)	

轴的用材来看(详见上表)、40CrNiMoA 钢广泛用作压气机轴材料。

也有些国家的压气机轴用不锈钢, 甚至钛合金。例如, 斯贝MK202机的低压前轴, 用S/STV(1Cr12Ni3Mo2V) 不锈钢, 阿赫耶-IC机的轴流压气机转子轴, 用Z12CNDV12(1Cr11Ni2W2MoV) 不锈钢, PT6T-6机的前轴和美国一些发动机的压气机轴已用Ti6-Al-4V钛合金。我们知道, 这些不锈钢和钛合金经过适当的处理后, 不但具有中碳调质合金钢的强韧性, 还具有合金钢所没有的抗腐蚀性和更高的耐热性。除此之外, 钛合金还有一个显著的优点是它的比重轻, 比强度高, 这对于减轻发动机和飞机的重量, 具有战略性的意义。但由于不锈钢和钛合金与合金钢成本相比较, 加工也较困难, 所以, 只有在合金钢满足不了设计性能(如耐蚀、耐热性等)要求的情况下, 才使用不锈钢和钛合金。当然, 钛合金由于具有耐蚀、耐热、比重轻等优点, 随着航空技术的进一步发展, 随着压气机的增压比和使用温度的进一步提高, 随着钛合金的大

量应用, 其成本将会逐渐降低。钛合金作为先进发动机压气机轴的材料是理想的。

经过对压气机轴的选材分析, 我们可以得出如下的结论, 在针对具体的应用条件选择机件合适的材料时, 需要考虑的基本问题或原则有三项: 1) 所选材料能否满足机件的使用性能要求。而机件的使用性能又包括载荷的类型形式和大小(载荷是恒定的还是交变的, 是扭转的还是弯曲的, 是冲击的还是剪切的, 是拉伸的还是压缩的等等)。零件的工作环境(包括介质的腐蚀性、温度的高低)以及其它的特殊如电、磁、热等要求, 都是属于零件使用性能的分析范畴; 2) 所选材料是否有较好的加工工艺性能, 即是否方便地制造成设计所要求的零件; 3) 用所选材料制成的零件能否作到成本低, 寿命长, 符合我国的资源情况, 即是否有较好的经济性。

上述三条选材原则是相互联系的, 但有时又是相互矛盾的。在确保机件性能的前提下, 尽量作到三者的统一是设计者的根本任务。