现代制造业中发挥着重要的作用，如何提高国产电火花小孔加工设备的稳定性、可靠性，增强国产电加工设备在世界范围内的竞争力是我们的共同目标，我们应该集思广益，使国产机床制造水平得到有效的提高。



主管工艺师 冯建伟

特种加工技术在航空发动机制造中的应用

中航工业常州兰翔机械有限公司　冯建伟　牟宗平

在新一代飞机的研制保障项目和批量生产过程中，为了缩短国内特种加工技术和国外先进水平的差距，保障自主研发，国家对特种加工设备、仪器仪表的采购、重要设施的建设以及人才培养等方面都给予大力支持及投入大量的经费，这也充分表明先进的加工技术对航空发动机发展的重要性。下面结合实例，浅谈几种特种加工技术在我厂的应用。

1. 叶片榫齿加工

叶片是航空发动机最常见的零件，也是非常重要的零件，不论是旋转的还是静止的叶片，尺寸要求都非常高，我厂有一种涡轮盘GH93叶片，安装部位为榫齿结构，榫齿要求形位公差很高，此零件也是关重件，以往采用改造过的进口铣床铣加工，如图1所示，利用定制的专用成形铣刀分别进行粗、精铣加工，并有严格的工艺控制，虽然这种办法能满足尺寸要求，但受高合金材料、切削线速度、刀具磨损等因素限制，长期以来工作效率一直不高。

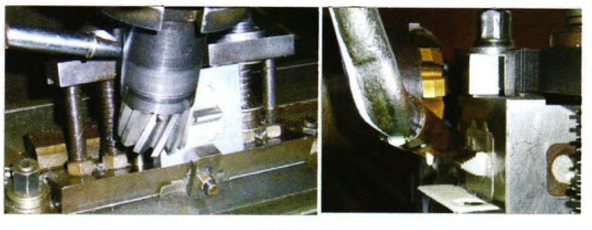


图 1

近年来，随着叶片批量生产的需要，我厂针对此类型产品引进了特种加工设备——蠕动磨床，以磨代铣，蠕动磨是砂轮可以一次通过工件将成形形状磨削至全深的一种特种工艺，具有将毛坯工件一次加工成形的特点，可以合并粗、精铣工序一次对毛坯进行磨削，分担了其他机床铣削的负荷，同时，砂轮可以根据工件形状随时打磨、修整、更换，工作效率大大的提高。

2. 蜂窝组件特种复合加工

现代航空发动机涡轮部件的旋转件和静止件之间常常采用气流封严结构，以减少气流损失，提高发动机功率，老一代的发动机多采用封严闭齿结构，但随着我国航空发动机制造工艺技术的不断提高，金属蜂窝真空钎焊件在新开发研制的机型中被大量采用，如图2所示，蜂窝片间点焊牢固可靠，其结构及加工本身就是一项特种加工技术，这项技术国内只有北京为数不多的几个厂、所才能生产，航空发动机蜂窝材质通常为耐高温合金，与之相配的蜂窝外环也为耐高温合金，组件采用真空钎焊连接而成，真空钎焊是另一种先进的焊接工艺，例如，我厂试制的某型号燃气轮机采用了多种蜂窝封严组件结构，如图3所示。

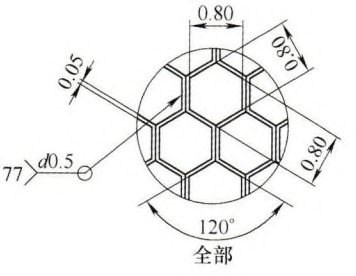


图 2

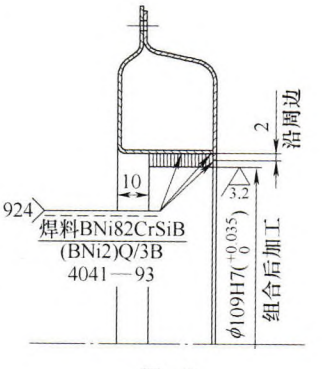


图 3

蜂窝材料为GH536，蜂窝外环材料为GH625，粘带钎料为BNi82CrSiB（BNi2），针对蜂窝材料薄、孔洞多且均匀密集分布，受热易变形的结构特点，钎焊前将钎料薄片均匀填充打磨清理过的蜂窝与蜂窝外环之间，用储能点焊将蜂窝材料固定在外环上用以定位，不涂钎剂，焊接时，钎料在母材间扩散，依靠毛细管的吸附作用分布到蜂窝外径的紧密配合面上，将工件连接。

焊接完成后的蜂窝组件内径109mm留有余量，通常单面2～3mm，用于组合加工，此时又出现另一种特种加工技术——电解磨，电解磨是电解作用与机械磨削相结合的一种特种加工，磨削时，导电磨轮与蜂窝两者之间保持一定的磨削压力，凸出于磨轮表面的非导电性磨料使工件表面与磨轮导电基体之间形成一定的电解间隙，由于浸在电解液中，在直流电的作用下，蜂窝表面金属由于电解作用生成离子化合物和阳极膜。这些电解产物不断地被旋转的磨轮所刮除，使新的金属表面露出，继续产生电解作用，蜂窝材料遂不断地被去除，从而达到磨削的目的，最后采用超声波清洗方式去除蜂窝孔洞内残留的电解废物、杂质等。

3. 屏蔽金属软管火焰钎焊

某航空发动机用屏蔽金属软管，如图4所示，规格$\phi 13^{+0.2}_{0}$mm×$\phi 6.7^{+0.2}_{0}$mm×460mm，切断的屏蔽软管两端金属丝容易毛茬、开散或脱丝，这种情况下不仅不易与管接头有效焊接，而且屏蔽效果也不好，在产品开发初期一直没找到合适的解决方法，虽然知道可以用火焰钎焊，但当时不熟悉加工技术要领，焊接质量无法保证，因此，只能委托第三方加工，后来经过人才培养，我厂逐渐掌握了此项特种加工技术——氧乙炔火焰钎焊，此零件所使用的钎剂为QJ102，钎料为HL312，具体操作如下：

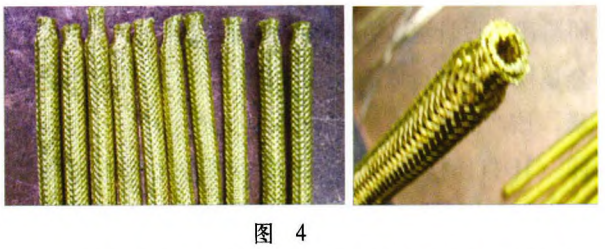


图 4

（1）金属软管在火焰钎焊前先整体加热处理，温度没有严格要求，约为300℃左右，目的是钎焊时软管基体与待焊接处温差变小，有利于焊接质量。

（2）钎剂兑水加热熔化并搅匀。

（3）调节好氧气及乙炔流量，用轻微碳化焰的外焰加热屏蔽软管一端，焰芯距焊件表面20mm左右。

（4）待屏蔽软管加热到钎料接近熔化的温度时，用金属刷将熔剂涂于焊接30mm左右位置处，并用外焰继续加热。

（5）同时立即将带片状钎料与被加热到高温的金属软管接触熔化，使其熔化渗入金属丝的间隙中，慢慢旋转软管，防止钎料堆积一处，当钎料渐渐流入间隙后，调节火焰焰芯与工件距离，加大到35～40mm继续旋转加热，使其金属基体与钎料之间能相互均匀溶解，同时应适当控制加热持续的时间。

（6）将软管放置在铜板上自然冷却，禁止裸手接触，以防烫伤，用上述办法继续焊接金属软管另一端。

（7）焊后及时用清水煮零件15～20min，去除零件残留的熔剂和熔渣，晾干。

（8）钳工对称切割金属软管两端，如图5所示，保证软管总长420^{+3}_{0}mm，两端内、外圆倒角1mm×45°，通$\phi 6.6^{+0.1}_{0}$mm钢珠，检查内通道，钢球不过，修理合格。

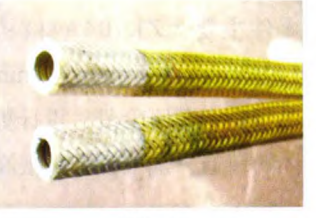


图 5

最后，采用常规焊接手段，按要求将管接头与金属软件氩弧焊焊接即可，效果如图6所示。

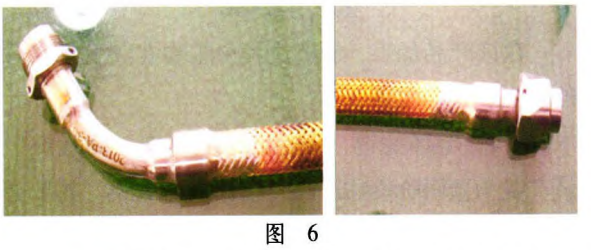


图 6

除上述三种加工案例之外，我厂还有很多的特种加工案例，由于篇幅的原因在此就不一一列举。

4. 结语

先进特种加工技术作为确保航空发动机结构完

整性是不可缺少的手段，其研究、开发与应用直接关系到航空发动机的质量、寿命和可靠性，相信随着对特种加工技术的不断深入及掌握，再高深莫测的事物都会变得简单，就像当初的线切割技术发展一样，到时特种加工技术也不再稀奇，作为普通的加工技术广泛地应用在加工行业的各个角落。

航空特种加工技术



特种加工技术在航空产品中的应用

贵州航天乌江机电设备有限责任公司经营部副部长、
高级工程师　张玉峰

在现代航空发动机设计中，为满足高性能航空发动机的要求，必须大量采用新材料、新结构，于是产品的可制造性就对制造技术提出了新的挑战，如难加工材料、复杂型面、精密表面的加工及特殊要求的零件加工等问题。特种加工技术的采用，可使航空发动机零件数量减少，结构设计简化，从而在性能、适用性、可靠性、维修性等方面均得到提高。

1. 案例分析

图1为大运项目中发动机导轨梁三维图，该零件主要为ZL104A材料，该零件外形尺寸为：1 365mm×585mm×418mm，结构复杂，由于该产品正处于预研阶段，设计更改频率较高，因此给毛坯的铸造、加工都带来很高的难度。

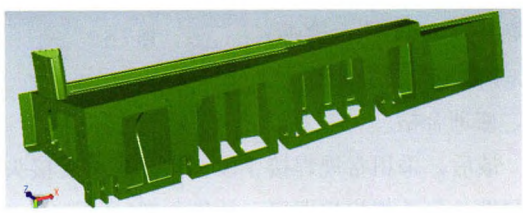


图1　三维视图

在该产品加工、制造过程中主要有以下几方面的难点：

（1）毛坯铸造，该毛坯形状复杂，同时由于该产品为预研阶段的产品，设计容易更改，如果更改，则模具就会报废。

（2）针对该零件，导轨槽部份加工难度大，采用常用加工方法时，对刀具要求较高，同时在现有的刀具中没有该种刀具，需订制专用刀具，如果采用专用刀具则刚度很难满足要求。具体如图2、图3所示。

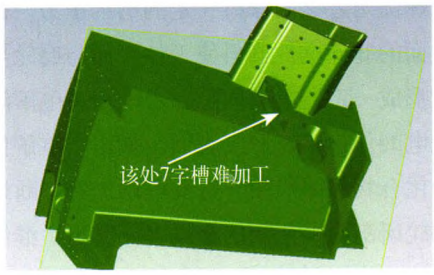


图2　7字槽示意图

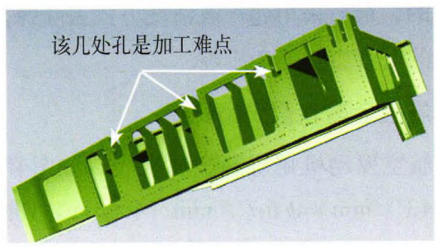


图3　孔加工示意图

针对该产品的要求，同时为了满足型号产品的研制要求，主要通过以下技术解决该难题。

（1）毛坯铸造　由于该产品正处于预研阶段，如果该毛坯的铸造，采用传统的制造方法砂型铸造时，该毛坯由于结构复杂，大多数地方无法采用机械加工满足设计要求，由于航空产品对重量的要求很严，产品的质量很难达到使用要求。若采用金属铸造，该方法能满足设计要求，但由于产品处于预研阶段，设计更改几率较高，如果设计一旦更改，金属模就要进行修改或报废重作。基于以上种种因素，该产品的铸造采用现有的先进技术——3D打印。3D打印技术是一种以数字模型文件为基础，运用粉末状金属或塑料等可粘合材料，通过逐层打印的方式来构造物体的技术。

（2）7字槽加工　对于该7字槽的加工，在《金