

# 航空制造业对刀具的新要求

New Requests for Cutting Tool in Aviation Manufacturing Industry

贺州学院 师润平

目前国内在切削刀具的全寿命监控和管理方面刚刚处于起步阶段,在未来一定时期内,自行设计、制造和使用好高效切削工具,促进我国早日实现从制造大国向创造大国的飞跃,无论对于中国的切削工具制造业还是航空制造业,都是必须面对和尽快解决的问题。

航空制造技术不但是一个国家国防能力的重要保证,同时也是其工业制造技术和经济发展水平的主要标志之一。从20世纪90年代开始,我国逐渐成为世界飞机零部件的重要转包生产国,波音、麦道、空客等世界著名飞机制造公司都在我国转包生产尾翼、机身、舱门和发动机等各种零部件。目前国家又从战略高度决定自主研制大型民用客机,即大飞机项目。这些飞机零部件的加工生产必须采用先进的加工装备和加工工艺。为此,国内各飞机制造公司均进行了大规模的技术改造,引进了大量国外先进的加工装备,使我国的飞机制造业设备的数控程度越来越高。与此同时,大量高速、高效、柔性、复合、环保的国外切削加工新技术不断涌现,使切削加工技术发生了根本的变化。刀具在航空加工领域的应用技术进入了以发展高速切削、开发新的切削工艺和加工方法、提供成套技术为特征的新阶段。但我国的装备制造制造业和以制造业为主要服务对象的传统的工具工业目前还不能满足

航空航天工业对现代制造装备和先进加工工艺的要求。本文结合我国航空制造技术发展的现实要求,分析了我国刀具制造技术的未来发展趋势。

## 航空制造技术的发展趋势及其对切削加工技术的要求

### 1 航空零件结构和材料发展的新趋势

(1) 以整体件为代表的铝合金结构件。

在航空产品制造中,铝合金切削加工量很大。首先,铝合金构件比重大。在一架高性能的战斗机中,高强度铝合金构件占飞机整机重量的比例高达70%~80%。其次,材料去除率高。为了提高零件的可靠性和减轻重量,传统的铆接结构逐步被整体薄壁的机加工结构件所代替。这类零件多数采用整体实心铝合金材料制成,70%~95%的材料要在加工中去除。如机身隔框毛坯是重达0.5t铝合金锻件,加工成薄壁整体结构框架时,重量仅有40kg左右。再次,薄壁、细筋结构件多,不能承受较

大切削力。

(2) 以钛基和镍基合金零件为代表的难切削材料零件。

由于钛(镍)合金具有比强度高、热强度好、化学活性大等特点,目前飞机发动机重要部件采用钛基和镍基合金材料的逐渐增多。这类材料的加工特点是:切削力大、切削温度高、加工硬化和粘刀现象严重、刀具易磨损。

(3) 以碳纤维复合材料零件为代表的复合材料结构件。

复合材料现已成为新一代飞机机体结构主要材料之一,如飞机上的大型整体成形的翼面壁板、带纵墙的整体下翼面等。主要切削工艺是切长边和大量孔加工。

### 2 航空结构件的切削加工技术要求及国产刀具应用情况

从航空零件结构和材料的发展趋势和特点可以看出,航空结构件的切削加工技术主要包括针对铝合金结构件的高速切削加工技术和针对钛(镍)基合金等难加工材料的切削加工技术2个方面,而切削加工中的

突出问题是提高生产效率、降低切削力和控制切削温度。

(1) 铝合金高速切削加工技术。

近年来,国内两大航空集团的飞机制造骨干企业均进行了大规模的技术改造,引进的数控金切机床总数就已超过 500 台,绝大多数是从欧洲、美国、日本进口的高速加工机床,主轴转速一般都在 10000r/min 以上,有的高达 60000 ~ 100000 r/min,切削速度达 2000 ~ 5000 m/min,加工进给速度达 2 ~ 20 m/min,材料的去除率达到 30 ~ 40kg/h,工作台的加(减)速度达到 1 ~ 10g。但由于高速加工的相关配套条件(如刀具技术、高速加工工艺技术)未能及时跟上,大多数设备在生产中的实际使用主轴转速在 10000r/min 左右,未能充分发挥设备的效能。有的企业采用国产刀具仅能在 6000 r/min 以下使用,15000r/min 以上必须采用进口刀具。

(2) 难加工材料的切削加工技术。

航空动力部门大量采用镍基合金(如 Inconel718)和钛合金(如 TiAl6V4)制造飞机发动机零件。对于这些难加工材料,目前国内的切削加工技术水平还比较低,仅少数企业开展了部分研究应用,切削速度仅能达到 80 ~ 100m/min,还没有在生产中大规模应用。

### 高速切削加工技术的优点

(1) 加工效率高,时间短。高速切削的材料去除率通常是常规的 3 ~ 5 倍,铝合金切削速度可提高至 100m/min 以上,为常规切削速度的 10 倍。

(2) 刀具切削状况好,切削力小,主轴轴承、刀具和工件受力均小。由于切削速度高,进刀量很小,剪切变形区窄,变形系数  $\xi$  减小,切削力降低大概 30% ~ 90%。同时,由于切削力小,让刀也小,从而提高了加工

质量。

(3) 刀具和工件受热影响小。切削产生的热量大部分被高速流出的切屑所带走,故工件和刀具热变形小,有效地提高了加工精度。

(4) 工件表面质量好。首先  $a_p$  与  $a_e$  小,工件粗糙度好,其次切削线速度高,机床激振频率远高于工艺系统的固有频率,因而工艺系统振动很小,十分容易获得好的表面质量。

(5) 高速切削刀具热硬度好,且切削热量大部分被高速流动的切屑所带走,可进行高速干切削,不用冷却液,减少了对环境的污染,能实现绿色加工。

(6) 可完成高硬度材料和硬度高达 HRC40~62 淬硬钢的加工。如采用带有特殊涂层(TiAlN)的硬质合金刀具,在高速、大进给和小切削量的条件下,完成高硬度材料和淬硬钢的加工,不仅效率高出电加工(EDM)的 3 ~ 6 倍,而且获得十分高的表面质量( $R_a$ 0.4),基本上不用钳工抛光。

### 高速切削对刀具制造技术的新要求

正因为高速切削具有切削力小、产生的热量少和零件变形小等优点,所以采用四轴或五轴联动机床进行高速铣削加工成为目前提高航空结构件生产效率的主要途径。但高速切削同时也对刀具制造技术提出新的要求,具体包括:

#### 1 精准设计

高速刀具的非正常失效形式有刀体折断、振动、崩刃和过快磨损,失效的主要机理是高速切削状态下引起局部应力集中和加工振动,因此,与传统刀具相比,高速切削刀具的设计要求更精密。

(1) 在设计方法上,应通过建立力学模型,进行应力分析和振动分析来计算或验证刀具的结构形式和具体尺寸。传统刀具的结构设计多采

用类比法确定。

(2) 在具体设计内容上,各参数的确定都要根据降低惯性离心力、避免应力集中、减小弯曲变形、减少摩擦和增加疲劳强度的设计原则精密确定,各项参数甚至非工作部位(如颈部、芯部)的尺寸都要严格规定,切削角度的确定还应通过切削试验确定。在传统刀具设计中,一般只对直径尺寸、刃部跳动和前后刀面的粗糙度严格要求,其余各参数则是给出较大的允许范围,颈部、芯部处的过渡  $R$  而由加工者根据情况自行确定。

(3) 根据切削速度规定合理的动平衡精度等级(或许用不平衡量)。当加工中心机床主轴转速高达 10000r/min 以上时,刀具系统(含刀刃、刀柄、夹紧装置)存在不平衡量所产生的惯性离心力会对主轴轴承、机床部件施加周期性载荷,从而引起振动,这将影响主轴轴承、刀具寿命、工件表面质量,降低工件加工尺寸精度,严重时甚至会引起刀具破损出现安全事故。因此,对高速切削刀具必须规定合理的动平衡精度等级(或许用不平衡量)。

#### 2 采用高性能材料

现有高性能刀具材料包括 PCD、CBN、陶瓷刀具、金属陶瓷、涂层刀具和超细硬质合金刀具等。为了有效预防高速刀具的提前失效,高速铣刀材料应采用具有良好抗冲击、耐磨损和抗热疲劳特性的超细晶粒硬质合金或细晶粒基体 + 高耐磨性涂层(TiAlN 不宜用于铝合金加工)。当 WC 晶粒尺寸减小到亚微米以下时,材料的硬度、韧性、强度、耐磨性等均可提高。普通硬质合金晶粒度为 3 ~ 5 $\mu$ m,细晶粒硬质合金晶粒度为 1 ~ 1.5 $\mu$ m(微米级),超细晶粒硬质合金晶粒度可达 0.5 $\mu$ m 以下(亚微米、纳米级)。超细晶粒硬质合金与成分相同的普通硬质合金相比,硬度可提高 2HRA 以上,抗弯强度可提高 600 ~ 800MPa。目前

大多数国内硬质合金材质的性能达不到航空制造业高速切削的要求,因此国内刀具厂家必须尽快提高超细晶粒硬质合金的制造技术和涂层工艺水平,并加大新一代抗热振性好、耐磨性好、寿命长的刀具材料的研制,加工超级合金、高性能新型工程材料和高速干切削的刀具材料是发展的重点。

超硬材料由于受制造工艺和成本限制,目前多用于车刀等简单形状刀具和难加工材料。

### 3 精确制造

(1) 用精密数控设备加工。实践表明,用国外高精度磨削设备制造的全磨制铣刀能够达到 ISO1940 标准中要求的 G2.5-G6 等级,否则需要按 G2.5-G6 等级要求进行动平衡。

(2) 加工刀具时应严格控制磨削速度、磨削深度、进给量等参数,防止被加工刀具表面出现粗糙度超差和磨削烧伤等微观缺陷。普通铣刀非工作部位出现的微观缺陷往往容易被忽略,但对高速铣刀却可能是致命的,伴随烧伤会出现的很大表面残余应力,甚至导致微细裂纹产生,从而引起刀具的折断破损。

(3) 确定并标注极限转速和不平衡量。刀具上应标定最大转速值  $N_{max}$  和不平衡量  $U$ , 并进行在  $N=2N_{max}$  条件下不发生弯曲或断裂的安全试验。

### 4 科学使用

与传统刀具相比,高速切削刀具具有较高的使用要求,只有正确的使用条件下才能实现高效率、高精度、高寿命和低成本的加工目标。

首先,通过切削试验确定高速切削加工的最佳切削用量并建立数据库。其次,根据具体加工对象选择合理铣削方式。如,铣槽时采用短刃刀具分层切削,减短刀具悬伸量,铣内腔 R 时采用摆线切削,以减小切削力变化量,铣曲面外轮廓时采用环形

等高铣,避免爬坡铣。此外,还应开发适于高速切削加工的编程技术。

### 5 精密装夹

高速切削用的刀具,尤其是高速旋转刀具,由于旋转速度很高,无论从保证加工精度方面考虑,还是从操作安全方面考虑,对它的装夹技术都有很高的要求。7:24 锥柄、弹簧夹头、螺钉等传统的刀柄形式和刀具的装夹方式已不能满足高速加工的需要。开发新型的高速工具系统已成为高速切削系统的重要组成部分。在刀柄方面:ISO 标准的 HSK 刀柄已成为高速切削刀柄的主流。在夹紧部位方面:国外各刀具公司研制开发了液压夹头、热装夹头、压入式夹头等各种刀具夹紧系统。

## 高速切削存在的问题及发展展望

高速切削是切削加工发展的主要方向之一,它除依赖于数控技术、微电子技术、新材料和新颖构件等基础技术的发展外,自身亦存在着一系列亟待攻克的技术问题,如刀具磨损严重,高速切削刀具切入切出时破损问题,高速切削用刀具材料价格昂贵,铣、镗等回转刀具及主轴需要动

平衡,刀具夹持要牢靠安全,主轴系统昂贵且寿命短,而且所用高速加工机床及其控制系统价格昂贵,使得高速切削的一次性投入较大,这些问题制约着高速切削的进一步推广应用。

高速切削发展趋势和未来研究方向归纳起来主要有:(1) 新一代高速大功率机床的开发与研制;(2) 高速切削动态特性及稳定性的研究;(3) 高速切削机理的深入研究;(4) 新一代抗热振性好、耐磨性好、寿命长的刀具材料的研制及适用于高速切削的刀具结构的研究;(5) 进一步拓宽高速切削工件材料及其高速切削工艺范围;(6) 开发适用于高速切削加工状态的监控技术;(7) 建立高速切削数据库,开发适于高速切削加工的编程技术以进一步推广高速切削加工技术;(8) 基于高速切削工艺,开发推广干式(准干式)切削绿色制造技术;(9) 基于高速切削,开发推广高能加工技术。

高效率、高精度、高柔性和环保性是机械加工领域的发展趋势。高速切削加工技术必将沿着安全、清洁生产 and 降低制造成本的方向继续发展,而成为 21 世纪切削技术的主流。

(责编 依然)



**EASTWARD**  
伊斯沃公司

在悉群产品、零件、整机上打  
印中英文字符或图形标记  
欢迎拨打免费热线电话: 800-807-6866

---

ISO9001 质量管理体系认证和高新技术认定的外资企业  
为用户设计订做各种工业专用标记机

- 气动标记打标机系列
- 无声气动标记雕刻机
- 无声气动标记压印机
- 振镜扫描连续激光标记打标机
- X-Y扫描连续激光标记打标机
- X-Y扫描脉冲激光标记打标机
- 电腐蚀标记打标机
- 喷砂标记打标机
- 半导体激光打标机系列
- 光纤激光打标机系列
- 汽车零件专用打标机
- 智能卡激光电用打标机



▲ 气动标记打标机系列



▲ 光纤激光打标机系列



▲ 激光标记打标机系列



▲ 激光金属纸标签



▲ PM154 轿车底盘 VIN 号数压字机

**品牌、专业、不打不相识, 伊斯沃为您解决一切标记问题**

中国公司  
地址: 重庆市渝北区花卉东路36号 邮编: 401147  
电话: (023) 67612671 67907455  
传真: (023) 67612677  
网址: www.eastward.com.cn  
E-mail: china@eastward.com.cn

各地服务热线  
华南服务热线: 13916137046  
华东服务热线: 15909317243  
华北服务热线: 13594320405  
东北服务热线: 15641087924  
重庆服务热线: 13808389345

广告索引号 08-092