DOI:10.16080/j.issn1671-833x.2009.19.012

数控高速加工在航空产品制造中的应用

Application of NC High-Speed Machining in Aviation Product Manufacturing

西安航空动力控制有限责任公司　施华玉

施华玉

现任西安航空动力控制有限责任公司物资供应部副部长。从事工具管理工作22年，积累了丰富的经验，在创新能力、技术攻关等方面作出了较为突出的成绩。解决生产现场数控刀具使用疑难问题上百余次。完成刀具立项项目3项，2007年完成了精益六西格玛的学习，并取得原中国一航颁发的第73期六西格玛绿带证书。现主要从事工具内控管理业务为完善修订质量体系文件，内控管理规定及办法。

应用高主轴转速、高进给速度的高速切削加工能使加工过程平稳，获得很高的精度；切削加工的工件表面质量几乎可与磨削加工相媲美，实现了“以铣代磨”的效果，从而可以实现壳体类、轴套类、异型件类的高质量加工。

西安航空动力控制有限责任公司（西控公司）是中国航空工业集团公司发动机燃油控制系统产品的专业生产厂家，同时与世界著名飞机制造公司霍尼韦尔、汉胜、古德里奇、伊顿等公司建立了合作关系，开展了转包生产的零部件加工业务。西控公司在生产航空发动机产品和飞机零部件加工过程中，由于要采用先进的加工装备和工艺，进行了技术改造，引进了先进的加工装备，使公司的航空制造业设备的数控化率越来越高，高效率、高质量的数控加工在公司得到广泛应用，促进了公司生产技术水平的发展。

数控高速加工设备在西控公司产品制造中应用的现状

近几年，随着国民经济和国防工业的迅速发展，国家对航空制造装备的需求也迅速增长。中航工业西控公司为了提高航空产品的制造质量、缩短生产周期，在技术改造方面加大了投资力度，引进了先进的加工设备，配置了相应的数控刀具。公司在数控高速加工过程中，虽然相关的配套技术（如刀具技术、高速加工工艺技术）还未能及时跟上，在加工有些难加工异型件时有相当难度，但在新品研制生产加工过程中也积累了宝贵的经验。如公司采用高速五轴联动加工中心机床加工的曲面凸轮，凸轮零件表面是复杂型面，材料是38CrMoAlA热处理后的氮化状态，表面硬度HRC ≥ 62。要完成生产研制，保证零件型面的加工精度，公司的研制技术专家、工艺人员从凸轮型面的设计，加工程序的编制，工艺路线的确定，零件热处理变形量的控制，数控刀具的选择，磨具的设计与制造等进行了科研技术攻关，最终实现了曲面变化复杂型面的加工。曲面凸轮研制加工的成功代表了西控公司高技术、高水平、高质量的生产能力。目前公司在航空发动机燃油控制调节装置异型件的加工中继续

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

进行新的挑战和突破。

1 西控公司在航空产品制造中对数控高速加工的需求

公司航空产品分为军品和转包2方面，产品概括起来就是“高精尖”。首先，在结构上公司航空产品大量采用组合结构件，以及铝合金、钛合金、不锈钢及高温合金材料。其次，在工艺装备方面，研制高性能的航空发动机燃油控制系统零部件所需的金属型铝合金模具，有色、黑色金属锻件模具，锻钢件模具等的加工难度也不断增加。

传统的机械加工技术已经无法有效地满足这些需求，而高速加工技术的特点和优势为实现航空产品新结构、新材料以及高精度工艺装备的加工提供了更为有效的解决方案。应用高主轴转速、高进给速度的高速切削加工能使加工过程平稳，获得很高的精度，切削加工的工件表面质量几乎可与磨削加工相媲美，实现了“以铣代磨”的效果，从而可以实现壳体类、轴套类、异型件类的高质量加工。对于航空产品中刚性较差的细长、轴、薄壁零件，可以高质量地加工完成；对于高精度工艺装备上的型腔曲面的加工，可以省去钳工抛修的工艺过程，直接加工出来；氮化状态、淬火状态的合金钢曲面凸轮和精密活门衬套组件等也可直接加工完成。

2 数控高速加工的核心技术

数控高速加工技术、数控高速切削刀具技术、数控高速加工工艺技术以及数控高速加工测试技术等是发展数控高速加工技术的核心，而数控切削刀具的选择直接影响着高速加工设备实现高效率、低成本的基础。在高速切削的发展过程中，机床与刀具的发展是相辅相成、相互促进的。在由机床、刀具和零件组成的切削加工工艺系统中，刀具是最活跃的因素。刀具切削性能的好坏取决于构成刀具的材料和刀具结构，特别是高速切削加工的生产率、刀具使用寿命的高低、加工成本的多少、加工精度和加工表面质量的优劣等，很大程度上取决刀具材料和刀具结构的合理选择。因此数控刀具的选择对数控高速加工的过程至关重要。

下面结合公司航空产品数控高速加工技术的现状及需要解决的问题，重点介绍西控公司在高效、高速切削中数控刀具、高速加工机床在生产应用中的情况和普遍存在的问题。

西控公司航空产品数控高速加工技术的发展现状

1 公司用于航空组合结构件的材料

(1) 整体件不锈钢及铝合金材料的结构件。

为提高产品零件的可靠性、降低成本和减轻重量，该类零件大部分是用整体实心不锈钢、铝合金材料制成的结构件，80% ～ 90% 的材料要在加工中去除掉，而高速切削产生的热量少、切削力小、零件变形小，因此提高生产效率的唯一途径是采用加工中心进行高速铣削加工。

(2) 钛合金和镍基合金难切削材料零件。

钛(镍)合金具有强度高、热强度好、化学活性大等特点，目前公司采用钛基和镍基合金材料的航空产品的重要部件逐渐增多。采用高速切削后，其切削速度可提高到80m/min以上，为常规切削速度的8倍。这类零件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。

2 航空组合结构件的切削加工技术

从航空组合结构件材料的发展趋势和特点分析，航空组合结构件的切削加工技术主要包括铝合金结构件的高速切削加工技术和钛(镍)基合金等难加工材料的切削加工技术2个方面。

(1) 铝合金高速切削加工技术。

适用于进行铝合金高速切削的加工中心主轴转速一般都在10000r/min以上，有的可高达60000 ～ 100000r/min，切削速度可达2000 ～ 5000m/min，加工进给速度达2 ～ 20m/min，材料的去除率30 ～ 40kg/h，工作台的加(减)速度达到1 ～ 10*g*。目前，公司的大多数机床主轴在生产中的实际使用主轴转速在8000r/min左右，未能充分发挥机床的效能。有的机床采用国产刀具仅能在3000 ～ 4000r/min以下使用，8000r/min以上必须采用进口刀具。

(2) 难加工材料的切削加工技术。

Inconel718（GH169）镍基合金和TiAl6V4钛合金是公司制造产品时采用的典型难加工材料，因它们很难加工，所以一般采用很低的切削速度。公司目前在切削加工技术水平方面还在探索研究，所选择的切削速度仅能达到80 ～ 100m/min，还没有在生产中大规模应用。如果选用高速加工，可以大幅度提高生产效率、减小刀具磨损、提高产品零件的表面质量。

3 高速切削刀具材料

高速切削技术的发展，刀具技术起到非常关键的作用。高速切削刀具材料和刀具制造技术都发生了巨大的变化。适合进行高速切削的刀具材料主要有：PCBN立方氮化硼刀具、涂层硬质合金刀具、陶瓷刀具和超硬材料刀具。

4 高速工具系统

刀柄是高速切削加工的一个关键部件， 高速切削用的刀具，由于刀具旋转速度很高，无论从保证加工精度方面考虑，还是从操作安全方面考虑，都对它的装夹技术有很高的要求。传统的刀柄与机床主轴的连接方式是7 ： 24锥柄(BT、ISO)，这种弹簧夹头、螺钉等传统的刀柄形式和刀具的装夹方式已不能满足适用高速加工的要求，因此开发新型的高速工具系统已成为改进高速切削系统

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

的重要组成部分。在刀柄方面，德国开发出了HSK空心短锥柄刀柄连接方式，HSK短锥刀柄采用1∶10的锥度，它的锥度比标准的7∶24锥柄短，可以实现法兰端面和锥柄的同时接触，具有很高的连接精度和刚度，可以采用高等级平衡及主轴自动平衡的系统技术，高速切削加工时能保证加工精度，保证高生产率，安全可靠。目前国际标准化组委会制定的ISO/DIS标准和德国DIN69893-1号HSK刀柄已成为公司高速切削刀柄的主流。

数控刀具高速切削的现状及存在的问题

1 国内刀具行业开发高速切削刀具的现状

近年来，随着国家航空制造业对高速加工刀具需求的日益增加，国内刀具制造企业针对高速切削加工技术和高速加工刀具进行了一系列的研发工作，取得了一定的进展。如成都工具研究所、成量集团公司、上海工具厂有限公司等工具行业的骨干企业，围绕高速加工技术，在硬质合金材料、涂层和刀具加工等方面加大了技改的投入力度，取得了初步成效，为航空企业提供了产品和技术。

2 西控公司在高速切削用刀具中存在的问题

目前，公司在制造业所需的高精度、高效率、高可靠性刃具产品和加工技术，80%以上依靠进口，我国刀具行业无法满足公司航空产品高速加工的需要。主要原因是我国刀具行业的研发和创新能力与国外相比存在较大差距。

（1）作为主要刀具材料的硬质合金牌号开发与国外产品有较大的差距，影响着整体切削水平的提高。目前仅有株洲钻石切削刀具有限公司、成都工具研究所等少数单位的个别牌号的性能接近国外产品，并且新牌号创新和升级的速度缓慢，使我国量大面广的一般机械加工行业的切削水平普遍处于低速、低效的状态。

（2）在涂层技术方面，除成都工具研究所自行开发涂层技术和设备外，我国既缺少基础理论研究，又缺少应用技术及设备的开发，行业内基本上都走引进设备、引进技术一条路。

（3）在刀具结构创新方面，基本上是空白，在国际机床展览会上，很难发现有我国原创的刀具产品。其原因在于我国刀具工业的主体仍处于生产传统标准刀具的模式之中，通用标准刀具的产量仍占各大刀具公司的绝大部分。

我国切削技术和刀具的落后，还表现在我国刀具工业的结构上，在我国只有个别刀具公司真正具备硬质合金刀具材料和涂层这2项核心技术，多数刀具厂都缺少硬质合金材料这项核心技术，有些刀具厂虽然引进了涂层设备，但不具备开发能力，制约着刀具公司进一步做大、做强。

数控高速加工设备在公司使用中普遍存在的问题

数控高速切削设备实现了零件的“零打磨”抛光和高硬度材料的精密加工，带来了更高的加工效率。我们在看到数控高速切削设备让人“砰然心动”的同时，还要清醒地认识到数控高速切削设备在应用上存在着一些难点和问题：

（1）数控高速加工设备的成本高，投资回报周期长。不仅数控设备本身成本较高，而且使用成本也很高，比较高端的高速加工数控设备的价额超过了150～160万元，高转速运行状态下，主轴的平均使用寿命一般只有3年，更换一次主轴的成本是整机的1/3。

（2）高速加工使用的数控刀具主要依靠进口，而且采购成本很高。

（3）加工工艺要求较高，不适当的切削量会给刀具带来很大的损坏。如果设备使用不当，刀具选用不合适，不但不能充分发挥设备的性能，刀具（包括刀片）就会大量报废，导致成本增加，产生巨大的浪费。

（4）数控高速加工设备对编制加工程序的工作人员要求高。目前，由操作人员自己编制加工程序，而操作人员的技术水平、对零件材料知识的认识水平参差不齐，造成加工时选择刀具的硬度及切削参数的差异性较大。

（5）加工准备周期较长。

（6）机床维修维护保障性差。

有效地应用数控高速加工设备

如果认为购置数控高速加工机床，就能实现高效生产，其实不然，因为很多数控高速加工机床并不能达到最优化使用，除了存在一些技术原因之外，认识上的偏差和使用方法的不当，也为其作用的发挥带来负面影响，如果所有的产品加工工序都在数控高速加工机床上完成，结果反而造成了加工设备的浪费。笔者经过多方考察调研，这方面国内外比较成功的做法是，数控高速加工机床与数控加工中心、普通加工机床、仿型铣床

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

配套使用，发挥其各自的加工优势，以达到加工系统最优、最有效运行的目的。例如用普通加工机床或仿形铣床完成大部分切削量（重切削），而剩余2～3mm的加工余量则由数控高速加工机床快速、高效、高质量的完成。这样做具有很多优点：普通的重切削机床比较普遍，加工成本很低；加工量大，精度要求不高极易达到；刀具便宜；数控高速机床高速切削时，因为加工对象已接近成型，切削量相对比较均匀；节省了抛光和打磨的环节与时间，加工的零件可达镜面效果的表面光洁度，表面完整性也很好；配合尺寸精确；虽然高速加工时刀具较贵，但加工时间短，切削量不大，性价比高。所以，公司结合产品特点，适当配套设备，发挥数控高速加工设备的高精度、高效率、高质量的加工特性，以实现产品的高效高精、低成本制造。

现在国家大力倡导产学研用相结合，加强科技研发和成果转换，航空工业正处于深刻变革和重要转型时期，西控公司作为中航工业企业，在提高数控高速加工技术的应用水平中，如何才能充分发挥其优势和作用？的确，国内数控高速加工设备及技术水平与机床发达国家相比，仍存在一定的差距，提高公司航空产品数控高速加工技术的应用水平，公司科研技术专家、工艺人员、设备及刀具管理人员责无旁贷。要与生产单位紧密结合，开展数控高速加工设备研究、基础工艺试验研究、切削刀具研究、综合系统工艺集成研究以及相关技术培训等内容。

充分发挥数控高速切削的作用

拓宽高速切削零件材料及高速切削工艺范围，建立航空产品的切削工艺数据库。开发高速切削加工编程技术，推广高速切削加工技术、干式（准干式）切削绿色制造技术，积极建立完善的推广应用机制。

针对航空产品常用材料，如铝合金、钛合金、不锈钢、镍基高温合金等材料开展切削工艺试验研究，建立相关材料的高速切削数据库，开展高速切削加工状态的监控，收集信息、不断改进。

加强公司航空产品高速加工制造工艺规范的研究。按质量管理体系GJB9001A的要求，新产品研制工艺文件编制的规定和标准研制工艺方案，在保证航空产品零部件合格装配的前提下，在装配试验研制过程中进行反复试验和试用。从设备的角度，要以数控高速加工设备为核心，高中低档加工设备相配套，综合选用设备特点，编制新研工艺图和加工工序路线图，以降低成本，提高效率，研制生产出质量好，精度高、产品零件装配性能稳定的研制工艺文件体系。

开展数控高速加工方面的技术支持和人员培训，为数控高速加工技术在公司航空产品中有效的应用培养高素质的技术人才。

结束语

数控高速切削刀具及相关技术是实现数控高速切削加工的基本条件，数控高速切削技术是先进的制造技术，推广应用数控高速切削技术不但可以大幅度提高机械加工的效率、质量，降低成本，而且可以带动一系列高新技术产业的发展。加强数控高速切削对数控刀具材料、刀具结构的基础研究，建立完整的工艺参数表和数控高速切削数据库、数控高速切削安全技术标准，对数控高速刀具在线监视系统、数控高速刀具动平衡等的研究，结合航空材料加工的实际情况，立足现有的刀具设计和制造能力，借鉴国内外先进经验加快数控高速切削刀具系统、数控高速切削机床系统的研究开发，以进一步提高公司航空工业数控加工的技术水平。

（责编　侧卫）

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net