

复合加工技术及其 在航空航天领域的应用

——访北京机床研究所副总师盛伯浩先生

Complex Machining Technology and Its Application in Aviation
and Aerospace Industry


本刊记者 小颖



盛伯浩

毕业于浙江大学机械工程系机械制造专业。现任北京机床研究所副总工程师,教授级高级工程师,浙江大学博士研究生导师,国家有突出贡献专家。主要研究方向为机床基础理论、数控技术、柔性制造工程和计算机辅助设计与制造。曾先后负责国家重点科技攻关、国家 863 计划 CIMS 主题、国家自然科学基金和机械工业技术发展基金等课题 30 余项,其中齿轮噪声评定及控制技术、加工中心稳定性分析软件、机床整体设计系统、柔性单元控制系统和快速重组制造系统理论与方法等 5 项获机械工业部科技进步二等奖。发表论文 80 余篇,主编手册和专著 9 部。

【编者按】机床盛会 CIMT 2009 结束了,但它展示给业内的新技术、新产品却影响深远,展会上各式复合加工机床纷纷亮相。那么此次展会反映了复合加工的哪些趋势?该技术在航空航天领域的应用情况如何?带着这些问题,本刊记者采访了北京机床研究所副总师盛伯浩先生。

: CIMT 2009 刚刚结束,展会上我们看到了很多复合加工机床,请问复合加工技术经过了怎样的发展历程?复合加工有何技术优势?

盛伯浩:这次 CIMT 2009 确实展出了不少复合加工机床,也反映出一些新的趋势,比如瑞士宝美展出的 S-191 Linear 复合加工中心,在原有车、铣功能的基础上,加入了插、磨功能,使复合加工覆盖的功能更强大;另外计算机技术的应用也使复合加工如虎添翼,加工过程的仿真及工艺优化成为业界关注的新热点。

说到复合加工要从零件生产工艺说起,从零件制造工艺来区分,存在着工序集中和工序分散两大类。工序分散即不用变换刀具和卡具,只

需更换零件,在数控机床出现以前采用该加工方法,专用性更强,大批量情况下效率也较高。所谓工序集中是指在一台机床、一个工作单元或一个工位上完成尽可能多的工序(工步)。数控机床出现后,零件安装位置变得精确,在一个零件上一次安装就可以把很多工序都加工完,减少了加工的安装误差,更主要的是减少了一个零件到另一个零件待制品的停留时间。复合加工即为适应工序集中而产生的加工方法。

1911 年,美国格林里公司为汽车零件加工开发了第一台组合机床,由此推动了应用复合刀具来提高加工效率和质量,使复合加工技术的内容有了扩展。但是复合刀具的复杂


性使刀具和调试费用大大增加,因而主要限于在大批量生产的关键工序上应用。1952年三轴数控铣床研制成功,尤其是1958年美国KT公司研制出有刀具自动交换装置的加工中心,能方便地编制加工程序,大量更换刀具,有力地推动了工序集中加工方法的发展。20世纪80年代中后期,随着加工中心功能和结构的完善,这种工序集中的数控机床的优越性得以体现,开始出现车削中心、磨削中心等加工中心,使复合加工得到了扩展而不再局限于镗、铣等工序。90年代后期又进一步发展了车铣中心、铣车中心、车磨中心等,近年来又出现由激光、电火花和超声波等特种加工方法与切削、磨削加工方法组合的复合机床,使复合加工技术成为推动机床结构和制造工艺发展的一个新热点。

复合加工及其制造装备的出现已有百余年的历史,但是真正得到较广泛的应用还是在20世纪80年代数控技术和数控机床成为制造技术的主流后。复合加工机床(Complex Machine Tools)的名称目前国外也未完全统一,有的称之为完全加工机床(Complete Machining Machine Tools或End to End Machining Machine Tools),究其内涵就是要在同一台机床上实现或尽可能实现从毛坯至成品的全部加工。

复合加工的主要优点为:(1) 进一步提高工序集中度,减少多工序加工中零件的上下料装卸时间。(2) 可避免或减少工件在不同机床间进行工序转换而增加的工序间输送和等待时间,从而大幅度地缩短零件加工周期和减少在制品储存量,有力地支持零库存的准时制造(JIT)的实施。(3) 减少工件安装次数,避免安装误差,有利于提高加工精度的稳定性。

目前最常见的复合加工机床是铣车中心和车铣中心。前者是在车

削中心基础上增添用于回转刀具的切削装置;后者则是在加工中心基础上增加了使工件回转的驱动装置。

: 复合加工都有哪些类型,它与特种加工技术的融合情况是怎样的呢?

盛伯浩: 复合加工按其加工特性可分为工艺复合和工序复合2类:

(1) 工艺复合指当工具装入机床后,顺序地或并发地利用多种制造方法尽可能多地完成零件的表面加工。所谓不同的制造方法,既指车、铣、镗、刨、磨、研、抛等不同的机械能



沈阳机床五轴车铣复合加工中心

源的切削和磨削加工方法,也指利用诸如电火花、激光和超声等其他能源的特种加工方法,甚至也可包括焊接和成形加工等其他工艺制造方法。

(2) 工序复合指用同类加工方法对不同工序进行顺序或并发操作,例如不同类型铣刀完成工件的顶面、端面、侧面、成形面甚至底面等不同工序的铣削以及粗、精铣等不同工步的加工。为了实现工序复合,要求机床具备能实现五面(甚至6面)加工和复杂型的加工功能。典型的机床如五面加工中心,它通过自动交换切削头实现对工件五面及斜面的加工,如果工件要加工复杂型面,就需配置五轴联动双摆头成为五轴五面加工中心,又如配有辅助第2主轴或工件调头机械手的车铣中心,就可实现工件全部6个面的所有加工。


特种加工方法可与普通加工方法结合而形成工艺复合类复合加工。

特种加工是各种利用物理的、化

学的能量去除或添加材料以达到零件设计要求的加工方法的总称,常用的主要有电火花加工、电化学加工、超声波加工和激光加工。由于这些加工方法的加工机理以溶解、熔化、气化和剥离为主,且多数为非接触加工,因此对于高硬度、高韧性材料和复杂型面、低刚度零件是无法替代的加工方法,也是对传统机械加工方法的有力补充和延伸,并已成为机械制造领域中不可缺少的技术内容。

近年来出现了由特种加工方法与切削、磨削加工方法相组合的复合

机床,但并不是很多。由于特种加工技术对工作环境的要求很高、很特殊,与现在的普通车、铣、磨工艺结合还有一定的困难,例如电火花加工是利用浸在工作液中的两极间脉冲放电时产生的电蚀作用蚀除导电材料,而普通车刀则很难在这种液体中工作。当然,未来的研究工作也会朝着这个方向继续探索的。

: 在航空航天领域,对产品零部件材料的性能有着特殊要求,其中有不少是难加工材料,这也对机械加工提出了更高的要求,请您谈一谈复合加工技术在航空航天制造业应用情况及应对这些加工难题的方法。

盛伯浩: 随着航空航天工业、核工业、兵器工业的发展,人们对产品零部件材料的性能要求越来越高,有的零部件要在高温、高应力状态下工作,有的要耐腐蚀、耐磨损,有的要能绝缘,在这些材料中,有不少是难切削的,如钛合金、高温耐热合金、不锈

钢、硬质合金等；还有很多零件形状复杂，如窄缝、窄槽、空间位置复杂的微细小孔。这些材料用传统的金属切削机床加工，不仅效率低，而且刀具费用昂贵，加工成本极高，有的材料甚至根本无法加工。将研、磨、抛等工艺结合起来的复合工艺可以解决其中的不少难题。

对于航空航天材料来讲，加工时主要考虑高低速、耐热性、安全性等方面的问题。对于一些特殊材料的加工，比如碳纤维复合材料需要考虑环保问题；镁合金则需要很好地加以保护以防止燃烧；另外还要防止加工粉末进入电气柜中，对于普通材料只要进行前后防护即可，而特殊材料则需考虑加正负压的问题。

计算机技术的发展，特别是加工过程的仿真及工艺优化为复合加工技术带来了什么改变？

盛伯浩：这确实是一个值得关注的问题。复合加工有很多优点，但也存在这两大致命弱点：第一，价格昂贵；第二，构件越多，结构越复杂，可靠性就越差。因此，复合加工技术必然被应用在一定的场合下，且对工艺的要求很高。复合加工应该针对结构复杂且有一定加工难度的工件。数控技术的发展使复合加工机床有相当好的灵活性，即很大的柔性。由于复合后“花样”增多，那么怎样做效率更高，怎样配置效果最优则是亟待解决的问题。

复合加工机床使用过程中主要有4方面需要注意，而这些正是使用加工过程的仿真及工艺优化所能解决的问题：

(1) 从理论上讲，加工任何一个表面3个轴就足够了，但是之所以用到多于3个的轴，是出于切削效率最高的原则考虑的。切削时，刀具总是在垂直于加工表面时效率最高；另外，在走刀过程中很有可能碰到非切削部位，所以多轴的另一作用是避开工件非切削部分，防止干扰。那么

如何保证刀具与加工表面的垂直、防止刀具与工件的碰撞呢？计算机技术的发展为我们提供了很好的答案：现在可以通过工艺仿真来实现这一目标。

(2) 为提高效率，机床可采用多种控制方法使某些加工部分同时进行。此时需要权衡利弊，既要高效利用机床又不能使加工精度受到影响，另外还要考虑同时进行的几个工序在工作时间上的匹配问题。

(3) 注意转台转动速度和换刀速度，如果转台转动比较慢，尽可能在一个面里把所有要加工的部分都加工完毕；如果转台转得很快，换刀很慢，则将一把刀所要完成的工序完成后再换刀，这些都是根据具体机床和工件的特点来处理的。

(4) 另外，通过仿真还可以解决安全性和抗干扰的问题。

复合加工工艺不仅是运动路线的问题，而且是整个工艺流程的问题，通过加工过程的仿真及工艺优化可以很好地利用复合机床的优点，使其发挥功效。

复合加工技术未来的发展



沈阳机床车铣复合加工中心加工的典型零件

趋势如何？

盛伯浩：复合机床绝不是各种功能简单地组合和堆积，要基于简约的观点进行方案的制定，使其在结构上有所突破和创新。如早期的车铣中心分设铣头和回转刀架，而目前已趋向于用一个主轴头实现两者的功能，使结构简化且紧凑。另外，对复合加工机床的研发要更多注意工序的适用性，同时，要有一定针对的零件族，根据零件的要求明确主要功能和辅助功能，使部件的匹配能更适合工艺要求，以免结构过分庞大。日本MAZAK公司的INTEGERX车铣中心通过工艺分析，利用主轴头C轴分度功能来配置少量车削刀具来满足需求，这是一个很有启发性的实例。

20世纪80年代起，由于市场竞争加剧，多品种中小批量需求日渐增多，如何使装备的柔性更强、工效更高是制造业进一步发展面临的关键问题。首先，批量生产中已成功应用的高效复合加工技术的经验为复合机床的发展提供了重要启示。其次，从技术层面上讲，由于数控技术、软件技术、CAM技术、信息技术以及可靠性等的发展具备了支持机床向构架简约化、结构紧凑化、配置模块化和部件商品化方向发展的条件，我们能方便地实现结构和性能更复杂的复合机床的研发和生产。

在复合机床的结构设计上采用可重构机床设计原理和方法是一个重要的发展方向，它的基本思想是在可重构设计原理指导下，充分利用在数控技术支持下的硬件结构的简易性和信息技术支持下的软件协调的方便性，使用户能根据工艺需要增删功能模块，对已有的制造装备进行快速反应重组，达到高效、低成本的目的。因此，可重构复合机床将是使复合加工技术得到提高发展的一个关键，也将是未来发展的一个方向。

(责编 依然)