

数控切削加工领域的数字化 测量技术和量具量仪

Digital Measurement Technology and Measuring
Instrument for NC Cutting

成都工具研究所 谢华锴
中国仪器仪表学会机械量测试仪器分会



谢华锴

研究员级高级工程师,合肥工业大学兼职教授,江苏大学博士生导师,中国仪器仪表学会理事暨机械量测试仪器分会理事长,全国量具量仪标准化技术委员会顾问。自1968年9月起在成都工具研究所工作至今,现回聘在成都工具规划开发部工作。主要从事包括精密测量仪器和精密复杂数控刀具在内的精密工具的科研技术开发和生产,兼指导博士生课题研究等。

精密复杂数控切削加工技术和装备近年来的快速的发展,推动了高档数控机床的发展,已经成为我国机械装备制造业中的重点关注方向。数控切削加工系统主要由七大部分组成:即数控切削机床、工装夹具、

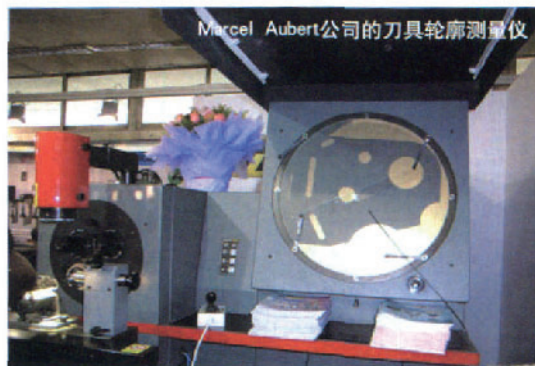
作为系统运行质量保证体系中关键信息的获取、分析和评定环节,数字化测量技术和精密量具量仪是数控切削加工技术与装备的“眼睛”,装备、服务并推动着先进数字化切削技术和数控切削机床的持续向前发展。

数控刀具和工具系统、加工零件、数控系统、数字化测量系统以及包括加工工艺数据库在内的数控切削加工信息服务系统。数字化测量技术和量具量仪则对包括7个部分在内的整个数控切削系统的加工过程和结果实施检测监控。作为系统运行质量保证体系中关键信息的获取、分析和评定环节,数字化测量技术和精密量具量仪是数控切削加工技术与装备的“眼睛”,装备、服务并推动着先进数字化切削技术和数控切削机床的持续向前发展。十一五期间,制造领域国家优先发展的重大专项中包含了能源、汽车、航空航天以及铁路交通运输等制造业,而这些行业所涉及到的典型、关键零件的特点是:大、重、复杂、精密,其中新型难加工材料的切削加工占据了相当大的比重,这

给数控切削加工技术和装备提出了新的课题,也对数字化测量技术和仪器提出了新的要求。

数字化测量技术和量具量仪
推动数控刀具制造技术的发展

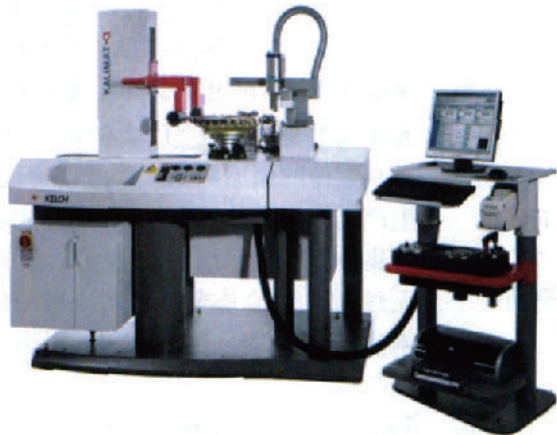
数控刀具作为使用于数控机床的先进切削刀具,为了适应先进数控切削加工技术的发展,在其设计加工制造直到使用的整个产品生命周期中,用于数控刀具几何精度检测的数字化检测技术和仪器有着长足的进步。



1 数控刀具 / 刀片的检测技术

通过采用测量精密成形、复杂、组合式数控刀具 / 刀片几何精度的非接触式光学或激光数字化检测技术和仪器,提高了检测的精度和效率,尤其是测量数据的计算机存储和向数控机床自动传输的功能,为数控机床、数字化集成切削加工系统提供了良好的配套服务。近年来,对于数控刀具 / 刀片复杂三维形状和刃口微观形貌的设计制造、以及其与切削性能关系的研究越来越受到关注,相应的检测技术和仪器也得到开发。对数控刀具 / 刀片的测量主要包括:数控刀具 / 刀片几何形状和位置精度的检测,高速切削数控刀具动平衡 / 安全性的检测,数控刀具的在机检测,以及数控工具系统的精度检测。对二维形状的数控刀片大量的检测通常采用数字式光学投影仪及图像处理系统来进行,三维接触式或非接触式轮廓仪则多用于三维复杂形状数控刀片的精度检测。系列 CCD 数控刀具预调测量仪适用于不同类型结构的数控刀具精度检测。代表当今先进水平的凯狮 Kalimat A 可实现数控刀盘上各个数控刀片的自动检测和装调;Zoller 公司的 Zenit 全自动刀调仪,其精度达到微米级。

随着高速切削的推广,适用于高



KALIMAT A/MR自动对刀仪可实现自动检测和装调

速切削数控刀具动平衡性以及安全性检测的数控刀具平衡检测仪得到快速推广。目前在国内采用较多的

有德国 Zoller 和意大利 CEMB 的产品。专用数控刀具的精度一般都由专用测量技术和仪器进行检测:数控齿轮刀具通常由 CNC 齿轮测量中心、滚刀检测仪等检测,精密拉刀有专用数控拉刀测量仪,此外还有专用的弧锥齿轮刀盘检测仪等。

2 数控工具系统的检测技术

HSK、Capto、KM 及 Big-plus 等具有双面约束、两面夹紧定位的新型工具系统,已经成为高档数控机床工具系统的主导结构,它为数控机床的、由机床主轴 - 工具系统 - 数控刀具组成的主轴 - 刀具系统(可称为“刀具轴系”),提供了更高的综合刚度和精度。其中已经被列为国际 / 国家标准的 HSK 工具系统应用最为广泛。由于新型工具系统必须达到锥面和端面的两面夹紧定位的要求,其几何精度的检测较之传统工具系统更为复杂精密,为此开发有专用的检测仪器和装置,以及用于基准传递的量具量规和基准测量仪器。相关的国内基准传递系统和质量控制管理体系的建立和完善,还待我国工具行业和国家计量检测部门共同做出努力;对于新型工具系统的技术理论基础和试验研究,还有待于我们深入、系统地开展。

3 数控刀具的在机检测技术

数控刀具的安装精度和切削加工过程中或使用后的磨损 / 破损状况的在机实时监测,对于保证批量产品技术的质量稳定性及大型难加工材料工件的加工质量来说,是一种重要的技术手段,日益得到重视。工厂迫切需求可靠的数控刀具在机精度检测、补偿调整、以及磨损破损检测技术和装置。例如英国 Renishaw、德国 Blum 和意大利 Marposs 等公司提供的激光刀具在机测量仪,可以方便

的安装在数控机床上,对在机数控刀具的破损、径向跳动及位置精度进行测量和反馈补偿。手摆式数控车床刀具测量装置应用逐渐普遍,成功用



数控刀具平衡检测仪

于汽车发动机汽缸孔加工的精镗自动补偿系统,自成一个镗刀闭环补偿系统,减少了刀具磨损、环境温度变化与其他加工不稳定因素对孔加工精度的影响。

刀具破损磨损的在线实时检测与判定是个瓶颈,对于数控刀具更显重要。强制换刀则要求数控刀具 / 刀片质量可靠稳定,离散度要小;针对加工工艺采用不同的机械、光电、力、功率、声发射等单项或组合检测技术进行监测,可能会有较好应用效果。

目前,在我国数控刀具制造技术中,数字化测量领域发展的主要动向为:(1)数控刀具制造质量的检测,从主要满足刀具宏观几何形状精度要求,转向更加关注切削刃口微观形貌质量要求。从刀具外在质量转向内在质量的关注。对数控刀具材质微观冶金结构、金相组织,以及对反映其内在质量的机械性能、物理化学性能进行数字化分析、检测和控制的相关技术及仪器得到了重视和发展。

(2) 先进数控刀具材料制造技术和涂层技术,是我国高档数控刀具制造领域的主要技术瓶颈,有待加大相关制造工艺过程和装备的实时检测以及控制技术和仪器的开发研究力度,加快研究步伐。



数字化测量技术和仪器 在数控机床制造精度检测 领域的发展

为了满足数控机床和装备制造精度的现场高精度、高分辨力、高速高效、多参数检测的需求,世界主要几家激光测量仪器开发商都相继推出了新型激光测量系统,具有小型化、高性能、多功能等特点,操作更方便,并具有在线测量补偿功能,提高了数控机床的精度。

1 数控机床几何精度和位置精度的检测技术和仪器

英国 Renishaw、美国 API 和 Optodyne 光动等公司,采用了先进大规模集成电子器件和电路,分别推出了“掌上”激光测量系统。Renishaw 公司配有高性能传感器的 XL-80 激光干涉测量系统,在测量精度有所提高的同时,分辨力达到纳米级;API 保持了它一贯的高集成度特点,其 Rmtea 激光测量系统能同时测量得到 5 维 /6 维机床几何精度;光动公司 Lics-100 多普勒激光测量

系统,能对数控机床实施“体对角线”测量,加快了测量速度;德国 Sios 小型激光干涉测量仪,便于自行组合、集成到其他装备;成都工具研究所在提高传统产品“双频激光干涉仪”的可靠性、升级软件功能的同时,新开发成功单频激光测量系统,展现了良好的前景。

2 数控机床综合精度的检测技术和仪器

对于数控机床直线轴联动综合精度的检测,球杆仪应用较为普遍,API 和 Renishaw 有相应产品;平面光栅的开发为该项精度检测提供了另一种途径,其中以德国 Heidenhain 的产品最著名;光动公司开发了多普勒激光测量系统和大平面反射镜组合的专利测量技术。在数控机床回转工作台 / 数控转台精度的检测方面,传统的光电准直仪 + 多面棱镜已经不能满足现场快速高精度测量的要求,成都工具研究所新开发成功的数控转台测量仪,具有测量精度高、速度快、自动化、数字化程度高的特点,将现场人为因素对测量的影响降至最低,提高了测量可靠性。

3 大型数控机床与装备的测量技术和仪器

重型大型数控机床和装备的发展,对制造厂和用户来说,其检测特点为测量范围大、精度高。大连拉特激光技术开发有限公司开发的激光导轨直线度测量仪、激光同轴度检测仪,以及激光水准仪、激光垂准仪等,提供了价廉物美的产品。API 的激光跟踪测量仪也具有类似功能。

数控切削加工领域中的 数字化测量技术

数字化测量技术和测量仪器更能适应切削加工现场的环境条件和要求,更好地集成、融合于数控切削加工系统,以提高切削加工的质量和效益,是当今发展的动向。其中,新型数字化量具及传感器更加适应生

产现场环境,并实现从微米级向纳米级测量精度的提升;精密数字化测量仪器则更多进入生产一线,融入数字化制造系统,数控机床误差、工件毛坯安装误差、数控刀具安装误差及环境误差的软件补偿技术得到推广应用,非接触扫描测量技术和仪器备受重视;测量信息的无线传输和网络远程服务,进一步将“被动”质量检测转变为“主动”质量控制,从而构建包含“服务”在内的完整数控制造系统。

1 数字化量具和传感器的发展

为了适应恶劣切削加工环境,量大面广的数显量具有了新的发展:三丰、Tesa、Cylvac、Mahr 以及我国桂林广陆先后开发出了防尘防水性能达到 IP67 标准的、不同工作原理的新型电子数显卡尺,能经受机床冷却液的直接喷淋而正常工作,以方便操作工人使用;IP65 标准的数显千分尺也得到用户认可;分别采用激光相位干涉测量原理、激光光栅干涉原理的大量程、亚纳米级分辨力的新型位移传感器,能实现被测工件轮廓形状和粗糙度的表面形貌一次性测量;Renishaw 新近推出的 Renscan5 扫描测头,具有 2 个分辨力达到 0.08" 的角度传感器的高精度空气轴承构成的回转轴系,安装在三坐标测量机上时,可以对包括孔在内的复杂工件轮廓进行快速、高精度的接触点扫描测量,扩大了坐标机测量性能。Werth 的光纤探头 WFP 其测头半径小至 $R=12.5\mu\text{m}$,适合微小零件的精密测量。要方便实现生产现场多种检测数据及结果的实时集中监控、统计分析,测量信息的无线通信传输是个发展新动向,日本、瑞士等公司已近年相继向市场推出产品。

2 数控精密测量仪器的发展

大型精密量具进入生产现场,直接为一线服务已经成为先进制造系统的一个标志。提高精密仪器的环境适应能力,从仪器硬件的设计制造

到软件功能的扩展完善——尤其是对环境温度变化和受力变形等引起测量误差的消抵及精度补偿技术得到了发展。精密测量技术和仪器装



置进一步集成于高档数控机床内和先进数字化流水生产线中,复杂精密数控切削加工机床的在机、在线测量实现了对复杂、高精度型面轮廓工件加工质量的实时检测与监控;对光学、激光等非接触扫描测量技术在工业生产现场的应用要倍加重视,进一步提高测量效率和精度;随着大测量范围内高精度高分辨力测量需求的迅速增加,推动了“极端测量技术”的发展;而测量仪器的网络化远程服务平台的建立,包括远程产品质量统计分析、生产装备及加工过程故障诊断分析乃至反馈修正或咨询,可实施全方位服务,构建成“完整制造系统”。例如坐标测量机、轮廓粗糙度检查仪集成于汽车缸体生产流水线,汽车大型覆盖件非接触在线视觉测量系统,齿轮成型磨床的在机测量装置,英国 Cranfield 大学开发的超精密数控机床的独立测量基准框架和多路激光测量补偿系统,以及日本东京技术开发的、集成了齿轮测量仪器的无线局域网数字化齿轮/齿轮刀具制造系统等等。

数字化制造技术领域中的数字化测量技术和仪器的发展

数字化制造技术是先进制造技术的基础。利用计算机技术和信息

传输网络化技术,可以将数控切削机床、工装夹具、数控刀具、加工零件、数控系统、数字化测量系统以及数控切削加工工艺软件等整个数控切削加工系统的“硬”资源和“软”资源集成融合为一整体,构建成网络化数控闭环切削加工系统。所谓数字化闭环制造系统,可以认为包括 2 部分:计算机虚拟闭环制造技术和数字化实体闭环制造系统。前者由计算机辅助设计(CAD)+计算机辅助加工(CAM1)+计算机辅助

检测(CAI/CAT)+计算机辅助再加工(CAM2)+计算机辅助再检测(CAT2/CAT2)所组成的;而后者由数字化设计技术与装备+数字化加工技术与装备+数字化测量技术与仪器+数字化信息反馈技术及装置+数字化制造加工参数修正技术与装置+数字化再加工制造技术与装备+数字化再测量技术与仪器所组成,从而实现“零废品”闭环制造。

将数字化测量技术和仪器集成、融合到数字化切削加工系统中,构建成数字化闭环制造系统的实践,在机械加工制造业已经越来越多,复杂数控刀具数字化闭环制造系统、以及圆柱齿轮/弧锥齿轮数字化闭环制造系统都是应用实例。这些数字化闭环制造系统是 CIMS 技术发展的一个方面,由于其更为结合生产和市场需求而得到实际应用、推广。CIMS 技术的发展,既不能贪大求全,又不应该全盘否定,应由市场需求与当前技术及管理水平来确定。四川普什宁江机床近年开发的、带有工件视觉识别系统的柔性制造系统,就是成功的实例。

结束语

我国数字化测量技术及仪器的水平与当今国外先进水平还有较大的差距。若要迅速改观,则要在科研技

术开发上切实做到“产学研用官”相结合,以便迅速提高我国机械装备制造领域数字化测量技术与仪器制造行业的创新能力,积极开发出能满足国家重点发展领域、国内市场需求、具有自主知识产权的新技术和新产品。

近年来国家对此倍加重视并大力支持我国数控刀具制造业和精密测量仪器制造业的发展;而近年来机械装备制造业的复苏和持续发展,也使我国工具行业步入了良性发展轨道,众多企业进行了科学规划,立足自身优势技术和产品,加快整合资源,加大技改投入,重视人才引进培养,增强研发和制造能力、提升了企业整体竞争实力,发展上了新台阶。企业作为创新主体,高等院校为生力军,合作开发,取得了一些可喜的成果。如哈量“CNC 齿轮测量中心”及“弧锥齿轮测量”软件、广陆新型防水数显卡尺的“电涡流传感器”、成量的“数控刀具预调测量仪”以及成都工具所的“先进切削数据资源体系”等,都显示了“五结合”的积极



效果。“路漫漫其修远兮”,工具行业还得加倍努力,更上一层楼,才可能赶上我国机械制造业发展的步伐,缩短和国外先进同行的差距。

(责编 侧卫)